

# PREDICTIVA 21



## Pasión por la industria

Lourival Tavares

**Enfoques para  
gestión de  
productividad**

Optimizando los  
procesos de gestión

**Contribución  
del análisis de  
lubricante**

Una medida  
en tiempos de  
contingencia

**Proveedores de  
certificación**

Una revisión de tres  
opciones y algunas  
recomendaciones

**¿Quién debe  
planificar los  
trabajos de  
Mantenimiento?**

# Índice

---

**3** | Editorial

**5** | **Entrevista a**  
Lourival Tavares  
*Irene González*

**11** | **Enfoques para  
la gestión de la  
productividad laboral**  
*Jhon Alexander Narváez Salazar*

**17** | **Revisión y  
Recomendación  
de Proveedores de  
Certificación de Analista  
de Vibración ISO 18436-2.**  
*Flemming Munk*

**31** | **Contribución del  
análisis de lubricante  
en tiempos de  
contingencia**  
*Gerardo Trujillo Corona*

**36** | **ISO / TS  
55010: 2019  
Gestión de activos**  
*Carlos José Villegas Álvarez*

**44** | **Análisis probabilístico  
de MTBF en  
Turbocompresores  
Centrífugos**  
*Arquímedes Ferrera*

**51** | **¿Quién debe  
planificar los trabajos  
de mantenimiento?**  
*José Contreras Márquez*

**56** | **Análisis de Fallos  
Un reflejo de como  
el tema es conducido  
en las empresas  
brasileñas**  
*Lourival Augusto Tavares*

**66** | **Estrategia para optimizar  
el uso de los activos  
y maximizar su  
aprovechamiento**  
*MSc. Ing. Pedro Silvera*



**Enrique González**  
Director

# Contingencia: Miremos hacia el futuro próximo.

## Editorial

**E**l año 2020 ha estado muy convulsionado durante el primer trimestre y apunta hacia un futuro en el que se deben tomar medidas para lograr vencer las dificultades que se presentan, especialmente la del COVID-19, que se ha convertido en una pandemia y ha puesto en peligro la salud pública en todo el mundo.

Por eso desde nuestra edición 29, la primera del año 2020, Predictiva21 da la bienvenida a todos sus lectores con un espíritu positivo, con miras hacia la superación y seguros de que esta situación será un paso definitivo hacia los cambios que la sociedad actual necesita en todos los ámbitos: natural, ambiental pero especialmente, el humano.

Nuestra edición 29 reúne artículos en los que las medidas de prevención en la industria son esenciales para ir transformando y vislumbrando una transición hacia un mejor desenvolvimiento, como lo señalan los autores de "Análisis de Fallos", "¿Quién debe planificar los trabajos de mantenimiento?", "Contribución del análisis de lubricante en tiempos de contingencia", "Estrategia para optimizar el uso de los activos y maximizar su aprovechamiento".

Debemos destacar que nuestras páginas reciben con honores a un entrevistado muy especial, cuya vida ha significado enseñanza y pasión por el mantenimiento y la confiabilidad. Pudimos conversar con Lourival Tavares, un gran maestro en todo sentido, quien deja en Predictiva21 consejos de vida con miras al futuro, con una visión que solo la experiencia puede darnos. Y su experiencia es invaluable.

Esperamos que disfruten la primera edición del año y que la lectura sea de valor, que sirva de guía o consulta para todos aquellos que transitamos en el mundo del Mantenimiento y la Confiabilidad.

### DIRECTORIO

**Enrique Javier  
González Henríquez**  
Director ejecutivo y Editor  
enrique.gonzalez@predictiva21.com

**Andrés Enrique  
González Giraldo**  
Director de Finanzas  
andres.gonzalez@predictiva21.com

**Alejandro José  
Godoy Rodríguez**  
Director de Marketing  
alejandro.godoy@predictiva21.com

**Carlos José  
Villegas Álvarez**  
Director de Operaciones  
carlos.villegas@predictiva21.com

**Irene González**  
Directora Editorial  
irene.gonzalez@predictiva21.com

**María Goretti  
Fuentes Núñez**  
Diseño Editorial  
goretti.fuentes@predictiva21.com



**Cientos de activos en toda la planta.  
Cientos de empleados responsables  
de la producción.**

**Cuando un activo crítico comienza a fallar,  
su equipo necesita información clave para  
tomar la mejor decisión.**

# USTED PUEDE HACERLO

**Colabore en las decisiones claves en cualquier momento y en cualquier lugar.**

Mantener los programas de producción a menudo significa lidiar con lo inesperado – de forma rápida y precisa. Plantweb Optics de Emerson es un software de colaboración que conecta el equipo de producción a través de dispositivos móviles con información que es accionable y específica para cada miembro del equipo.

Para desbloquear comunicación en su planta visite **[Emerson.com/CollaborationSoftware](https://www.emerson.com/CollaborationSoftware)**.



The Emerson logo is a trademark and a service mark of Emerson Electric Co. © 2019 Emerson Electric Co.

**CONSIDER IT SOLVED™**



# Lourival Tavares, PASIÓN POR EL MANTENIMIENTO

Buscando una frase que pudiera describir al personaje que hoy ocupa la entrevista central de Predictiva 21, encontramos una que nos parece que lo describe perfectamente: "Trabajar duro por algo que nos importa se llama estrés, trabajar duro por algo que amamos se llama pasión."

Irene González

irene.gonzalez@predictiva21.com

**A** sus 80 años, es una cátedra viviente en lo que se refiere a mantenimiento y confiabilidad. Graduado como Ingeniero electricista en la Escuela Federal de Ingeniería de Río de Janeiro, en el año 1967. Desde entonces su carrera ha sido una de las más prolíficas de la industria de la ingeniería: Consultor, Escritor, conferencista, expresidente del Comité Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento (COPIMAN), fue director en dos oportunidades de ABRAMAN, (Asociación Brasileña de Mantenimiento), impulsor del primer curso de Postgrado en Ingeniería de Mantenimiento en América Latina (en 1995) considerado uno de los más importantes MBA de la Universidad Federal de Río de Janeiro. Sus experiencias son referencia obligada para los profesionales de la industria, especialmente los dedicados a la gestión de activos, mantenimiento y confiabilidad.

De esos 54 años dedicados a la ingeniería, dispuso de unos minutos para esta entrevista con el equipo de Predictiva 21, donde dejó plasmadas, una vez más, sus enseñanzas como profesional y como ser humano, recalcando la importancia de la industria en la protección ambiental y nuestra participación como miembros de una comunidad global, dejando como legado toda una vida dedicada al mantenimiento.

### P21: ¿Cuáles considera que han sido los avances mas recientes e importantes referentes a su ámbito de ingeniería eléctrica respecto a la confiabilidad y al mantenimiento industrial?

LT: Sin lugar a dudas, el avance de los sistemas electrónicos (industria 3.0) y, más recientemente, los sistemas físicos y cibernéticos (industria 4.0) han dado un avance incommensurable en la confiabilidad de los sistemas eléctricos (así como en los otros sectores de procesos y servicios). Esta evolución tecnológica también ha hecho que la función de mantenimiento se adaptase de forma natural, creativa e innovadora, convirtiéndose en una actividad esencial para las decisiones estratégicas y financieras de la corporación en su conjunto.

### P21: ¿Qué lecciones prácticas les daría a los ingenieros que comienzan a desempeñarse en el área del mantenimiento y la confiabilidad?

LT: Siempre trate de expandir su conocimiento desde el nicho técnico hasta la integración corporativa. Más que nunca, estamos experimentando cambios en todas las áreas que generan grandes oportunidades para utilizar nuestras habilidades y conocimientos para romper los límites de la innovación. No dejes de aprender, actualízate no solo en el área técnica sino también en las relacionadas con estrategias, finanzas, logística, seguridad y medio ambiente. La competitividad nos obliga a estar siempre rompiendo nuestros paradigmas para mantenernos a la vanguardia de las demandas de clase mundial.





## P21: ¿Es rentable la aplicación del mantenimiento y confiabilidad en las industrias con el fin de evitar los desastres ambientales?

LT: No hay dudas sobre el uso de nuestro conocimiento de mantenimiento y, lo que es más importante, de confiabilidad, para evitar o minimizar los efectos de los desastres ambientales. Somos creativos, dedicados y responsables como consecuencia de nuestra formación. Nuestra capacidad de prevenir, predecir y reparar nunca ha sido más necesaria para aplicar de lo que es hoy. Pero, para esto, es necesario que busquemos estar alineados con los otros sectores de la corporación, evitando el cierre de las actividades ordinarias que nos solicitan.

## P21: ¿Como contribuye el mantenimiento y confiabilidad en el tiempo de respuesta ante una crisis en el servicio eléctrico prestado por una empresa?

LT: Inmediatamente. La velocidad de los medios de comunicación y los recursos tecnológicos disponibles para nosotros nos permiten minimizar los efectos de una crisis, ya sea eléctrica o de otro tipo. Además, nuestra participación en la definición de la necesidad de redundancia del equipo o parte de él y en el monitoreo en tiempo real contribuye efectivamente a minimizar las crisis. No es casualidad que

la norma ISO 55000 establezca que el mantenimiento debe participar en todas las etapas a lo largo de la vida de los activos de una empresa, es decir, desde su concepción hasta su descarte o reforma. Y esta determinación no debe estar solo en papel, debe ser efectiva y eficiente, lo que refuerza las respuestas dadas anteriormente con respecto a la necesidad de una mejora continua e integrada dentro de nuestra corporación.

## P21: Actualmente el mundo está enfrentando cambios importantes a raíz de una situación de salud pública y su influencia en la recuperación de algunos aspectos ambientales. En su opinión, ¿Cuales deberían ser las acciones que deben tomar las industrias ante los cambios inminentes que implican transformación dentro de cada sector que actúa en el planeta?

LT: En primer lugar, evite acciones inoportunas frente a las crisis de salud (primera ola) y económicas y sociales (segunda ola).

Los gobiernos de todo el mundo, cada uno dentro de sus medios, recursos, población y estructura, ya están tomando las medidas adecuadas y mantienen el entendimiento con los inversionistas y empresarios para mitigar las consecuencias de esta catástrofe.

Cerrar empresas y empleos solo complicará aún más las consecuencias de la llamada segunda ola.

Personalmente, aprovecho la oportunidad para transmitir, en la medida de lo posible y del alcance de Predictiva 21, las tres excelentes recomendaciones que todos debemos cumplir:

1) Los que pueden quedarse en casa y los que no pueden (como es el caso de los que hacen reparaciones de emergencia, incluyendo mantenedores), tomen el cuidado de higiene recomendado (lavado frecuente y minucioso de manos y cara).

2) Traten de tomar el sol (20 a 25 minutos al día es suficiente).

3) Beban mucha agua (al menos dos litros por día).

Es obvio que todos ya conocen estas recomendaciones, pero nunca está de más repetirlas.

**P21: ¿De qué manera puede contribuir la industria en materia de Confiabilidad y Mantenimiento de acuerdo con las condiciones actuales que experimentan las industrias?**

LT: Utilizando los conceptos de ingeniería inversa. De los efectos (que todos están experimentando), reduzca las causas que los causan.

¿Cuáles serían las consecuencias de esta crisis si el mantenimiento y confiabilidad no estuviera incorporado los conceptos de la industria 4.0, es decir, cómo podríamos enfrentar la situación si no hubiera una comunicación globalizada, las posibilidades de mantenimiento remoto, la existencia de robots, la gran capacidad para acumular y transmitir información, etc.?

Desde el comienzo de este siglo, las compañías han tratado de resaltar la confiabilidad operativa a través del mantenimiento y aquí es donde estamos ayudando a reducir un poco las consecuencias de la desgracia que estamos experimentando.

**P21: ¿Nos puede hablar un poco sobre su experiencia como presidente del Comité Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento (COPIMAN)?**

LT: Once años de una experiencia inolvidable. Conocí a personas extraordinarias, la mayoría de las cuales todavía forman parte de mi ciclo de contacto. Estas personas fueron multiplicadores de integración y proyección de nuestra actividad en sus países y en otros donde realizan sus actividades.

Se formaron Comités Nacionales, se multiplicaron los Congresos Internacionales, surgieron los medios de comunicación (como en el caso de Revista Predictiva21) y nos brindaron apoyo, surgieron y se desarrollaron Grupos de Comunicación y las Universidades llegaron a comprender la importancia de la difusión de cursos de especialización con una participación muy significativa. Aprendimos mucho y transmitimos ese aprendizaje no solo en el Continente Panamericano sino en el resto del mundo.

Fuimos, y seguimos siendo, el Comité más activo entre los que conforman la Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros (UPADI)

De todos modos, COPIMAN dejó grabado en mi corazón y en mi ser, así como a todos los que forman parte directa o indirectamente de él, el orgullo de ser un profesional de mantenimiento.

**P21: ¿Se le han presentado retos considerablemente exigentes a lo largo de su trayecto profesional? ¿Cuáles son? Y, ¿Cómo los superó? ¿Cuál sería el aprendizaje (o consejo) que le gustaría legar al conglomerado de Mantenimiento y Confiabilidad?**

LT: Creo que si pudiera escribir un libro sobre mis actividades profesionales, todos los años que me quedan no serían suficientes.

Y muchas veces recuerdo con las personas que me pidieron que hablara sobre el tema, hechos muy pintorescos, como, por ejemplo, la implementación del PCM en América Latina en 1972, que fue la consecuencia de un incidente que tuve en una Usina donde era el jefe y que contar los detalles provoca risas en las personas.

Mi carrera dentro del mantenimiento en una Empresa que tenía un Presidente de muy alta capacidad de administración y liderazgo, donde hubo momentos muy buenos y otros no tanto, como por ejemplo haber sido advertido por mi Superintendente por una actitud correcta pero malinterpretada que me obligó a pasar tres años sin ninguna actividad relevante y, curiosamente, este mismo Superintendente reconoció su error y me invitó a ser su Asistente para impulsar la Operación y Mantenimiento



de ITAIPU Binacional donde, más tarde, también asumí el cargo como Jefe del Departamento de Apoyo Operativo, que tenía diez funciones, incluida la logística, reclutamiento, selección y capacitación de personal, seguridad industrial y muchos otros, teniendo, en particular la responsabilidad de implementación del Sistema de Información que se utilizó por más de 30 años en la Binacional.

Noches sin dormir para cuidar los equipos críticos de la planta (un hecho muy común en mantenedores). Mi contribución (dos veces) para salvar a ABRAMAN de su cierre, la segunda vez entre 2015 y 2016 incluso con un contrato firmado para trabajar 20 horas semanales, pero en la práctica fueron más de 50 (y que hasta la fecha no pagaran mis honorarios).

La idealización e implementación (con la ayuda de otros compañeros) del primer curso de Postgrado en Ingeniería de Mantenimiento en América Latina (en 1995) y que, hasta hoy, se considera uno de los más importantes MBA de la Universidad Federal de Río de Janeiro. Los libros que escribí. Los cientos de conferencias que di. Los cientos de cursos que enseñé (y sigo enseñando), los homenajes recibidos en muchos países. Los asesoramientos y consultorías prestados a empresas y muchos otros hechos que, como mencioné anteriormente, podrían generar un libro con unas tantas miles de páginas. En el momento en que me entrevistan, ya tengo 80 años, de los cuales 54 están en mantenimiento. No sé cuánto tiempo me queda, pero estoy seguro de que continuaré con el mantenimiento durante ese tiempo.

## Datos del entrevistado



### Lourival Tavares

Brasil

*Consultor en Ingeniería de Mantenimiento e Ingeniero Electricista*

- Consultor en Ingeniería de Mantenimiento  
Ingeniero Electricista, formado por la Escuela Federal de Ingeniería de Río de Janeiro, en el año de 1967.
- Past-Presidente del Comité Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento.
- Durante 23 años trabajó en FURNAS – Centrales Eléctricas S.A., donde, junto a otras actividades fue Supervisor de Mantenimiento, implantando y coordinando el Control de Mantenimiento por Computadora en todas las Usinas Hidroeléctricas de la empresa.
- En ITAIPU Binacional fue el jefe de la Asesoría Técnica de Apoyo, que administraba toda la logística de la Superintendencia de Operación y Mantenimiento, teniendo, además de otras responsabilidades, la gestión del Sistema de Informaciones Técnicas de esa Superintendencia.
- Ha publicado varios trabajos en revistas técnicas especializadas sobre Planeamiento y Control de Mantenimiento, además de los libros “Control de Mantenimiento por Computadora” (1ª edición – 1986), “Excelencia en el Mantenimiento” (1ª edición – 1996), “Administración Moderna de Mantenimiento (1ª edición en portugués – 1999; en español – 2000 y en Internet – 2000) y Mantenimiento Centrado en el Negocio” (1ª edición en portugués en 2005 y en español en 2007). Varios de sus trabajos (y los libros) son usados como referencia para desarrollo de temas sobre el asunto por profesionales del área en Seminarios y Congresos nacionales e internacionales.
- Creador, Coordinador General e instructor del Curso de Postgrado en Ingeniería de Mantenimiento, promovido por la Escuela de Ingeniería de la Universidad Federal del Río de Janeiro y el Comité UPADI de Ingeniería de Mantenimiento.
- Reconocido como “notorio saber” en mantenimiento por la Universidad Federal de Río de Janeiro y por la Universidad Federal de Paraíba.
- Fue Director nacional de ABRAMAN (Asociación Brasileña de Mantenimiento) en dos mandatos.
- Coordinador e Instructor de los Cursos “Control de Mantenimiento por Computadora”, “Técnicas de Evaluación de la Gestión de Mantenimiento”, “Optimización del Mantenimiento”, “Índices de Mantenimiento”, “Selección de Softwares de Mantenimiento”, “Administración Moderna del Mantenimiento”, “Mantenimiento Clase Mundial” y “Auditorías de Mantenimiento” (ya realizados más de 700 veces para más de 15.000 profesionales) en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, México, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela.

Fuente: <https://cmc-latam.com/speaker/lourival-tavares/>

CURSO ONLINE

12 horas / 3 hrs SEMANALES

## Fundamentos de Ingeniería de Confiabilidad Operacional

### ENFOQUE:

- Este curso proporciona los criterios que permiten el desarrollo de los Análisis de Ingeniería de Confiabilidad de Equipos, para que el participante obtenga conocimientos, desarrolle habilidades y comprenda el valor que aporta el Ingeniero de Confiabilidad a la organización a la cual pertenece.

### TEMARIO:

- **Conceptos Básicos** de Confiabilidad y Mantenimiento.
- **Confiabilidad:** definición, como función de vida y como probabilidad.
- **Funciones Probabilísticas.**
- **La curva de la bañera.**
- **MTTF, MTBF, MTTR, Disponibilidad**
- **Introducción a la Confiabilidad.**
- **Método de Crow-AMSSA.**
- **Confiabilidad para equipos.**
- **Confiabilidad de Sistemas.**



**40% DE DESCUENTO**  
primeros diez participantes

**INICIO 8 de mayo**

FACILITADOR

**Ing. Arquímedes J. Ferrera**

Ing. Electrónico Msc. Automatización y Control



**Especialista en Gerencia de Mantenimiento e Ingeniería de Confiabilidad y Mantenibilidad de activos físicos.**

- Certificado en Mantenimiento y Confiabilidad (CMRP) por la SMRP (Society of Maintenance and Reliability Professionals).
- Certificado de Líder en Confiabilidad por la Asociación de Profesionales de Gestión de Mantenimiento.



# Enfoques para la gestión de la **productividad laboral**

**No lineal.** Diferentes perspectivas, criterios, herramientas y estrategias son aspectos a tomar en cuenta para optimizar los procesos de gestión de productividad laboral en actividades de mantenimiento.

Jhon Alexander Narváez Salazar

Colombia

Ingeniero Electromecánico

Empresa: Ecopetrol S.A

jhon.narvaez79@gmail.com

Como complemento al artículo publicado en la edición 28 de Predictiva21, sobre la gestión de la Productividad laboral en actividades de mantenimiento, es necesario orientar al investigador sobre algunos enfoques para realizar su buena gestión.

Es necesario tener en cuenta que las herramientas y estrategias que se usan en los procesos productivos para la gestión de la productividad laboral, no tienen una aplicación lineal para mantenimiento; ni siquiera en los proyectos que se componen mediante operaciones de características similares a la producción industrial.

Una diferencia entre tales compañías radica en que sus procesos son seriados y repetitivos, y de ciclos cortos de producción. Mientras tanto, las operaciones de mantenimiento están sujetas a diversas actividades no repetitivas y de diversos ciclos. Dadas las características de mantenimiento, es necesario identificar metodologías que permitan realizar una buena gestión de la productividad laboral.

Este artículo plantea cuatro enfoques y algunos criterios para tener en cuenta y que más se adapten al contexto operacional, según sean las necesidades.

## Productividad laboral con enfoque de factores influyentes

John Page ha publicado varios libros sobre rendimiento de mano de obra en diferentes oficios, como tubería, electricidad, construcción, entre otros. En su planteamiento, él define que la eficiencia en la productividad puede variar en un amplio rango, el cual va desde 0 % cuando no se realiza ninguna actividad; y por el contrario, al 100 % si presenta máxima eficiencia (Page, 1999).

Se considera como normal o promedio el rango comprendido entre el 61 % y el 80 %; por lo tanto, se puede definir un valor del 70 % como normal, valor que puede tener variaciones positivas o negativas por diferentes factores que afectan los rendimientos en mayores o menores proporciones (Page, 1999).

En la figura 1 se ilustra cada uno de los 7 factores.

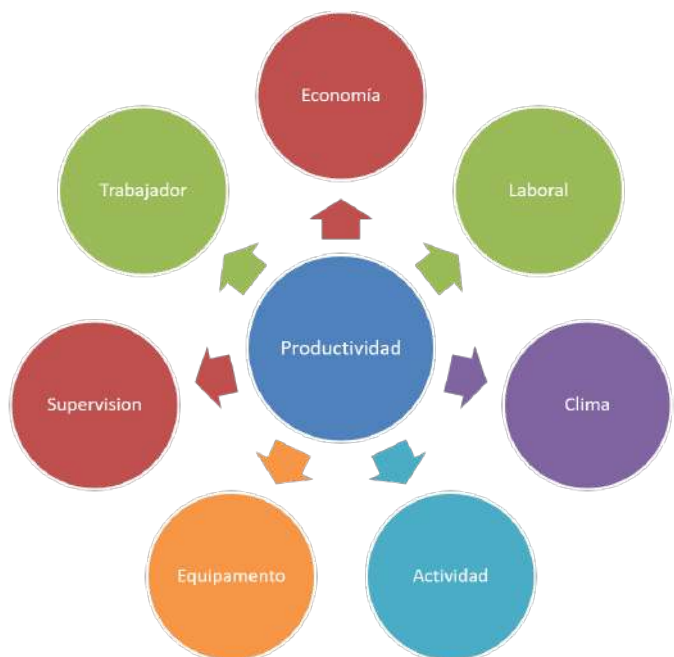
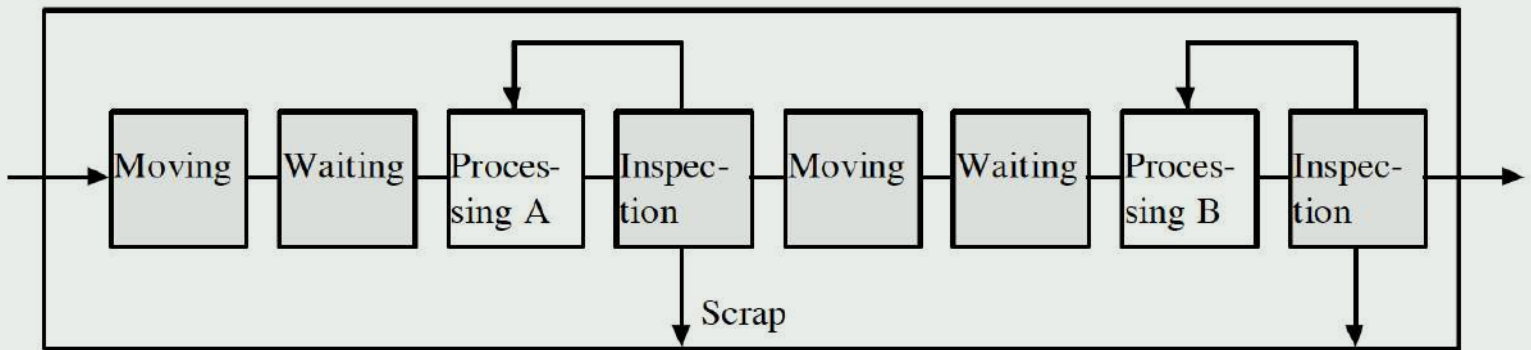


Figura 1. Factores influyentes en la productividad.  
Fuente: Adaptado de Page, J.

## Productividad laboral con enfoque de Lean Production

El modelo Lean Production es una síntesis y generalización de diferentes modelos sugeridos en varios campos, como el movimiento JIT (Shingo, 1984); y el movimiento de calidad (Pall, 1987). Tales modelos han evolucionado con el transcurso del tiempo hasta llegar a lo que hoy se conoce como Lean Production o World Class Manufacturing.

El nuevo modelo de producción se puede definir como lo muestra la figura 2. (Koskela, 1992).



**Figura 2.** Producción como un proceso de flujo.  
 Fuente: *Application of the new production philosophy to construction*, por Koskela, L. 1992, pág. 15.

En esencia, la nueva conceptualización implica una visión dual de la producción: consiste en conversiones y flujos. La eficiencia global de la producción es atribuible tanto a la eficiencia (nivel de tecnología, habilidad, motivación, etc.) de las actividades de conversión realizadas, como a la cantidad y eficiencia de las actividades de flujo, a través de las cuales las actividades de conversión están unidas.

Si bien todas las actividades suponen un gasto y consumen tiempo, solamente las actividades de conversión agregan valor al material, o la información que se transforma en un producto o servicio. Por lo tanto, la mejora de las actividades de flujo debe centrarse en su reducción o eliminación, mientras que las actividades de conversión deben ser más eficientes.

Esta idea central de la nueva filosofía de producción se ilustra en la figura 3.

El objetivo básico del modelo de gestión Lean Production es la persecución implacable de los desperdicios, junto a la necesaria flexibilidad para adaptarse a las fluctuaciones de la demanda. En efecto, un modelo de gestión que logre erradicar/optimizar las actividades que no comunican valor al producto o servicio producido, y que, además, tenga una estructura suficientemente flexible para adaptarse a la demanda real, sin duda, podrá ser altamente competitivo. Hoy esto solamente se consigue mediante el modelo de gestión Lean Production.

### Productividad laboral con metodología de estimación de productividad óptima

La productividad óptima se entiende como el más alto y sostenible nivel de productividad alcanzable con una buena administración y en condiciones típicas. Una buena estimación de la productividad óptima permitirá tener una comparación más certera, para así determinar la eficiencia

de los trabajos de mano de obra comparando el nivel de productividad actual versus el nivel de productividad óptimo (Kisi P.K, 2015, 3).

Para estimar el nivel de productividad óptimo, la metodología plantea analizar las condiciones propias de la obra y de la operación siguiendo dos enfoques:

- 1 A través de un enfoque de abajo hacia arriba, se estiman las pérdidas de productividad debido a las ineficiencias operacionales y se mide el nivel de productividad que se registra en el terreno. A este nivel se lo conocerá como productividad actual. Eliminando las pérdidas, debidas a las ineficiencias operacionales de la productividad actual, se determina el límite inferior de la productividad óptima.
- 2 A través de un enfoque de arriba hacia abajo se estiman las pérdidas de productividad debidas a ineficiencias del sistema, y se determina el nivel de la productividad frontera. Este nivel corresponde a la productividad obtenida en condiciones ideales. Añadiendo las pérdidas por las ineficiencias del sistema a la productividad frontera, se determina el límite superior de la productividad óptima.

Para determinar el valor de productividad óptima se promedia el valor de los dos límites calculados. Esta relación se puede ver en la figura 3.

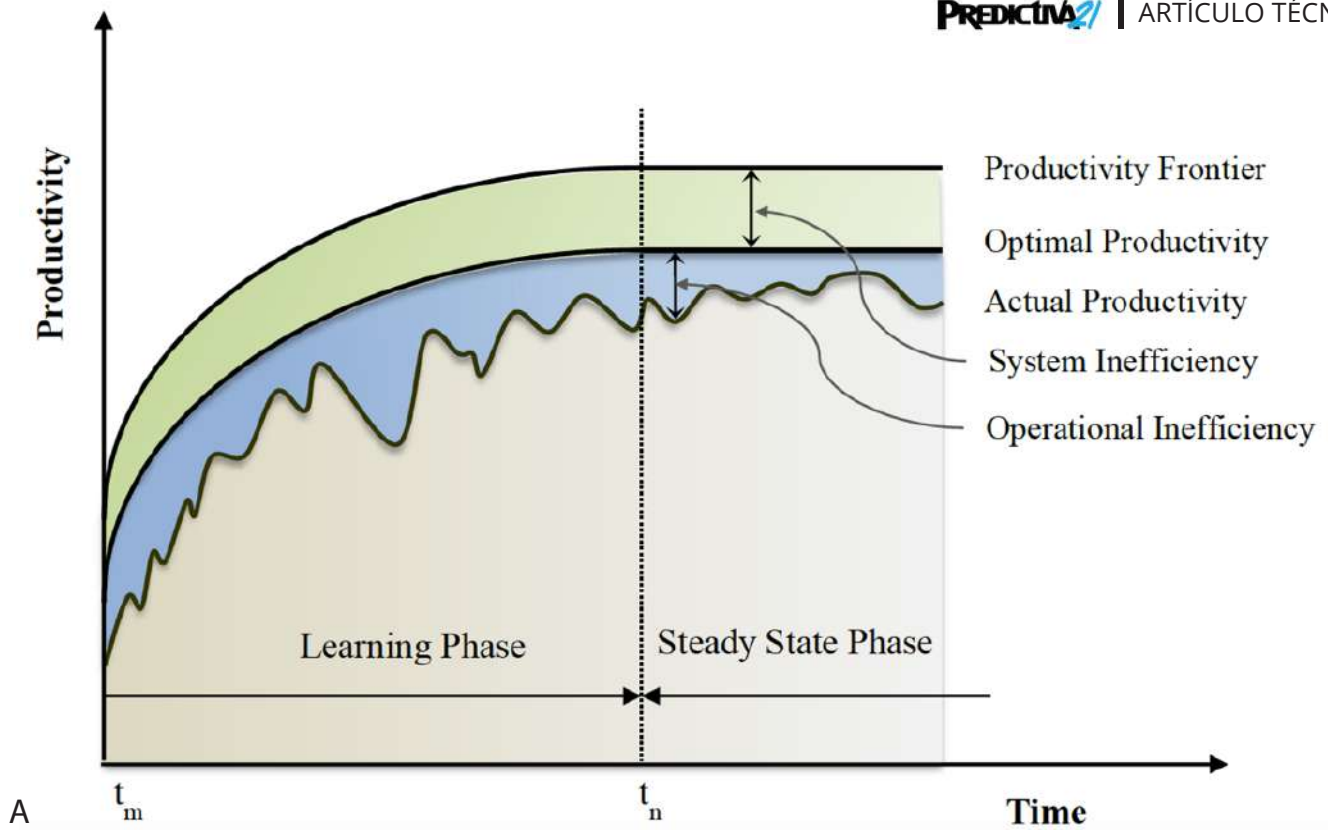


Figura 3. Dinámica de productividad. Fuente: Kisi, 2015.

## Productividad laboral como medida global de la eficiencia del proceso de mantenimiento

De las investigaciones realizadas por el Instituto Internacional de Excelencia en Mantenimiento, liderado por Ralf W. Peters, se definió una forma de medir la productividad laboral del recurso de mano de obra para mantenimiento; se tituló Overall Craft Efectiveness -OC- (efectividad general del trabajo). El factor OCE se enfoca en la productividad del trabajo de mano de obra y la medida/mejora de la contribución de valor agregado que hacen los activos de las personas. El indicador OCE está compuesto por tres factores (Ralph, 2003):

$$OCE = \begin{matrix} CU\% \\ \text{Craft} \\ \text{Utilization} \end{matrix} \times \begin{matrix} CP\% \\ \text{Craft} \\ \text{Performance} \end{matrix} \times \begin{matrix} CSQ\% \\ \text{Craft Service} \\ \text{Quality} \end{matrix}$$

Donde:

**Craft utilization (utilización del recurso) -CU-:** El primer elemento del OCE es el factor CU, o tiempo puro de llave en mano. Este elemento del OCE está relacionado con la medición de qué tan efectivos se están planificando y programando los recursos de trabajo.

La utilización del recurso (tiempo de llave en mano) puede ser medido y expresado simplemente como una relación de:

$$CU\% = \frac{\text{Total Productive (Wrench Time)}}{\text{Total Craft Hours Available \& Paid}} \times 100$$

**Craft Performance (desempeño del recurso) -CP-:** El segundo elemento que afecta el OCE es el desempeño del recurso. Este elemento relaciona la eficiencia con la que se ejecuta el trabajo, comparado con un tiempo planeado y establecido por un desempeño estándar. El desempeño del recurso es expresado como una relación de:

$$CP\% = \frac{\text{Total Planned Time (Hours)}}{\text{Total Actual Craft Hours Required}} \times 100$$

**Calidad del servicio de trabajo -CSQ-:** El tercer elemento que afecta el OCE se relaciona con la calidad relativa de la reparación. Este elemento incluye la calidad del trabajo actual, en el que algunos trabajos posiblemente requieran una llamada de vuelta a la reparación inicial, lo cual requiere otro viaje para solucionarlo bien en la segunda vez.

$$CSQ = 1 - \frac{\# \text{ Equipos no conformes}}{\text{Total equipos intervenidos}}$$



## Criterios de selección y aplicación de metodología

A continuación se relacionan algunos criterios que pueden ser tenidos en cuenta para la selección de la metodología. Estos criterios se definen desde la experiencia y según las necesidades de cada organización:

### Descripción de los criterios:

- 1** Contexto de aplicación: Este criterio evalúa si los estudios previos a la investigación, de la metodología, están orientados hacia la industria objetivo.
- 2** Complejidad de las actividades: Este criterio evalúa la aplicabilidad de la metodología en actividades que no son repetitivas, no son cíclicas.
- 3** Medición del avance de obra: Este criterio evalúa, según las variables de la metodología, qué tan factible es medir el avance la obra.
- 4** Accesibilidad a la información: Este criterio evalúa si, de acuerdo con las variables de la metodología, los datos son fáciles de captar en la organización.
- 5** Disponibilidad de datos: Este criterio evalúa si, de acuerdo con las variables de la metodología, se tienen históricos de datos.
- 6** Enfoque: Este criterio evalúa si la metodología se orienta hacia la eficiencia del recurso de la mano de obra en empresas de mantenimiento.
- 7** Referenciación: Este criterio evalúa si la metodología tiene benchmarking en la industria propia del mantenimiento para realizar una comparación.
- 8** Factibilidad de implementación: Este criterio evalúa qué tan probable es que las recomendaciones del estudio sean incorporadas a la organización.

### Datos del autor

Jhon Alexander Narváez Salazar  
Colombia  
*Ingeniero Electromecánico*  
Empresa: Ecopetrol S.A  
jhon.narvaez79@gmail.com

Maestría en Administración, Especialización en Evaluación y gerencia de proyectos, diplomado en Gestión de activos, diplomado en Confiabilidad, academia de SAP. Profesional con más de 16 años de experiencia en la industria de O & G y petroquímica en gestión de activos industriales y procesos de mejora continua. Con habilidades técnicas, humanistas y conceptuales para promover y liderar la gestión del cambio en busca de generar valor empresarial basado en el trabajo colaborativo y las relaciones a largo plazo.

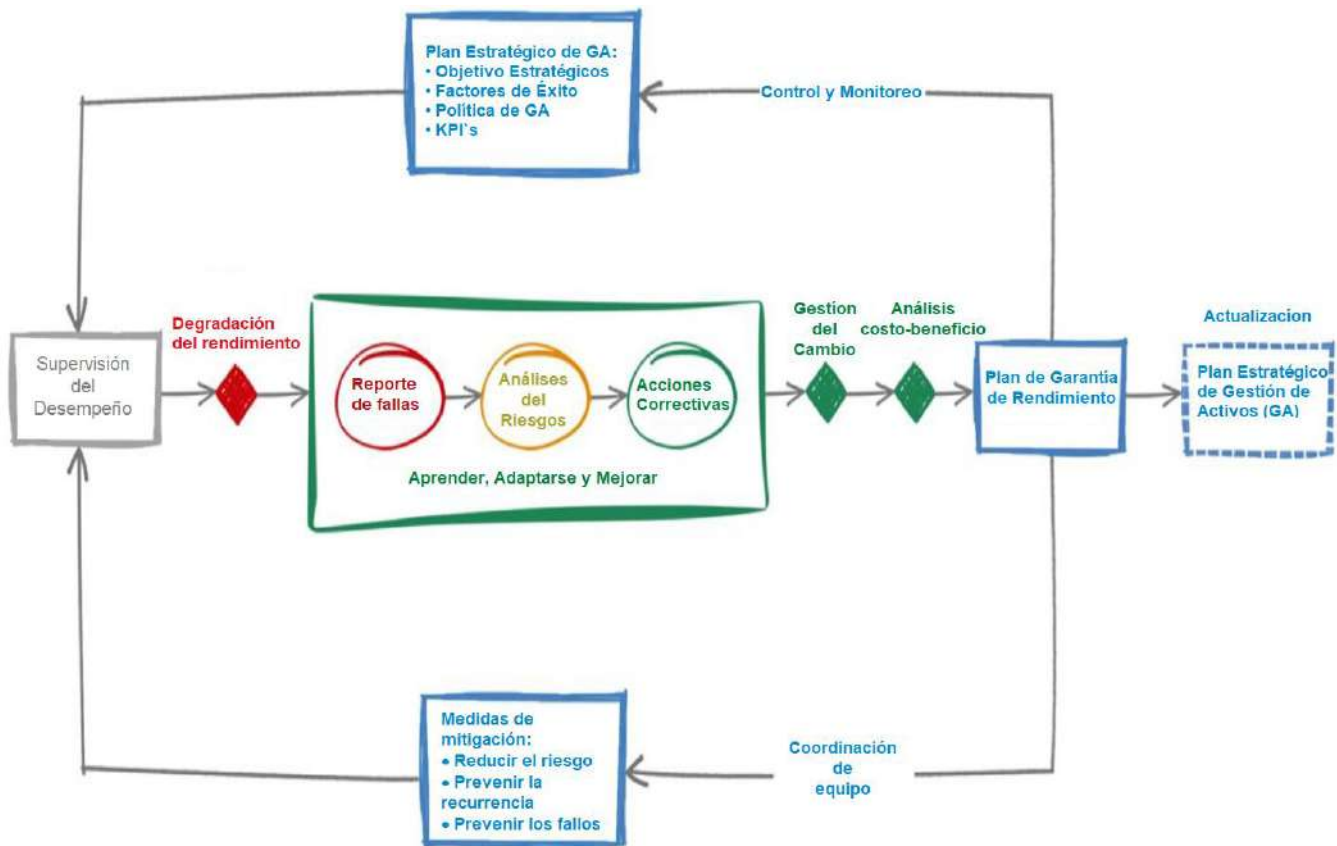
### Referencias

Peters, R. (2003). *Measuring Overall Craft Effectiveness*. Recuperado el 30 de mayo de 2019, de *The Maintenance Excellence Institute International*: <https://www.plant-maintenance.com/articles/OCE2.pdf>.

Kisi, K. P. (2015). *Estimation of Optimal Productivity in Labor Intensive Construction Operations*. Obtenido de *Construction Systems*: <https://pdfs.semanticscholar.org/386e/4c365c7440c007bafc78777f1e9fbb4a178d.pdf>

Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. USA: Stanford University.

Page, J. S. (1999). *Estimator's Piping Man-hour Manual (5th Ed ed.)*. Houston, United States of America: Butterworth-Heinemann.



“Software de Gestión de Activos” - Las funciones del Integrity Pro són:

- Monitorización de KPI y PHM basado en el solución ARULE;
- Mantenimiento preventivo, inspección y gestión de órdenes de trabajo;
- Monitoreo de desempeño;
- Clasificación de los elementos críticos de seguridad y flujo del proceso de gestión de la integridad de los activos;
- Gestión de barreras para la gestión de la integridad;
- FRACAS y análisis de la causa raíz;
- Configuración automática interna para modos de fallo, causas y detección;
- Análisis de riesgos operacionales y gestión de anomalías;
- Predicción del índice de fiabilidad y crecimiento de fiabilidad automática (Fiabilidad 4.0);
- Base de datos automática de fiabilidad histórica;
- Integración con SAP y CMMS Maximo;
- Elementos de la norma ISO 55001 y gestión de la rutina;
- GIS, PFD, diseño de la planta con alertas y Informes y gráficos automáticos
- Proceso de Gestión de Activos autodefinido que es fácil de entender y utilizar;
- Ya probada y aprobada por empresas operadoras de petróleo;
- Basado en las definiciones de las normas ISO 55000, ISO 12489, ISO 14224 e ISO 20815.
- Solución SaaS personalizada a la necesidad de proceso del cliente y límites de presupuesto;



EDUARDO CALIXTO  
CONSULTING

Más Informaciones: <https://www.eduardocalixto.com/products/>

Email: [ec@duardocalixto.com](mailto:ec@duardocalixto.com)





## Revisión y Recomendación de Proveedores de Certificación de Analista de Vibración ISO 18436-2.

*Review and Recommendation of ISO 18436-2 Vibration Analyst certification providers.*

## Flemming Munk

Jutlandia Central, Dinamarca

*Jefe Especialista - Monitoreo de Condición en Grundfos Water Utility.*

Chief Specialist - Condition Monitoring at Grundfos Water Utility

Ahora que he completado mi trabajo de certificación ISO 18436-2 en las categorías I + II + III + IV, permitiéndome certificarme completamente mediante los Asociados Técnicos de Charlotte, El Instituto Mobius y El Instituto de Vibración, obteniendo 12 certificaciones logradas en su totalidad, he escrito una revisión de los diferentes proveedores y los 4 niveles ISO, espero que esto pueda ser de gran valor para los que inician en esta etapa, para personas las cuales ya se encuentran certificadas y los tres proveedores.

Posiblemente usted ha trabajado con monitoreo de condición de maquinaria rotativa a lo largo de los años, pero puede que algún día se encuentre con la siguiente pregunta – “¿Está usted realmente certificado?” La ISO 18436-2 es una certificación estándar que consta de 4 niveles, cubriendo cada aspecto relacionado con el monitoreo de condición de maquinaria rotativa; los 4 niveles reflejan el conocimiento y nivel de experiencia a través de los años, he estado trabajando con el análisis de señales por 25 años, y en los últimos 13 años mi aplicación de enfoque ha sido la maquinaria rotativa. Hace aproximadamente unos 3 años, afronté la pregunta de certificación que se mencionó previamente y tomé la decisión de certificarme.

Los proveedores de certificación conocidos como los “3 grandes” son El Instituto Mobius (MI) por Jason Tranter, Asociados Técnicos de Charlotte (TA) por Jim Berry y El Instituto de Vibración (VI) por Ron Eshleman. Siendo una persona que se inicia en el área de certificación, es muy complicado elegir entre estos proveedores. El instituto de vibración y el Instituto Mobius han recibido acreditaciones respetables de ANSI and JAZ ANS y, a mi entender, Asociados Técnicos de Charlotte no es un proveedor acreditado, ellos son proveedores altamente recomendados que ofrecen cursos de categoría I+II+III+IV que abarcan los temas listados en la ISO 18436-2. El número de personas certificadas válidas provenientes de cada proveedor se encuentra ilustrada en la siguiente gráfica y aclara que todo los proveedores tienen un índice elevado de historial:

*I have now completed my ISO 18436-2 Category I+II+III+IV certification work, and have become fully certified from both Technical Associates of Charlotte, Mobius Institute and Vibration Institute - 12 certifications achieved in total. I have written a review of the providers and the four ISO levels. Hope this can be of value to newcomers, already certified persons and the three providers.*

*You may have worked with condition monitoring of rotating machinery for many years, but some day you will be asked the question – “Are you certified .....?”. The ISO 18436-2 is a certification standard in four levels, covering every aspect regarding condition monitoring of rotating machinery. The four levels reflect knowledge and experience levels in years. I have been working with signal analysis in 25 years, and the last 13 years, my focus application has been rotating machinery. Three years ago, I faced the certification question above, and decided to get certified.*

*The so called “big three” certification providers are Mobius Institute (MI) by Jason Tranter, Technical Associates of Charlotte (TA) by Jim Berry, and Vibration Institute (VI) by Ron Eshleman. As a newcomer in the certification area, it is very difficult to select between these providers. VI and MI have received accreditation from respectably ANSI and JAZ ANS and to my understanding, TA is not an accredited provider. They are all highly recommended providers and offer Category I+II+III+IV courses that cover the topics listed in ISO 18436-2. The number of valid certificated persons from each provider is illustrated in the following graph, and it illustrates that all providers have a high track record:*



Figura 1. Distribución de Certificación. Fuente: El autor.

Figure 1. Certification Distribution. Source: The autor.

La información que se encuentra en la parte superior fue extraída de la certificación suministrada de la base de dato de la página oficial de cada proveedor.

*The above data was extracted from the certification database from each providers homepages.*

Mi trabajo es desarrollar algoritmos de monitoreo de condición para sistemas de bombeo, de esta manera cada uno de los proveedores podría proporcionarme con conocimientos valiosos sobre el monitoreo de condición para mi trabajo, sin embargo, no fue nada fácil el tener que escoger con cual iniciaría, por consiguiente, tomé la decisión de comenzar con CAT I+II+III+IV procedente de los tres proveedores, teniendo en cuenta que sería un tiempo bien invertido.

*My job is to develop condition monitoring algorithms for pump systems, and all three providers could provide me with valuable knowledge about condition monitoring to my work. But to select the one to go with was difficult – I therefore decided, that it would be “time well spent” by taking Cat I+II+III+IV from all three providers.*

Hoy en día, el objetivo fue alcanzado: he leído 7.300 páginas de teoría de monitoreo de condición para los cursos, he calculado 1.300 ejercicios y aprobado 12 pruebas de certificación (El cual se reduce a 42 horas de examen y 960 preguntas de certificación). Según entiendo soy el primero en tener un registro completo de certificaciones resultante de los tres proveedores: 12 certificaciones en total.

*Today – the mission is completed – I have read 7300 pages of condition monitoring theory for the courses, calculated 1300 exercises and passed 12 certification tests (42 hours examination and 960 certification questions). To the best of my knowledge, I am the first one to have a full certification track from all three providers – 12 certifications in total:*



**Fotografía 1.** Certificación completa ISO 18436-2 proveniente de los tres proveedores. *Fuente: El autor.*

**Photograph 1.** Full ISO 18436-2 certification from the three providers. *Source: The author.*

En la actualidad, tengo la perspectiva de la cual carecía al comienzo, y me doy cuenta de que la diferencia entre las ofertas de certificación de los diversos proveedores es significativa, a menudo los colegas acuden a mí para asesorarlos al momento de seleccionar un buen proveedor, razón por la cual me gustaría compartir mis observaciones en este artículo de revisión. Espero y tengo la certeza que dichas observaciones serán beneficiosas para aquellos que inician en esta etapa, las personas que se encuentran ya certificadas y los tres proveedores. En líneas generales, mi comparación será relativa entre los proveedores y no de manera absoluta, si usted solo posee conocimientos sobre un solo proveedor, usted no será capaz de evaluar el nivel de relación que existe con otros proveedores en el mercado.

Comenzaré con una introducción general de los tres proveedores con relación a sus enfoques y antecedentes:

## 1. El instituto Mobius

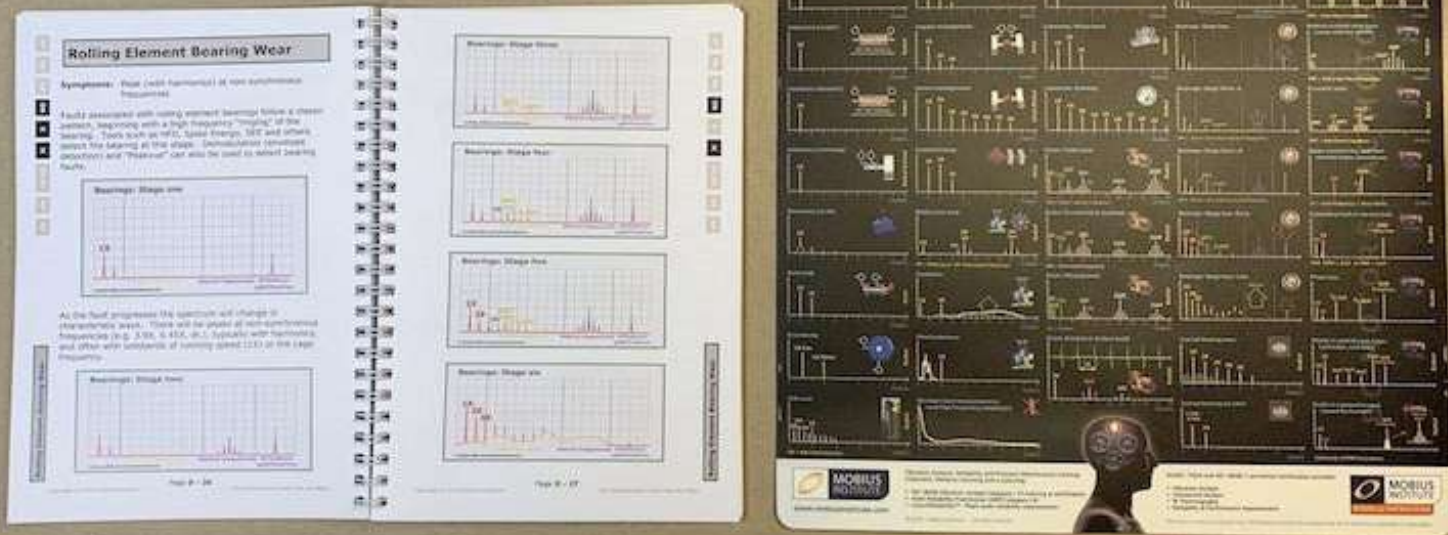
Es conocido por sus manuales a color muy ilustrativos, los casos se encuentran ilustrados utilizando simuladores de análisis de vibraciones y animaciones en 3D, en general El instituto Mobius utiliza animaciones y diapositivas en PowerPoint para todas las demostraciones, donde TA/VI lleva a cabo demostraciones en vivo con el kit de rotor, instrumentos etc. El Instituto Mobius es el único proveedor que ofrece un portal web (Conocido como la zona del aprendizaje) para estudiantes, abarcando ambos manuales de entrenamiento tanto para CAT I-III, para la lectura en línea (Flash Files, Swf) y video conferencias por parte de Jason Tranter como parte del material didáctico del aula de clase. El Instituto Mobius proporciona un folleto de referencia para la formación en el área de vibración, el cual se basa en una colección de firmas sobresalientes y un diccionario de términos de monitoreo de condición central, una almohadilla de mouse y un bolígrafo con firmas de vibración incorporadas.

*Today, I have the overview, that I missed at the beginning, and I realize the difference between the providers certification offerings is significant. I am often approach by colleagues how ask advice in selecting a provider, and I would like to share my observations in this review article. I hope and think that these observations will be beneficial for both newcomers, already certified persons and the three providers. In general, my comparison will be relative between providers, and not absolute. If you only have knowledge about one provider, you will not be able to evaluate the level in relation to other providers on the marked.*

*I will just start with a general introduction of the three providers and their approach/background:*

## 1. Mobius Institute

*MI are well-known for their very illustrative color manuals – cases are illustrated using 3D animations and vibration analysis simulators. In general, MI use PowerPoint and animations for all demonstrations, where TA/VI make live demonstrations on rotor kit, instruments ect. MI are the only provider, that offer a web portal (called a Learning Zone) for students, covering both training manuals for Cat I-III for online reading (flash files, swf) and video lectures by Jason Tranter. As part of the classroom material, MI provide a “Vibration Training – Quick Reference” booklet which is an outstanding signature collection and dictionary of core condition monitoring terms, and a mouse pad + a pen with build-in vibration signatures:*



**Fotografía 2.** Material didáctico perteneciente al aula de clase de El Instituto Mobius. *Fuente: El autor.*

*Photograph 2. Material from the MI classroom. Source: The author.*

Junto con el diploma de certificación, usted también recibirá una tarjeta de certificación de identificación y un archivo de imagen para su firma de correo electrónico:

*Together with the certifications diploma, you will also receive an ID certification card and a picture file for your email signature:*



**Fotografía 3.** Una tarjeta de certificación de identificación. *Fuente: El autor.*

*Photograph 3. ID certification card. Source: The author.*



**Figura 2.** Archivo de imagen para firma de correo electrónico. *Fuente: El autor.*

*Figure 2. Picture file for email signature. Source: The author.*

La siguiente tabla enlista el contenido por cada uno de los cursos ISO de EL Instituto Mobius:

*The following table lists the content for each of the MI ISO courses:*



## ISO 18436-2 Analista de vibración certificado

Categoría ISO	Experiencia Requerida	Videos de Capacitación	Manual de Capacitación	Días de Conferencias	Examen de certificación
Categoría I	6 Meses	14.5 Horas	456 Páginas	4 Días	60 Preguntas - 2 Horas
Categoría II	18 Meses	32.5 Horas	732 Páginas	4 Días	100 Preguntas - 3 Horas
Categoría III	36 Meses	28.5 Horas	808 Páginas	4 Días	100 Preguntas - 4 Horas
Categoría IV Parte A	60 Meses	42.0 Horas	0 Páginas	Solo en línea	6 Meses tiempo limite
Categoría IV Parte B	60 Meses	0	0 Páginas	4 Días	60 PREGUNTAS - 5 Horas

**Tabla 1.** Cursos ISO 18436-2 pertenecientes al Instituto Mobius. *Fuente: El autor.*

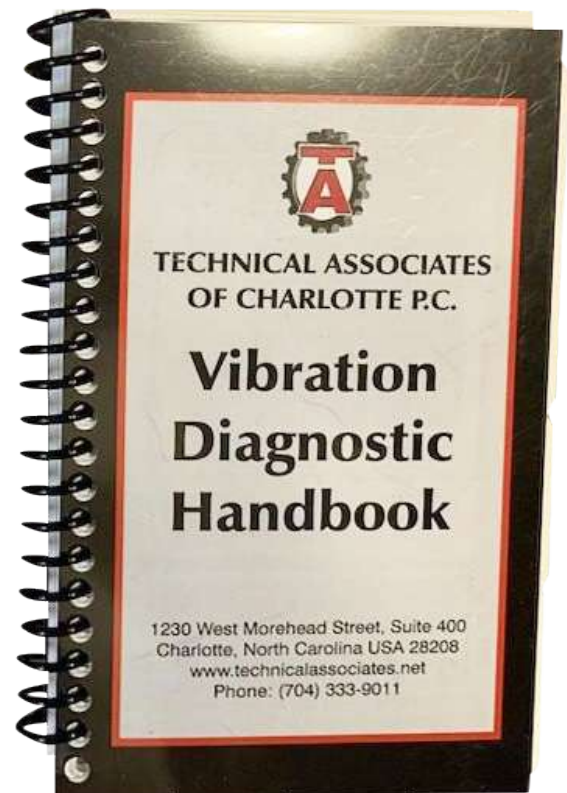
*Table 1. ISO 18436-2 courses from the Mobius Institute. Source: The author.*

## 2. Asociados Técnicos de Charlotte, P.C

Los instructores de Asociados Técnicos De Charlotte utilizan el 50% de su tiempo en el campo, esto se puede observar claramente reflejado en los manuales de capacitación, debido a que la mayor parte de su conocimiento se basa en informes de campo, a menudo se afirma que el material didáctico suministrado por Asociados Técnicos De Charlotte no es considerado como manuales de capacitación, sino más bien como una enciclopedia de monitoreo de condición. Se puede encontrar una gran variedad de conocimientos en los manuales de Asociados Técnicos De Charlotte los cuales no son preceptivos por las normas ISO, pero las han incluido para suministrar una visión completa de esta área. Asociados Técnicos De Charlotte presenta una gran cantidad de casos de vuelo a las conferencias con motores, kits de rotor, instrumentos y sensores etc., para demostrar técnicas de medición en vivo durante las clases, las cuales reflejan su experiencia práctica. Asociados técnicos de Charlotte también ofrece un folleto y un mural que consiste en una gráfica diseñada para mostrar en una pared información o instrucciones, cabe destacar que todo este material didáctico tiene el sello exclusivo y característico de dicho proveedor, no obstante este material de capacitación no está incluido y su adquisición es por separado.

## 2. Technical Associates of Charlotte, P.C.

*TA's instructors use 50% of their time in the field. This is clearly reflected in the training manuals, as much knowledge is based on field reports. It is often stated, that TA material is not training manuals, but more a condition monitoring encyclopedia. A lot of knowledge can be found in the TA manuals, that is not mandatory by ISO, but has been included by TA to provide the complete picture of this area. TA instructors bring a huge number of flight cases to the lectures with motors, rotor kits, instruments and sensors etc to demonstrate measurement techniques live during the classes, reflecting their hand-on experience. TA also offer a signature booklet and signature wallchart, but these are not part of the training material and must be purchased separately:*



**Fotografía 4.** Guía sobre diagnóstico de vibración. *Fuente: El autor.*

*Photograph 4. Vibration Diagnostic Handbook. Source: The author.*

La siguiente tabla enlista el contenido por cada uno de los cursos ISO de Asociados Técnicos de Charlotte:

*The following table list the content for each of the TA ISO courses:*



## ISO 18436-2

### Analista de vibración certificado

Categoría ISO	Experiencia Requerida	Manual de Capacitación	Días de Conferencias	Examen de certificación
Categoría I	6 Meses	192 Páginas	3 Días	60 Preguntas - 2 Horas
Categoría II	18 Meses	639 Páginas	3 Días	100 Preguntas - 3 Horas
Categoría III	36 Meses	800 Páginas	3 Días	100 Preguntas - 4 Horas
Categoría IV Parte A	60 Meses	602 Páginas	3 Días	100 Preguntas - 4 Horas pre - examen
Categoría IV Parte B	60 Meses	987 Páginas	4 Días	60 PREGUNTAS - 5 Horas

**Tabla 2.** Cursos ISO 18436-2 pertenecientes a Asociados Técnicos De Charlotte. *Fuente: El autor.*

*Table 2. Technical Associates of Charlotte ISO 18436-2 Courses. Source: The author.*

Nota: La duración de Cat I-III es un día más corta que la requerida por la norma ISO 18436-2. Estándar, Asociados Técnicos De Charlotte compensa las horas de capacitación ISO requeridas al hacer que los estudiantes practiquen el "auto estudio". Prácticamente, el enfoque de autoaprendizaje no siempre funciona bien, especialmente para los estudiantes extranjeros. No es posible enviar el material con anticipación, por lo que no podrá prepararse antes de llegar a clase.

*Note: The length of Cat I-III is one day shorter, than required by the ISO 18436-2 standard. TA makes up the required ISO training hours by making the students do "self study". Practically, the self study approach doesn't always work out well, especially for overseas students. It is not possible to have the material shipped ahead of time, so you will not be able to prepare before coming to class.*

### 3. Instituto de Vibración

El Instituto de Vibración es el más teórico de los tres proveedores ya antes mencionados, los temas siempre son analizados con un profundo respaldo matemático y minuciosidad, para citar un ejemplo tenemos lo siguiente; realizando un registro de a MI/TA. A usted se le proporcionará una serie de ecuaciones estándares (con un coeficiente desconocido) para posteriormente convertir entre desplazamiento, velocidad y aceleración. Pero cuando usted le da seguimiento a un registro de VI, usted será capacitado para llevar a cabo el mapeo de dominio por

### 3. Vibration Institute

*VI are the most theoretical of the three providers. Topics are always covered with great mathematical deep and thoroughness. Just an example – Following a MI/TA track, you will be provided with standard equations (with unknown coefficients) to convert between displacement, velocity and acceleration. But when you are following a VI track, you will be trained in doing the domain mapping by multiplication/*

multiplicación/ división por  $2^{\pi}$  y usted sabrá el porqué, tenga cuidado, ya que el Instituto de Vibración afirma las respectivas declaraciones: "Nosotros lo calificamos para el examen" estando esto relacionado a la estructura de VI, ellos presentan una sólida separación entre el curso y los departamentos de certificación, estas dos partes no cooperan, ocasionando que no exista un lineamiento entre los cursos y las pruebas, usted puede y por lo tanto será evaluado en temas que no están cubiertos en los cursos.

*division by  $2^{\pi}$  and you will know why! Be aware, that VI state, that "we do not train you for the test", and this is related to the structure of VI – they have a strong separation between the course and the certification departments. These two parts do not cooperate, and there is no alignment between the courses and the tests. You can and will therefore be tested in topics that are not covered in the courses!*

**La siguiente tabla enlista el contenido por cada uno de los curso ISO de El Instituto de Vibración**

*The following table list the content for each of the VI ISO courses:*

	<h2 style="margin: 0;">ISO 18436-2</h2> <h3 style="margin: 0;">Analista de vibración certificado</h3>			
Categoría ISO	Experiencia Requerida	Manual de Capacitación	Días de Conferencias	Examen de certificación
Categoría I Introducción a las vibraciones de la maquinaria	6 Meses	163 Páginas	4 Días	60 + 3 Preguntas - 2 Horas
Categoría II Vibraciones de maquinaria básica	18 Meses	235 Páginas	4 Días	100 + 5 Preguntas - 3 Horas
Categoría III Análisis de vibración de maquinaria	36 Meses	650 Páginas	4 Días	100 + 5 Preguntas - 4 Horas
Categoría IV Parte A Análisis avanzado de vibraciones	60 Meses	394 Páginas	4 Días	60 + 3 Preguntas - 5 Horas
Categoría IV Parte B Dinámica y modelado practico del rotor	60 Meses	312 Páginas	4 Días	
Categoría IV Parte C Control avanzado de vibración	60 Meses	281 Páginas	4 Días	

**Tabla 3.** Cursos ISO 18436-2 pertenecientes al Instituto de Vibración. *Fuente: El autor.*

*Table 3. ISO 18436-2 courses from the Vibration Institute. Source: The author.*

Junto con el diploma de certificación, usted también recibirá una tarjeta de certificación de identificación y un archivo de imagen para su firma de correo electrónico: Tenga en cuenta dos factores: 1.- El Instituto De Vibración ha agregado 1 pregunta de examen adicional por cada 20 preguntas, ya que siguen un enfoque psicométrico. 2.- He calificado los cursos de Categoría I-IV, sin embargo El Instituto De Vibración no relaciona los cursos con ningún nivel ISO específico, ya que los cursos no están dirigidos a ningún nivel ISO específico, sino que se ofrecen como cursos generales. Esto está relacionado con la declaración de "nosotros lo calificamos para el examen". Voy a comentar sobre esto más adelante en la sección de discusión.

*Along with the certification diploma, you also have an identification certification card and an image file for your email signature: Note two things: 1.VI have added 1 extra examination question per 20 questions, as they are following a psychometric approach. 2. I have termed the courses Category I-IV course, but VI do not relate the courses to any specific ISO level, as the courses are not targeting any specific ISO level, but are giving as general courses. This is related to the VI statement "We do not train you for the test". I will comment on this later in the discussion section.*



La siguiente sección presentará las cuatro categorías y expondrá en líneas generales algunas de las principales diferencias entre los tres proveedores:

*The next section will present the four categories, and outline some of the difference between the three providers:*

### Categoría I

El primer nivel abarca todos los temas elementales y en líneas generales describe los términos “específicos del proveedor”, cada proveedor contiene su propia notación, reglas generales y recomendaciones que usted debe saber para ser capaz de aplicar en la prueba de certificación; no es un curso obligatorio para proceder a la categoría 2 y las personas con frecuencia preguntan si en realidad es necesario. Para obtener usted mismo la respuesta a esta pregunta, Asociados Técnicos De Charlotte ha realizado una pequeña prueba previa en su página oficial, considero que usted se asombrará con el nivel de Cat I, en mi experiencia personal, les sugiero no omitir este nivel en su aprendizaje, he estado involucrado en diversas conferencias relacionadas a Cat II-IV, donde los estudiantes han hecho preguntas elementales concernientes a Cat I, que se supone ellos deberían ya saber, si usted tiene el tiempo para certificarse, también lo tendrá para realizar un Cat I.

### Category I

*This first level covers all the elementary topics and outline “provider specific” terms. Each provider has their own notation, rules of thumb and recommendations that you must know and be able to apply at the certification exam. It is not a mandatory course for the following Cat. 2 and people often ask, if it is necessary. To answer this question by yourself, TA have on their homepage made a small pre-test. I think, that you will be amazed by the level of Cat I. To my experience, do not skip this level in your learning – I have been to many Cat II-IV lectures, where students have asked elementary Cat I questions, that they are supposed to know. If you have the time to get certified, you also have the time to do a Cat I.*

### Categoría II+III

Estas categorías desarrollan el conocimiento sobre el análisis de señales de maquinaria rotativa, modelos mecánicos para maquinaria vibratoria, etc. En estas partes:

- El Instituto Mobius desarrolla una comprensión virtual de una variedad de temas usando animaciones a color 3D muy ilustrativas durante las conferencias en el aula de clase. Un sólido portafolio con su sello característico de casi todos los tipos de fallas desarrolladas por el Instituto Mobius siendo esta respaldada por el folleto.
- Asociados Técnicos De Charlotte está utilizando su experiencia en el campo para presentar temas con referencia del estudio de casos, siendo este su único enfoque (El método comprobado) para establecer niveles robustos de alarma y severidad, como una alternativa a los niveles ISO conocidos, solo para citar un ejemplo. Muchos temas son ilustrados en vivo durante en el aula de clase utilizando motores e instrumentos en funcionamiento. Asociados Técnicos De Charlotte también tiene un sólido enfoque para el análisis de falla, respaldado por el sello exclusivo y característico de dicho proveedor, no obstante, este material de capacitación no está incluido y su adquisición es por separado.
- El Instituto de Vibración comienza a realizar análisis profundos en una serie de temas, como el equilibrio en dos planes, utilizando el cálculo manual de álgebra vectorial, donde otros proveedores solo se refieren a paquetes de software, usted aprenderá a calcular los coeficientes de factor cruzado a mano. En comparación con MI/TA, VI no tiene el mismo enfoque en el análisis de firmas, y no ofrece folletos (de firma propia).

### Category II+III

*These categories build up the knowledge about signal analysis of rotating machinery, mechanical models for vibrating machinery etc. In these parts:*

- *MI build up a virtual understanding of many topic using very illustrative 3D color animations in the classroom lectures. A strong signature portfolio of nearly all fault types are build up by MI and supported by the booklet.*
- *TA are using their field experience to present topics with reference to case studies. Their unique approach (The Proven Method) to setting up robust alarm and severity levels, as an alternative to the known ISO levels is just an example. Many topics are illustrated live in the classroom using running motors and instrumentation. TA also have a strong signature approach to fault analysis supported by a signature booklet (must be purchased seperatly).*
- *VI start to make deep dives into a number of topics – like two plan balancing using vector algebra by hand calculation – where other providers just refer to software packages, you will learn to calculate the cross-factor coefficients by hand. In comparison to MI/TA VI do not have the same focus on signature analysis, and are not offering signature booklets.*

#### Categoría IV

- El Instituto Mobius ha dividido Cat IV en una parte A (sección de videos en línea) y una parte B (conferencia en el aula de clase). La Parte A debe completarse antes de la Parte B. Parte A: la parte en línea es de 42 horas de video, con aproximadamente 22 horas de revisión del material Cat I-III y temas opcionales, y 20 horas para cubrir los Principios de Vibración, roto dinámica, diagnóstico de falla y balanceo. Las conferencias en el aula de clase serán una revisión de la sección de videos en línea. No se proporciona ningún manual de capacitación para Cat-IV, pero se proporcionará una copia de los gastos generales de la sección de videos en línea en la clase.

- Asociados Técnicos De Charlotte ha dividido Cat IV en dos conferencias en el aula de clases, Cat-IVa y Cat-IVb de una semana de duración cada una. Los manuales de capacitación para estas dos conferencias son  $1.000 + 600 = 1.600$  páginas + ejercicios. Exigirá aproximadamente 500 horas de preparación. Las conferencias cubren en profundidad temas como la roto dinámica, ODS, FRF, Anti resonancia... etc. Uno de los temas adicionales que Asociados Técnicos De Charlotte ofrece en Cat IV es cómo configurar niveles de gravedad robustos combinando vibración y análisis de firma de corriente, otro es cómo analizar máquinas de muy baja/alta velocidad. El fundador y presidente de Asociados Técnicos De Charlotte, Jim Berry, demostró una variedad de técnicas de medición como el Método de Amplitud imaginaria "Quadrature Picking" (Selección de Cuadratura) en las conferencias del aula de clases, y Ken Singleton cubrió algunos tópicos en roto dinámica en profundidad.

- El Instituto de Vibración ha dividido Cat IV en tres sub-cursos sobre Análisis de Vibración Avanzado, Control de Vibración Avanzado y Roto dinámica, con un recuento de páginas de  $358 + 243 + 282 = 883$  páginas. Para cada capítulo, se proporciona una lista de ejercicios para reforzar su aprendizaje. VI estima 100 horas de preparación para cada sub-curso = 300 horas de preparación para Cat IV. El Instituto de Vibración pasa de un tema en profundidad a otro: las cuatro ecuaciones para amortiguación, ecuaciones para modulación y ritmo, banda lateral AM y FM, expansiones de series de potencia por suma y diferencia de frecuencias de detección Envolvente mediante la transformación de Hilbert y la señal analítica etc. Sin embargo, temas como ODS no se cubren con la misma profundidad que ofrece MI/TA.

Una consideración podría ser también el porcentaje de estudiantes aprobados:

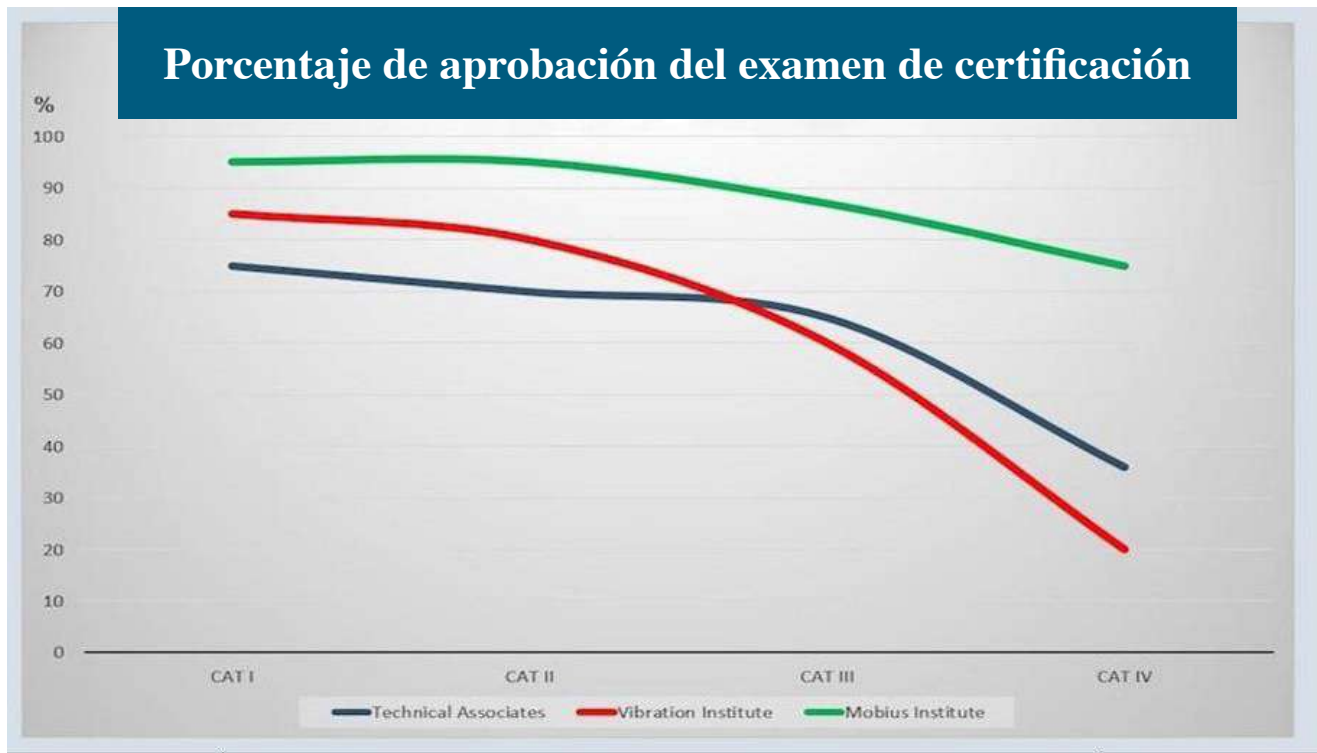
#### Category IV

- MI has divided Cat IV into a part A (online video section) and a part B (classroom lecture). Part A must be completed before Part B. Part A – the online part is 42 hours of video, with approximately 22 hours review of the Cat I-III material and optional topics, and 20 hours for covering Principles of Vibration, Rotor Dynamics, Fault Diagnosis and Balancing. The classroom lectures will be a review of the online video section. No training manual is provided for Cat-IV, but a copy of the overheads from the online video section will be provided at the classroom lecture.

- TA has divided Cat IV into two classroom lectures Cat-IVa and Cat-IVb of each one-week duration. The training manuals for these two lectures are  $1000+600=1600$  pages + exercises. It will demand approximately 500 hours of preparation. The lectures cover deep dives into topics like rotor dynamics, ODS, FRF, Anti resonance ... etc. One of the extra topics' TA is offering in Cat IV is how to setup robust severity levels by combining vibration and current signature analysis, another is how to analysis very low/high speed machines. TA founder and President Jim Berry demonstrated a range of measurement techniques like the imaginary Amplitude "Quadrature Picking" Method at the classroom lectures, and Ken Singleton covered some deep dives in rotor dynamics.

- VI has divided Cat IV into three sub-courses on Advanced Vibration Analysis, Advanced Vibration Control and Rotor dynamics, with a page count of  $358+243+282=883$  pages. For each chapter, a list of exercises is provided to reinforce your learning. VI estimate 100 hours of preparation for each sub-course = 300 hours of preparation for Cat IV. VI goes from one deep dive to the next deep dive – the four equations for damping, equations for modulation and beating, AM and FM sideband, power series expansions for sum and difference frequencies, Envelope detection using Hilbert transformation and the analytic signal ect. Topics like ODS is however not cover to same deep as offered by MI/TA.

One consideration could also be the student passing percentage:



**Figura 3.** Porcentaje de aprobación del examen de certificación. Fuente: El autor.

*Figure 3. Certification Examination Percentage Passing Rate. Source: The author*

Las curvas que se encuentran en la parte superior han sido proyectadas utilizando los aportes obtenidos de los instructores del curso, proveedores y correlacionando la lista de estudiantes para cada una de mis clases con respecto a las bases de datos de certificación de proveedores. Puede que no sean 100% precisos, pero servirán para ilustrar un par de cosas.

- El Instituto Mobius tiene el mayor porcentaje de aprobación.

- El porcentaje de aprobación para categorías superiores son muy diferentes. Para establecer un extremo: un Cat-IV del Instituto Mobius se puede hacer con 42 horas (20 horas de cobertura del material Cat IV) de preparación con una tasa de aprobación del 70%, mientras que un Cat-VI del instituto de Vibración tomará 300 horas de preparación con una tasa de aprobación de solo el 20%. Es una diferencia con un factor 15 para la preparación (= aprendizaje) para el material básico Cat-IV, pero con un factor de 1/3 de aprobación del examen de certificación. Sé de las personas certificadas del Instituto Mobius Cat IV que reprobaron un examen de certificación Cat IV del Instituto De Vibración, y solo dos personas han aprobado el Cat IV del instituto De Vibración sin un título académico superior.

*The above curves have been drawn using inputs obtained from course instructors, providers and by correlating students list for each of my classes against the provider certification databases. They might not be 100% accurate, but they will serve the purpose of illustrating a couple of thing.*

- *Mobius Institute has the highest passing percentage.*

- *The passing percentage for higher categories are very different. To state an extreme – a MI Cat-IV can be done with 42 hours (20 hours cover Cat IV material) of preparation with a passing rate of 70%, whereas a VI Cat-VI will take 300 hours of preparation with a passing rate of only 20%. It is a difference with a factor 15 for preparation (=learning) for core Cat-IV material, but with factor of 1/3 of passing the certification examination. I know of MI Cat IV certified persons who failed a VI Cat IV certification examination, and only two persons has passed the VI Cat IV without a higher academic degree.*



## Discusión

En general, un curso tiene el propósito de aumentar el conocimiento de un estudiante a un nivel predefinido, y la prueba posterior tiene que medir a qué nivel se ha logrado. Cuando solo el 20% de los estudiantes aprueba un examen Cat IV del Instituto de Vibración, algo está mal con el sistema, no con los estudiantes. Creo que, hasta cierto punto, el Instituto de Vibración ha entendido mal las intenciones originales de las certificaciones ISO 18436-2. No es un título universitario, sino un enfoque aplicado para el monitoreo de condición. Si usted desea realizar estudios profundos en el procesamiento de señales, roto dinámica, hay ofertas mucho mejores en nuestras Universidades. En general, hubiera esperado un porcentaje de aprobación cercano al curso del Instituto Mobius para todos los proveedores.

El nivel técnico de Cat IV es muy diferente para los tres proveedores. Siento que el nivel del Instituto Mobius es demasiado bajo, el Instituto de Vibración está "desalineado" y Asociados técnicos de Charlotte tiene un mejor enfoque.

Otro inconveniente referente a los tres proveedores, es el hecho que no todos aceptan la certificación de los demás, por lo que esto dificulta la combinación de proveedores en su registro. El Instituto Mobius y el Instituto de Vibración aceptan mutuamente certificaciones, pero no Asociados técnicos de Charlotte. Y a su vez Asociados técnicos de Charlotte acepta tanto al Instituto Mobius como al Instituto de Vibración. Esta falta de alineación de niveles, porcentaje de aprobación y aceptación de certificaciones es un problema para todos nosotros. Mi esperanza es que Jim, Jason y Ron se encuentren algún día y alineen los niveles de los cursos y los exámenes de certificación. Actualmente, estamos comparando manzanas y peras. Cuando usted declara estar certificado, la siguiente pregunta será "¿por cuál instituto?" Es como interpretar un número de dB: necesita conocer la referencia.

Si su experiencia es Administración o Servicio, el Instituto Mobius podría ser un buen camino para seguir porque le proporcionarán una visión general sólida del monitoreo de condición. Su infinito número de animaciones 3D a color hacen que los temas muy

## Discussion

*In general, a course has the purpose of increasing the knowledge of a student to a predefined level, and the subsequent test has to measure to what level this has been achieved. When only 20% of the students pass a VI Cat IV examination, something is wrong with the system, not the students. I think to some extent, that Vibration Institute has misunderstood the original intentions of the ISO 18436-2 certifications. It is not a University degree, but an applied approach to condition monitoring. If you want to do deep dives into signal processing, rotor dynamics there are much better offers at our Universities. Overall, I would have expected a passing percentage close to the MI course for all providers.*

*The technical level of Cat IV is very different for the three providers. I feel, that the level of MI is too low, VI is "misaligned" and TA is spot on.*

*Another issue is, that the three providers do not all accept each others certification, so this makes it difficult to combined providers in your track. MI and VI accept each others certifications, but not TA. TA accept both MI and VI. This missing alignment of levels, passing percentage and acceptance of certifications is a problem for all of us. My hope is, that Jim, Jason and Ron would meet one day, and align the levels for both courses and the certifications examinations. Currently, we are comparing apples and pears. When you state to be certified – the next question will be "by which institute?" It's like interpreting a dB number – you need to know the reference.*

*If your background is Management or Service, MI could be a good path to follow because they will provide you with a solid overview of condition monitoring. Their infinity number of color 3D animations make very complicated topics easy to*

complicados sean fáciles de entender. El Instituto Mobius es el único proveedor que tiene manuales de capacitación a color (... VI/TA ha comenzado a actualizar sus manuales con colores), y las video conferencias de su fundador Jason Tranter se pueden encontrar en el portal web de capacitación. Los cursos no requieren mucha preparación, y la prueba de certificaciones es sencilla después de haber seguido el curso. Buena alineación entre curso y exámenes.

Si tiene una formación más técnica o está en una función de desarrollo pura, el Instituto de Vibración o Asociados técnicos de Charlotte podrían ser el camino para usted, ya que lo llevarán de una inmersión técnica profunda a la siguiente. Donde el Instituto Mobius es súper fuerte en animaciones, VI/TA usa matemáticas y demostraciones en vivo para construir su comprensión. En general, un registro del Instituto de Vibración/ Asociados técnicos de Charlotte requieren una cantidad considerable de horas para la preparación, y esto es algo que debe tenerse en cuenta. Una subdivisión podría representar, que los Asociados técnicos de Charlotte apuntan más a especialistas en campo, donde el Instituto de Vibración tiene un objetivo más académico.

Solo otro comentario para el auto estudio de Asociados técnicos de Charlotte. Cuando usted no pueda ser capaz de recibir el manual antes de la conferencia, es una misión imposible... Nadie puede leer y entender un manual Cat III de 800 páginas durante 3 días. Cuando tomé Asociados técnicos de Charlotte Cat III, tuve que rechazar mi prueba de certificación después del curso, porque sentí que mi aprendizaje después de las conferencias era insuficiente. Regresé algunos meses después y pasé la prueba. Como le dije a Jim, "Estoy aquí para el aprendizaje y no para el papel de certificación".

Una buena sugerencia para los que inician en este campo de certificación es hacer el seguimiento de la certificación junto con un colega, para que tenga a alguien con quien hablar sobre su aprendizaje. La curva de aprendizaje para el material puede ser muy empinada, y es bueno tener a alguien con quien discutir /desafiar su aprendizaje.

La última observación es que no existe tal cosa como "El mejor proveedor" o "Una talla única para todos": cada proveedor tiene un perfil que debe coincidir con la necesidad/aplicación y los recursos del estudiante. Espero que, al leer este artículo, tenga una comprensión más clara de a qué proveedor debe acercarse.

Nota: entre más certificaciones obtenga, más asombrado y humilde usted será, al darse cuenta de que hay mucho por aprender en este campo, este es un aprendizaje de toda una vida.

Y por último un agradecimiento especial a los equipos de instructores talentosos pertenecientes a los tres proveedores, ciertamente he disfrutado mucho nuestras discusiones, todos ustedes hicieron que esto valiera la pena:

- Asociados técnicos de Charlotte: Jim Berry, Ken Singleton, Vito Sabato, Barry Cease, Skip Hartman
- Instituto Mobius: João Pedro País, Roengchai Chumai
- Instituto de Vibración: Ron Eshleman, Jack Peters, Ray Kelm

*understand. MI is the only provider, that have color training manuals (... VI/TA has started to update their manuals with colors), and video lectures by their founder Jason Tranter can be found on the training web portal. The courses do not demand much preparation, and the certifications test are straight forward after you have followed the course. Good alignment between course and exams.*

*If you have a more technical background or is in a pure development function, VI or TA could be the path for you, because they will drive you from one technical deep dive to the next. Where MI is super strong in animations, VI/TA use math and live demonstrations to build up your understanding. In general, a VI/TA track take considerable amount of hours for preparation, and this has to be taken into consideration. A sub split could be, that TA are more targeting field specialists, where VI has a more academic target.*

*Just another comment to the TA self study. When you are not able to receive the manual before the lecture, it is mission impossible... No body can read and understand an 800 pages Cat III manual over 3 days. When I took TA Cat III, I had to decline my certifications test after the course, because I felt my learning after the lectures was insufficient. I returned some months later and passed the test. As I told Jim, "I am her for the learning and not for the certification paper".*

*A good suggestion to newcomers in this certification field is to do the certification track together with a colleague, so you have someone to discuss your learning with. The learning curve for the material can be very steep, and it is nice to have someone to discuss / challenge your learning with.*

*The last observation is, that there is no "The best provider" or "One size fits all" – each provider has a profile, that has to be match with the student's need/application and resources. I hope that by reading this article, you will have a more clear understanding of which provider, that you should approach.*

*Note, the more you get certified, the more amazed and humbled you will be, realizing how much more there is to learn in this field – this is a life long learning.*

*Last – a big thanks to the teams of very skilled instructors from all three providers. I have really enjoyed our discussions a lot – you all made it worth doing:*

- TA: Jim Berry, Ken Singleton, Vito Sabato, Barry Cease, Skip Hartman
- MI: João Pedro Pais, Roengchai Chumai
- VI: Ron Eshleman, Jack Peters, Ray Kelm



E&M Solutions International, S.A.

EMS te brinda lo que quieres para  
tu empresa en mantenimiento  
y gestión de activos.



Foto:  
©Hanami Sohn


## Y ahora canaliza tus necesidades desde Panamá

En nuestras nuevas oficinas recreamos y desarrollamos los planes de mantenimiento para toda centroamérica y el Caribe. Con el respaldo de una larga experiencia y el empuje de sus profesionales, EMS se consolida como la opción perfecta para el cuidado de tus activos físicos.

EMS soluciones especializadas de Ingeniería y Gestión de Activos, ahora en Panamá.


Ubicados en: Torre de Las Américas, Torre B, Piso 15, Punta Pacífica, Panamá.

Contáctanos:

E&M Solutions 

@eym\_solutions 

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

[corporatepanama@eymsolution.com](mailto:corporatepanama@eymsolution.com) 



# Contribución del análisis de lubricante en tiempos de contingencia

**Prevención.** En momentos difíciles, ante situaciones inesperadas como la que vivimos actualmente por el COVID-19, es primordial aplicar medidas que permitan la operatividad de las máquinas para ejecutar tareas que son esenciales.

Gerardo Trujillo Corona

México

Director General

Empresa: Noria Latín América

gtrujillo@noria.mx

**E**n la contingencia COVID-19, el mantenimiento es una actividad esencial. Las máquinas que producen bienes necesarios para la población deben continuar operando y la función de los profesionales de mantenimiento es fundamental. Las plantas operan con el mínimo necesario y por consiguiente los programas normales de mantenimiento pasan a una fase diferente. La planeación y programación se ajusta para efectuar las tareas indispensables (esenciales para estar a tono con los términos de la contingencia) y las tareas basadas en tiempo son temporalmente restringidas. Sólo las más importantes son ejecutadas.

He de mencionar que me ha sorprendido al principio, pero después he entendido la razón del por qué en plantas que han disminuido la cantidad de tareas de mantenimiento preventivo basadas en tiempo, su disponibilidad ha incrementado, contrario a lo que muchos pensaban. Esto es lo que he leído esta última semana en algunas publicaciones en LinkedIn acerca de los efectos positivos de esta contingencia relacionados con la confiabilidad y el mantenimiento. Esto nos da un claro indicativo de que muchos de los programas de mantenimiento de la industria están “obesos”. Es decir; con el paso del tiempo, administraciones, modos de falla no analizados, creencias, herencias, etc., se han llenado de tareas innecesarias, que no están dirigidas a una causa de falla y que al ser ejecutadas, no solo son un desperdicio de tiempo y recursos, sino que además son generadoras de fallos.

Racionalización del mantenimiento, racionalización del personal y los recursos son la constante en tiempos de contingencia. Si su planta se ha convertido ya en un modelo de Industria 4.0 y sus máquinas están conectadas, entonces la tarea es más sencilla. La integración del mantenimiento basado en condición a la información proveniente de los diferentes sistemas, procesos y máquinas proporciona la

información necesaria para tomar decisiones de qué máquina intervenir y cuándo. Algunas de las veces no será necesaria la intervención, ya que los algoritmos pueden generar la “prescripción” y en algunos casos incluso implementar las soluciones. Pero la mayoría de las plantas aún no está allí. En este caso, dependemos de la información, los datos, las pruebas y los especialistas para tomar esas decisiones. La importancia de las técnicas del mantenimiento basado en condición (MBC) se vuelve más relevante para tomar las decisiones correctas de mantenimiento que preserven la función y la confiabilidad requerida.

Como un experto en la técnica del análisis de lubricante (aceite y grasa), estoy muy consciente del aporte que ésta puede dar en estas circunstancias. Soy además un fuerte impulsor de la combinación de las técnicas para lograr abarcar la mayor cantidad de modos de falla críticos en una máquina. Me he aprendido de memoria (y lo aplico siempre) el estándar ISO 17359:18 que define las prácticas recomendadas para identificar los modos de falla que requieren el uso de una técnica de monitorización.

**Dependemos de la información, los datos, las pruebas y los especialistas para tomar esas decisiones. La importancia de las técnicas del mantenimiento basado en condición (MBC) se vuelve más relevante para tomar decisiones correctas de mantenimiento que preserven la función y la confiabilidad requerida.**

Partimos del AMEF para las máquinas con función crítica y localizamos esos modos de falla que tienen un Número de Prioridad de Riesgo (NPR) alto. Nuestra tarea es la de disminuir el riesgo mediante la disminución de la Probabilidad de la falla (P) o incrementando la posibilidad de detección (Detectabilidad - D) del problema en etapa temprana; o mejor aún, desde la identificación de la causa. La parte crítica de este proceso es saber seleccionar “Cuál” técnica es la adecuada y no querer matar varios pájaros en el mismo tiro con una estrategia “Escopeta”. Se requiere del experto que seleccione la técnica que vaya con “mira láser” a la causa del problema y que además tenga el periodo de Falla Potencial (P) - Falla Funcional (F) más largo. Es decir, que su P-F sea el mayor comparado con otras técnicas. En mis más de 30 años en la industria





“ En la coordinación para la gerencia de mantenimiento, el trabajo colaborativo es de vital importancia”

de América Latina, he sido invitado numerosas veces a participar con otros especialistas renombrados, en estos equipos de trabajo para aportar mi conocimiento acerca de los modos de falla que el análisis del aceite y la grasa puede detectar. El trabajo multidisciplinario da excelentes resultados y todos hemos aprendido de estas experiencias con enfoque en los objetivos de confiabilidad (suma sin competencia).

Cada componente de la máquina tiene modos de falla genéricos que dependen de su construcción y mecanismos, y modos de falla específicos relacionados con su contexto operacional. El conocimiento de las pruebas del análisis de aceite permite aplicarlas de manera específica a identificar causas, efectos o síntomas de fallo. Mientras más se conozca de las pruebas, sus fortalezas, sus debilidades, métodos de ensayo utilizados y sus límites de detección, mejor valor se obtendrá de esta técnica. Aquí cobra especial importancia la certificación de competencias como Analista de Lubricantes de Maquinaria (MLA por sus siglas en inglés de Machinery Lubricant Analyst) Nivel III. Asimismo, mientras más conocimientos se tengan del contexto operacional de la máquina y la severidad de operación del lubricante, mejor se seleccionarán las pruebas para los posibles modos de falla relacionados con estas condiciones. Aquí también es de vital importancia que quien diseña su estrategia tenga experiencia en diferentes tipos de industria y conocimientos de los componentes de las máquinas.

Sólo para ejemplificar la manera de correlacionar las pruebas del análisis de lubricante con los modos de falla, veamos lo que la prueba de medición de la viscosidad del aceite a 40C o 100C permite identificar:

1. La degradación del lubricante por oxidación (formación de compuestos de alto peso molecular que incrementan la viscosidad del aceite),
2. Ruptura de las moléculas del aceite por alta temperatura,
3. Identificar el relleno con un aceite de mayor/menor viscosidad,
4. Contaminación con agua,
5. Contaminación con solventes, refrigerantes y otros fluidos,
6. Degradación del aditivo mejorador del índice de viscosidad (IV),
7. Contaminación con combustible,
8. Nitración del lubricante durante la combustión y paso de gases,
9. Generación de hollín en exceso y
10. Falla de dispersante en los motores de combustión a diésel.



Conociendo la máquina, su contexto operacional y los modos de falla posibles, podremos seleccionar la prueba de viscosidad a 40°C o a 100°C (o en ambas temperaturas) para identificar modos de falla muy específicos. Cuando incremente o disminuya la viscosidad, sabremos cuales son las causas posibles y mediante otras pruebas de confirmación del análisis de lubricante, otras técnicas o inspecciones, se podrán establecer las acciones de control del problema.

Ya en operación, el programa de análisis de lubricante requiere de un especialista certificado ISO 18436-4 Nivel III que pueda correlacionar los resultados del informe del laboratorio o de los instrumentos de campo o en línea para diagnosticar el modo de falla. Cada modo de falla tendrá una combinación de elementos únicos que lo confirman. Así como una persona que tiene dolor de cabeza, fiebre de hasta 38.5 C, tos seca y dolor de cuerpo tiene los síntomas del virus COVID-19, un aceite que tiene la viscosidad alta (V40), incremento del número ácido (AN), incremento de los valores de oxidación de la molécula del aceite (Ox-FTIR), disminución de aditivos antioxidantes (Zn, P- AES) tiene un problema de degradación por oxidación del lubricante. Cada modo de falla tiene una “huella digital” que permite al especialista diagnosticarlo. También habrá que tener la habilidad de reconocer modos de falla que ocurren de manera simultánea en la máquina.

La parte más discutida y controversial de las técnicas del MBC está en el pronóstico. ¿Cuándo fallará? ¿Hasta cuándo puedo continuar operando? No hay bola mágica. Todo debe hacerse con la información y para ello nos basamos en la tendencia de los resultados anteriores. Vemos al pasado para saber por qué estamos en el presente y con base en esa información y el conocimiento de la máquina, su funcionamiento y su contexto operacional específico podemos pronosticar un escenario futuro. Nosotros trabajamos con seis escenarios de tendencia y con base en ellos hacemos nuestro pronóstico. Un resultado normal puede tener un comportamiento estable, con variación moderada o con variación rápida. Lo mismo puede pasar con un resultado anormal (estable, con variación moderada o variación rápida). Cada uno de esos escenarios estará conectado a un estado de acción para el lubricante y la máquina. Con esta información decidimos si se cambia el lubricante, se rellena, se acondiciona o filtra o se deshidrata y si es que la máquina requiere acciones de mantenimiento programables con posibilidad de demorarlas, sin posibilidad de demorarlas y de urgencia.

**En tiempos de contingencia y en tiempos normales esta estrategia tiene mucho que aportar. El análisis de lubricante puede detectar varios modos de falla que otras técnicas nunca verán y además es una herramienta de confirmación, complemento o precisión en identificar las acciones de mantenimiento esenciales. Si ya tiene un programa, después de leer este artículo, seguramente querrá revisar la manera en que está diseñado, cómo se toman sus muestras, quién las analiza y quién es el que las interpreta y toma las decisiones. Puedo garantizarle que un programa de análisis de lubricante Proactivo (dirigido a la causa de falla) produce confiabilidad y complementa la parte predictiva de la técnica.**



# ANÁLISIS DE ACEITE Y GRASA CON INTERPRETACIÓN

por un experto certificado ISO 18436-4 Nivel III de Noria  
**\*DISPONIBLE EN TODA LATINOAMÉRICA**

## ¡EL MONITOREO DE TUS EQUIPOS A DISTANCIA!

Nosotros te ayudamos a realizar una correcta toma de muestra para el análisis de aceite o grasa.

- 1- **TOMA DE MUESTRA** (Ofrecemos asesoría a distancia para realizarla de forma efectiva)
- 2- **ENVÍO DE MUESTRA CORRECTAMENTE ETIQUETADA** (Proporcionamos formato de etiqueta)
- 3- **ANALIZAMOS, INTERPRETAMOS, DIAGNÓSTICAMOS Y PRONOSTICAMOS.**
- 4- **TOMA DE DECISIONES Y EJECUCIÓN DE ACCIONES**

### ELIGE ENTRE NUESTRAS 2 MÓDALIDADES

#### ▶ ANÁLISIS DE ACEITE Y GRASA CON INTERPRETACIÓN

- **Selección** de pruebas asociadas a modos de falla para cada tipo de máquina.
- **Métodos** ASTM, ISO y propios.
- **Software LOAMS®** para la gestión de la información.
- **Interpretación** por especialistas certificados MLA III de acuerdo con ISO 18436-4.
- **Diagnóstico**, pronóstico y toma de decisiones para la salud y contaminación de lubricante y el desgaste de la maquinaria
- **Interpretación enfocada** en el tipo de industria, máquina y su criticidad.



Diseño de pruebas asociado a los modos de falla críticos



Análisis de aceite o grasa en laboratorios especializados.



Diagnóstico y pronóstico basado en correlaciones y experiencia.

#### ▶ INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE ACEITE O GRASA

- **Interpretación** por especialistas certificados MLA III de acuerdo con ISO 18436-4.
- **Diagnóstico**, pronóstico y toma de decisiones para la salud y contaminación de lubricante y el desgaste de la maquinaria.
- **Interpretación enfocada** en el tipo de industria, máquina y su criticidad.



Diagnóstico y pronóstico basado en correlaciones y experiencia.

Te apoyamos con materiales didácticos para la correcta toma de muestra



VIDEO DE ENTRENAMIENTO MEJORES PRÁCTICAS TOMA DE MUESTRA



LIBRO MUESTREO DE LUBRICANTES





# ISO / TS 55010: 2019

Gestión de activos: orientación sobre la alineación de la gestión de activos, las finanzas y la contabilidad

**Avance.** Luego de cuatro años y múltiples reuniones entre expertos ya está aprobada y en uso para la comunidad de gestión de activos.

Carlos José Villegas Álvarez  
carlos.villegas@predictiva21.com

## ¿De que trata la norma ISO 55010?

La norma ISO 55010 es una especificación técnica perteneciente al conjunto de normas ISO 55000, las cuales han sido creadas por el comité técnico internacional de expertos intersectoriales TC251. Estas normas definen las buenas prácticas en la gestión de activos y requisitos para un sistema de gestión. Las normas se aplican a todo tipo de activos y a todas las organizaciones.

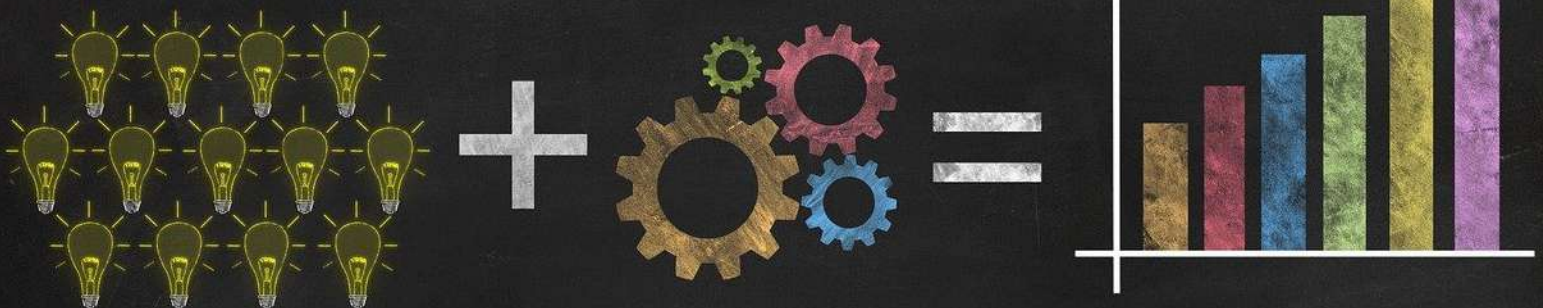
La ISO 55010 fue elaborada con el propósito de brindar una guía a las organizaciones para el logro de la alineación entre las funciones financieras y no financieras de la gestión de activos. La alineación de estas funciones permitirá la realización del valor derivado de la implementación de la gestión de activos detallada en ISO 55000, ISO 55001 e ISO 55002. Como guía, puede que no proporcione todas las respuestas que se buscan para resolver cualquier problema de alineación que se presente en la organización, pero indudablemente puede ayudar en el itinerario.

Esta especificación (ISO 55010) fue desarrollada en respuesta a la demanda de la comunidad global propietaria de activos. El comité TC251 reunió a expertos de todo el

mundo y se vinculó con expertos financieros en muchos países y de organizaciones como IFA, IMA e IASB. A lo largo de 4 años, y a través de múltiples rondas de creación de consenso que involucraron a varios cientos de expertos en todo el mundo, la especificación ISO 55010 ahora está aprobada para su publicación y uso por la comunidad de gestión de activos.

### ¿Cómo ayuda ISO 55010 a la alineación entre las funciones financieras y no financieras?

- Crea mediciones más eficientes de los activos y el desempeño organizacional, demostrando mejor el logro de los objetivos organizacionales.
- Mejora el trabajo en equipo y la aceptación interdepartamental, y la búsqueda de objetivos corporativos, en lugar de objetivos departamentales.
- Identifica los KPI no financieros mutuamente beneficiosos (indicadores clave de rendimiento) que logran un mejor valor de los activos en lugar de centrarse solo en los KPI financieros.
- Adopta un enfoque asociado para la gestión de activos con una planificación financiera y operativa colaborativa para un entendimiento común sobre el impacto mutuo de la gestión del rendimiento y los resultados financieros.





## Beneficios que aporta la norma ISO 55010

### Compartición del conocimiento para una mejor toma de decisiones.

La ISO 55010 describe prácticas que permiten un buen intercambio entre departamentos de manera "horizontal". Esto tiene un impacto directo en la disponibilidad de información de activos en toda la organización al ayudar a alinear varios registros de activos donde existen.

### Maximización el valor para la organización y las partes interesadas.

La ISO 55010 brinda orientación sobre cómo alinear las

funciones financieras y no financieras para equilibrar mejor el desempeño, el costo y el riesgo. También describe cómo las funciones financieras y no financieras en una organización pueden trabajar más estrechamente en cada paso de los procesos asociados con: planificación, contabilidad, análisis, evaluación e informe de sus actividades.

### Mejor logro de la sostenibilidad organizacional.

Una mejor alineación entre estas áreas funcionales promovida por la ISO 55010 proporcionará información y datos más precisos y completos.

## EXPERTOS DEL TC251 PRESENTAN LA NORMA



**Imagen 1.** Presentación de la norma 55010 dada por expertos del TC251.

Fuente: <https://committee.iso.org/sites/tc251/social-links/resources/espanol.html> y <https://committee.iso.org/home/tc251>



Haciendo click a los siguientes enlaces puede visualizar las explicaciones de la norma 55010 dadas por algunos expertos del TC251:

Ricardo Pauro (Argentina): <https://youtu.be/W9oZg8KMrV8>

Peter Way (Australia), Rhys Davies (Chair TC251) y Ilham Hikmi (Switzerland): <https://www.youtube.com/playlist?list=PLntncqOjpHKHxCVq7sX-M2Xo5rJsulut4>

*Nota: Para añadir subtítulos en español a los videos con audio en inglés puede utilizar la herramienta de Configuración, haciendo click en el símbolo del engranaje dentro del recuadro del video: La secuencia de opciones a seleccionar es la siguiente: Configuración, Subtítulos, Inglés (generados automáticamente), Configuración, Subtítulos, Traducir automáticamente, Español.*

## ¿Cuántos estándares tiene la norma ISO 55000?

Además de la ISO 55010, la norma ISO 55000 se compone de los estándares: ISO 55000, ISO 55001 e ISO 55002. Son una serie de normas surgidas de la necesidad de toda empresa cuyo éxito a largo plazo es altamente dependiente del cuidado y mantenimiento de los activos que operan.

La ISO 55000 proporciona una visión general, principios y terminología empleados en la gestión de activos.

La ISO 55001 define los requisitos para el sistema de gestión de activos pueda diseñarse, establecerse, implementarse, mantenerse y mejorarse.

La ISO 55002 es una orientación para la aplicación del sistema de gestión de activos de acuerdo a ISO 55001.

## ¿En qué nuevo estándar de la norma ISO 55000 está trabajando el TC251 actualmente?

El comité técnico gestiona varios grupos de trabajo, uno de ellos es el WG7, cuyo convocante es el Sr. Marc Laplante, de Estados Unidos. Este grupo está desarrollando la nueva norma ISO 55011, conocida como "Guidance on the development of government asset management policy", se podría traducir como "Orientación sobre el desarrollo de la política de gestión de activos de gobierno".

Esta norma internacional proporcionará orientación para la política de gestión de activos para el gobierno, incluidas las siguientes funciones y características:

- Orientación sobre los requisitos de política de la norma ISO 55001.
- Orientación específica para la formación de la política de gestión de activos de gobierno.
- Aplicable a todo tipo de sistemas gubernamentales.
- Se puede aplicar en cualquiera o en todos los niveles de gobierno.
- Puede ser aplicable a otros tipos de organizaciones.

Los gobiernos han experimentado dificultades para cumplir con sus obligaciones de invertir en activos y administrarlos con la debida y adecuada atención. El fortalecimiento de las políticas de gestión de activos y su aplicación podrían ayudar a rectificar la situación en la que se encuentra actualmente la infraestructura pública. Además, ayudaría a los funcionarios y profesionales de finanzas al brindarles la protección y la autoridad necesarias para tomar y hacer cumplir las decisiones financieras relacionadas con la gestión de activos.

## ¿Quiénes están trabajando y colaborando para el desarrollo de las normas ISO 55000?

El TC251 o Comité Técnico ISO para Sistemas de Gestión de Activos es el responsable del desarrollo de la familia de estándares ISO 55000. El comité se creó en el año 2010, su secretaría la representa el British Standards Institution (BSI) ubicada en Londres, Reino Unido, y tiene como principales representantes a los siguientes expertos:

- Gerente del Comité: Sr. Charles Corrie
- Presidente (hasta finales de 2020): Sr. Rhys Davies
- Gerente de Programa Técnico ISO [TPM]: Sr. Andrew Dryden
- Gerente del Programa Editorial ISO [EPM]: Sra. Nicola Perou

El TC251 actualmente incluye miembros de 35 países participantes, más 17 países observadores (Ver Imagen 3).

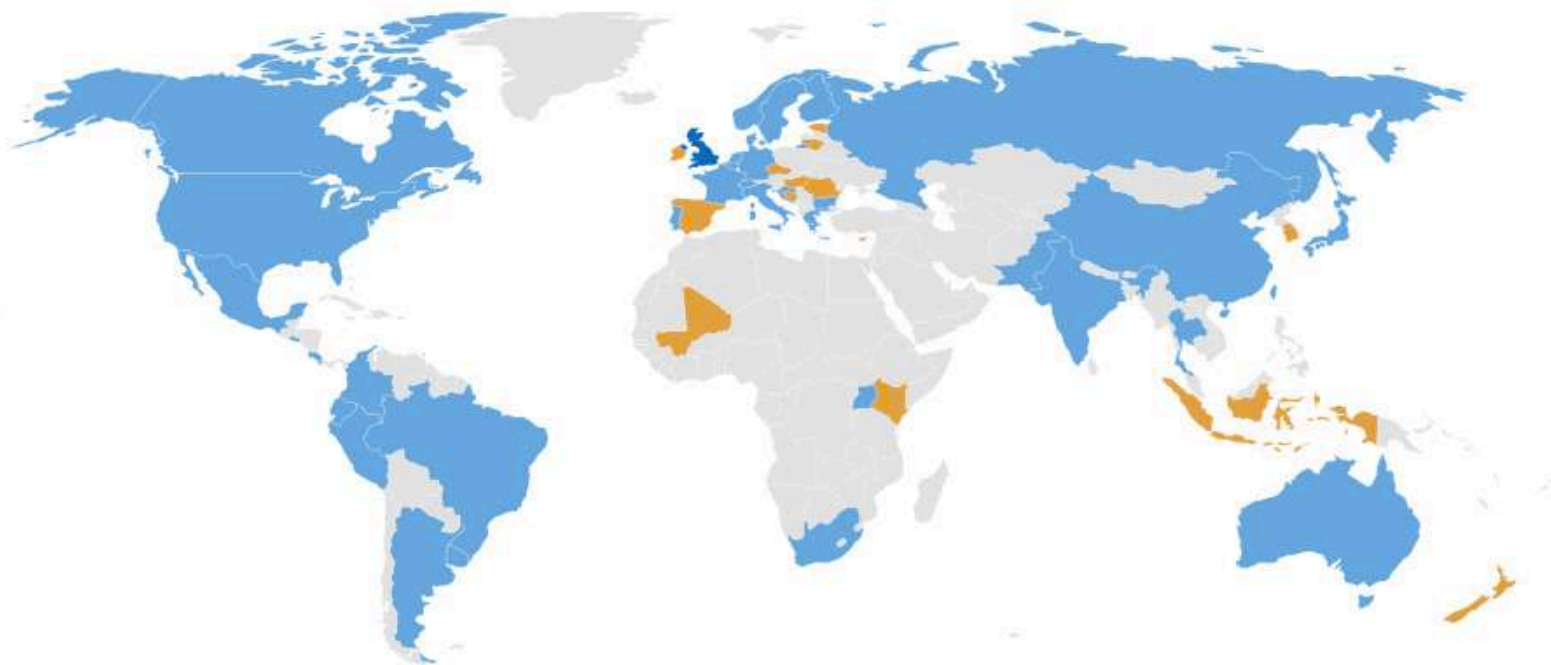
## Misión del TC251

- Promover los beneficios de la gestión de activos externa e internamente.
- Recibir realimentación y fomentar la disciplina de la gestión de activos.
- Alinear y desarrollar nuevos productos para mejorar y ampliar la comprensión de la gestión de activos.



Imagen 2. Expertos del comité TC251. Fuente: <https://committee.iso.org/home/tc251>





**Imagen 3.** Países con miembros participantes del TC251.  
Fuente: <https://www.iso.org/committee/604321.html?view=participation>

## ● Secretaría

United Kingdom - British Standards Institution (BSI)

## ● Miembros Participantes (35)

Argentina (IRAM)  
Australia (SA)  
Belgium (NBN)  
Brazil (ABNT)  
Bulgaria (BDS)  
Canada (SCC)  
China (SAC)  
Colombia (ICONTEC)  
Costa Rica (INTECO)  
Croatia (HZN)  
Denmark (DS)  
Ecuador (INEN)  
El Salvador (OSN)  
Finland (SFS)

France (AFNOR)  
Germany (DIN)  
Greece (NQIS ELOT)  
India (BIS)  
Italy (UNI)  
Japan (JISC)  
Mexico (DGN)  
Netherlands (NEN)  
Norway (SN)  
Pakistan (PSQCA)  
Perú (INACAL)  
Portugal (IPQ)  
Russian Federation (GOST R)  
South Africa (SABS)  
Sweden (SIS)  
Switzerland (SNV)  
Thailand (TISI)  
Uganda (UNBS)  
United Kingdom (BSI)  
United States (ANSI)  
Uruguay (UNIT)

## ● Miembros Observadores (17)

Bosnia and Herzegovina (ISBIH)  
Cyprus (CYS)  
Czech Republic (UNMZ)  
Estonia (EVS)  
Hong Kong (ITCHKSAR)  
Hungary (MSZT)  
Indonesia (BSN)  
Ireland (NSAI)  
Kenya (KEBS)  
Korea, Republic of (KATS)  
Lithuania (LST)  
Macao (CPTTM)  
Mali (AMANORM)  
New Zealand (NZSO)  
Romania (ASRO)  
Singapore (SSC)  
Spain (UNE)



**Nota:** Para obtener información más detallada sobre cada miembro del TC251 puede acceder al siguiente enlace:  
<https://www.iso.org/committee/604321.html?view=participation>

## Referencias

<https://committee.iso.org/home/tc251>

<https://committee.iso.org/sites/tc251/home/projects.html>

<https://committee.iso.org/sites/tc251/home/projects/published/isots-55010.html>

<https://committee.iso.org/sites/tc251/home/projects/ongoing/iso-55011.html>

<https://committee.iso.org/sites/tc251/social-links/resources/espanol.html>

<https://www.iso.org/committee/604321.html>

<https://www.iso.org/committee/604321.html?view=participation>



# fractal

## Gestión de Mantenimiento 4.0 para un Mundo Conectado



Pide tu demo gratis en [www.fractal.com/predictiva21](http://www.fractal.com/predictiva21)

Nuestros clientes nos reconocen:



# Eventos 2020 de mantenimiento

22-25 de Junio 2020  
**CONGRESO DE MANTENIMIENTO  
& CONFIABILIDAD, CMC  
CHILE 2020 (3ª EDICIÓN)**

Lugar: Hotel Plaza El Bosque -  
Nueva Las Condes - Santiago de Chile.

[Haz click aquí para ver más](#)

03-06 de Agosto 2020  
**THE RELIABILITY CONFERENCE**

Lugar: Walt Disney World Swan and  
Dolphin 1500 Epcot Resorts Blvd Lake  
Buena Vista, Florida 32830.

[Haz click para ver más](#)

04-06 Agosto 2020  
**MAXIMOWORLD 2020**

Lugar: Lake Buena Vista, Florida.

[Haz click aquí para ver más](#)

19, 20 y 21 de Agosto de 2020  
**XXII CONGRESO INTERNACIONAL  
DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN  
DE ACTIVOS, CIMGA 2020**

Lugar: Ágora Bogotá, Centro de  
Convenciones

[Haz click para ver más](#)

07-10 de Septiembre 2020  
**CONGRESO DE MANTENIMIENTO  
& CONFIABILIDAD, CMC MÉXICO  
2020 (15ª EDICIÓN)**

Lugar: Hotel Crowne Plaza & Pabellón  
M - Monterrey, N.L., México.

[Haz click para ver más](#)

Noviembre 2020  
**CONGRESO DE MANTENIMIENTO  
& CONFIABILIDAD, CMC PERÚ  
2020 (2ª EDICIÓN)**

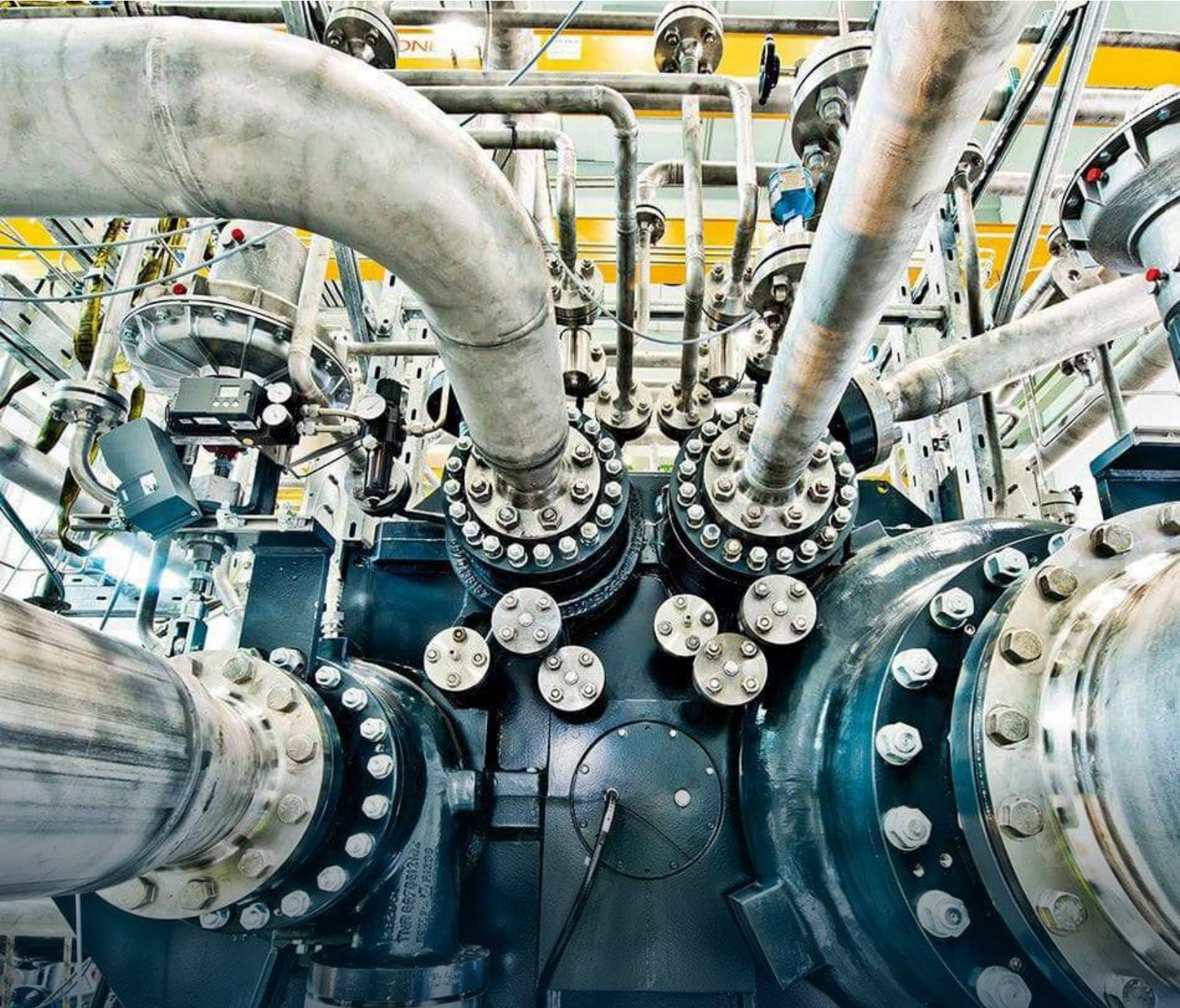
Lugar: Hotel Swissotel, Lima, Perú.

[Haz click aquí para ver más](#)

07-10 de Diciembre 2020  
**THE 35TH INTERNATIONAL  
MAINTENANCE CONFERENCE  
(IMC-2020)**

Lugar: Marco Island, Florida.

[Haz click aquí para ver más](#)



# Análisis probabilístico de MTBF en Turbocompresores Centrífugos

**Confabilidad.** Un ejemplo del comportamiento de diferentes tipos de turbocompresores que permite apoyar estrategias de mantenimiento.

Arquímedes Ferrera

Venezuela

Socio fundador de E&M Solutions Group,  
y Gerente General de E&M Solutions, en México

**Empresa:** E&M Solutions Group

arquimedes.ferrera@eymsolutions.com

## Introducción

Cada empresa u organización define la confiabilidad de sus equipos de alguna manera y en muchos casos tienen métricas (KPI's) esperadas o deseadas para reportar sus expectativas de confiabilidad. En la industria de Oil & Gas se puede tener un "estándar" para definir la confiabilidad. Uno de los más comunes es MTBF.

El MTBF o Tiempo Promedio entre Fallas, permite conocer el tiempo promedio que estuvo operando un equipo antes de una falla. Este indicador sirve como apoyo en la definición de las estrategias de mantenimiento.

El objetivo de este indicador es definir en tiempo promedio el momento adecuado para establecer acciones y estrategias para disminuir la recurrencia de las fallas e incrementar las horas de operación.

De manera análoga, un avión que viaja a 900 km/h, recorrerá un trayecto aproximado de 900 km cada hora. Así, un equipo, o grupo de equipos, que presenta un MTBF de 744 horas, fallará (en promedio) cada 744 horas de operación, lo que nos permite estimar la frecuencia de falla e implementar estrategias para prevenir la ocurrencia de la misma o disminuir sus impactos o consecuencias.

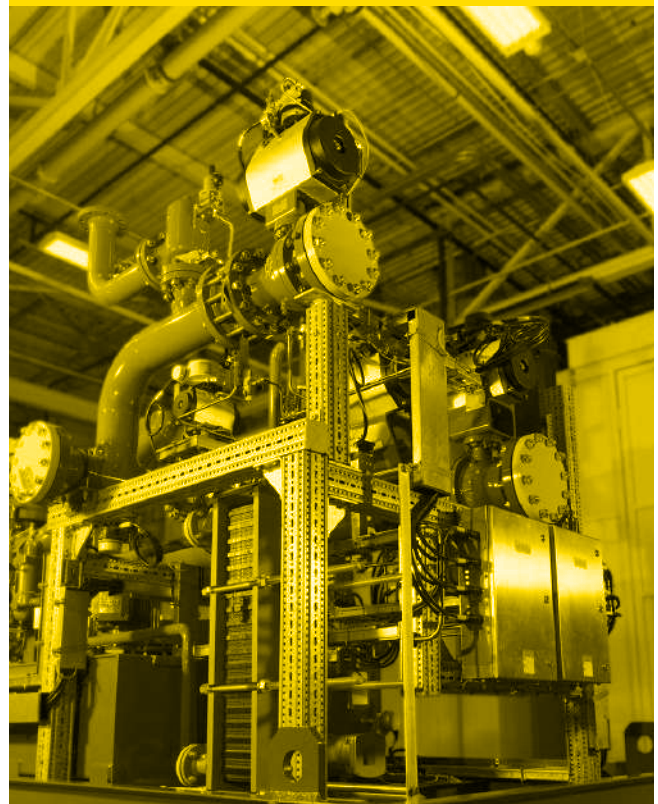
El objetivo de este artículo no es polemizar sobre cómo debe calcularse el MTBF, sino presentar un estudio probabilístico realizado a los MTBF de un total de 90 turbocompresores durante un año, con el fin de mostrar su comportamiento. Para el cálculo de valores realistas de MTBF podemos usar los estándares internacionales como:

- IEC 62380
- MIL-HDBK-217F
- Siemens SN 29500

Los datos del análisis deben considerarse como valores estadísticos reales de un año de operación, estos valores permiten validar las tasas de falla del sistema completo (turbina y compresores centrífugos). El valor MTBF no debe confundirse con la vida útil mínima de un sistema.

El análisis probabilístico de los MTBF de diferentes turbocompresores presentado en este artículo permitió observar el comportamiento de los mismos y analizar los valores como:

- **Media**
- **Mediana**
- **Modo**
- **Desviación estándar**
- **Varianza**
- **Sesgo**
- **Curtosis**
- **Coefficiente de variación**
- **Error estándar medio.**



www.directindustry.es/prod/atlas-copco-manoc



## 1. Datos Estadísticos

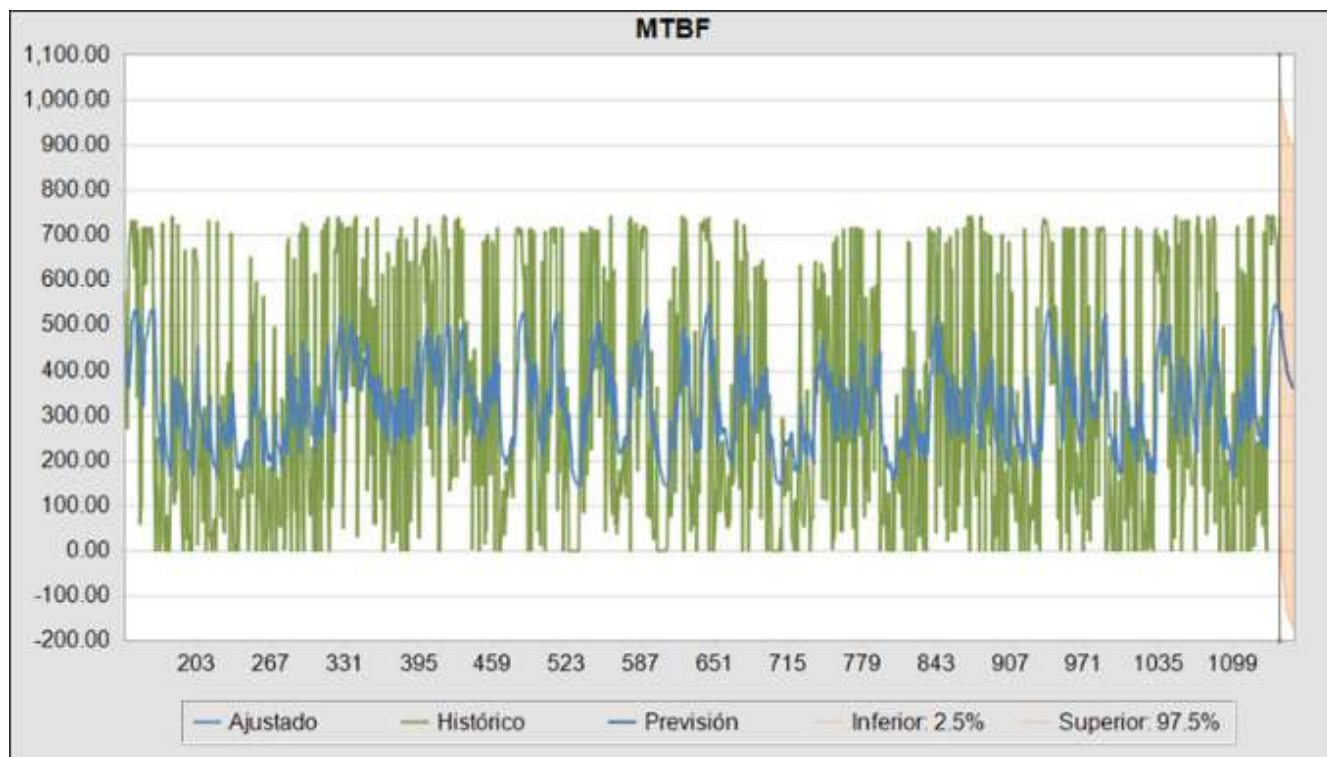
Los datos en los análisis de datos estadísticos utilizados en este análisis son básicamente datos relacionados con horas de operación de 90 unidades turbocompresoras durante un año. Los datos corresponden a los MTBF mensuales de cada unidad durante un año de operación.

En nuestro caso particular, los datos estadísticos de los MTBF, analizamos un total de 1139 valores históricos como se muestra en la gráfica (Figura 1) de frecuencia anexa.

Como se puede observar en la gráfica, los 1139 valores de MTBF de los turbocompresores analizados varían de 0 a 744 horas. En la tabla anexa se reúnen los datos estadísticos seleccionados.

DATOS HISTÓRICOS	
Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	1139
Mínimo	0.00
Media	330.59
Máximo	744.00
Desviación estándar	272.87
Ljung-Box	1,342.63
Estacionalidad	No estacional
Valores filtrados	0

**Tabla 1.** Resumen de los datos estadísticos. *Fuente: El autor.*



**Figura 1.** Valores de frecuencia históricos de MTBF. *Fuente: El autor.*

## 2. Análisis Probabilístico

El análisis probabilístico, a diferencia del determinístico, incorpora elementos de incertidumbre debido a la variabilidad de las entradas del modelo, así como la variabilidad estocástica, por lo que usamos ajustes de distribuciones y el análisis Monte Carlo para evaluar estas incertidumbres.

La técnica de muestreo de Monte Carlo utiliza números aleatorios para muestrear las distribuciones de probabilidad de datos de entrada. Las técnicas de Monte Carlo se aplican comúnmente a una amplia variedad de problemas relacionados con el comportamiento aleatorio.

El análisis de los datos estadísticos de MTBF lo realizamos con la herramienta de Crystal Ball®. Ello nos permitió a través de una técnica denominada simulación Monte Carlo, pronosticar todos los resultados posibles para una situación determinada. Así mismo, se muestran los niveles de confianza, de manera tal que podrá conocer la probabilidad de que cualquier evento específico tenga lugar.

Una vez realizadas las simulaciones con la herramienta indicada obtuvimos los siguientes resultados:

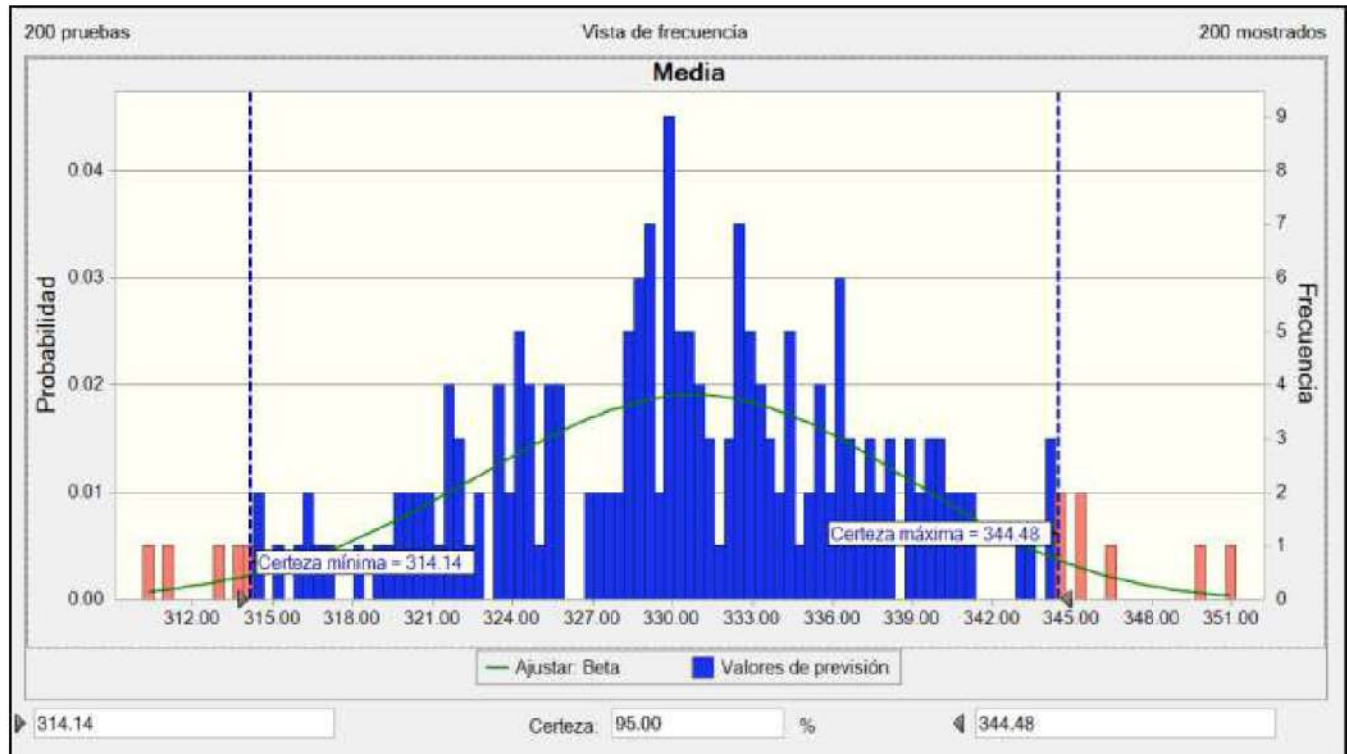
## 2.1. Modelo seleccionado

Durante la simulación se pudo observar un histograma de los resultados, referido al cuadro de probabilidades desarrolladas durante el proceso de simulación, dichos pronósticos se estabilizaron en una distribución "BETA".

**Tabla 2.** Cuadro de probabilidades durante el proceso de simulación. *Fuente: El autor.*

<b>Serie de datos:</b>	<b>1</b>
<b>Distribución:</b>	<b>315.83</b>
<b>Mejor ajuste:</b>	<b>Beta</b>
<b>Anderson-Darling:</b>	<b>24.5985</b>
<b>Valor P:</b>	<b>---</b>

Como se observa en la gráfica del análisis de los datos, la línea verde corresponde al ajuste a una distribución Beta.



**Figura 2.** Ajuste de los datos. *Fuente: El autor.*

## 2.2. Análisis del modelo probabilístico

El modelo probabilístico de los MTBF de los turbocompresores, se observa en el siguiente histograma de frecuencias.

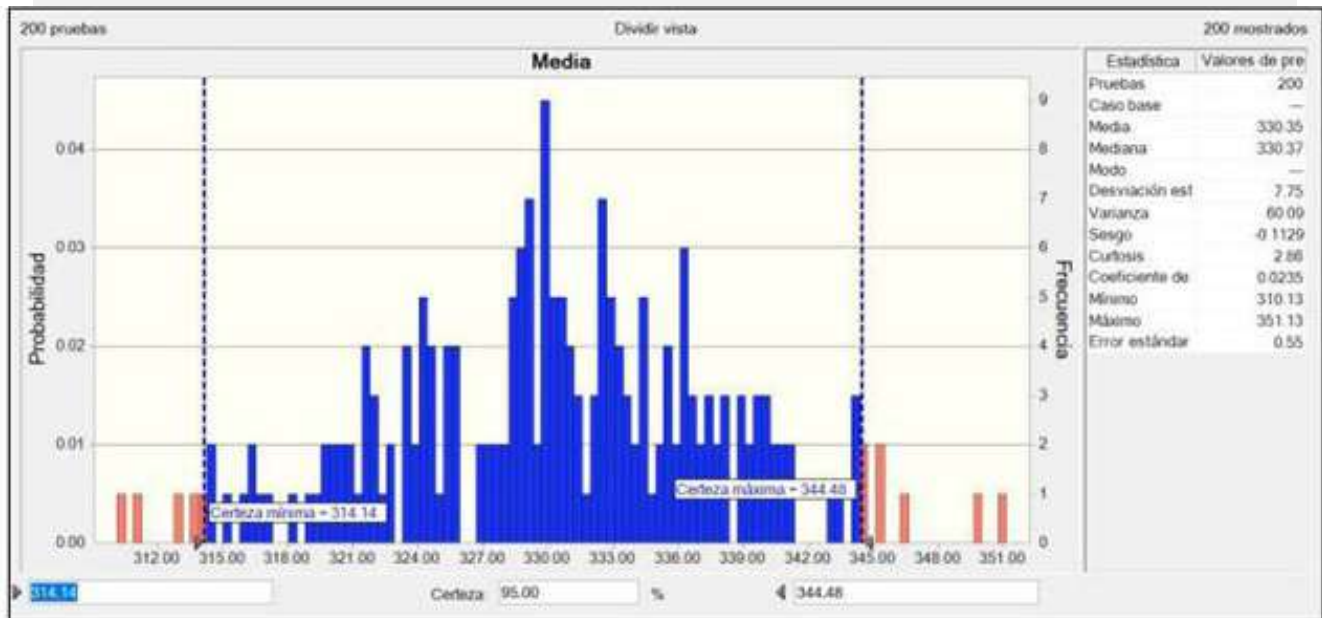


Figura 3. Histograma de frecuencia. Fuente: El autor.

Los resultados de la simulación indican que con un 95% de certezas, la media de los datos se encuentra entre 314.4 horas y 344.48 horas. En la gráfica siguiente se muestra la frecuencia acumulada de los datos analizados.

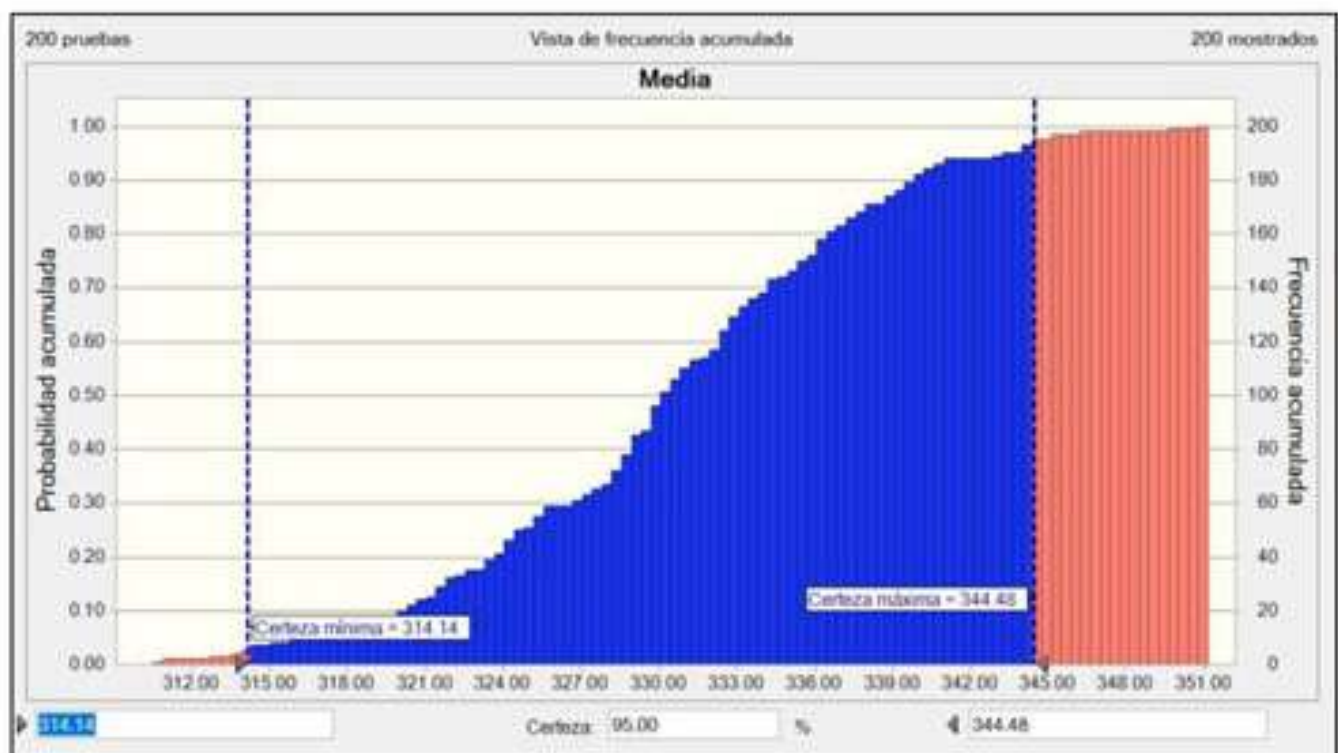
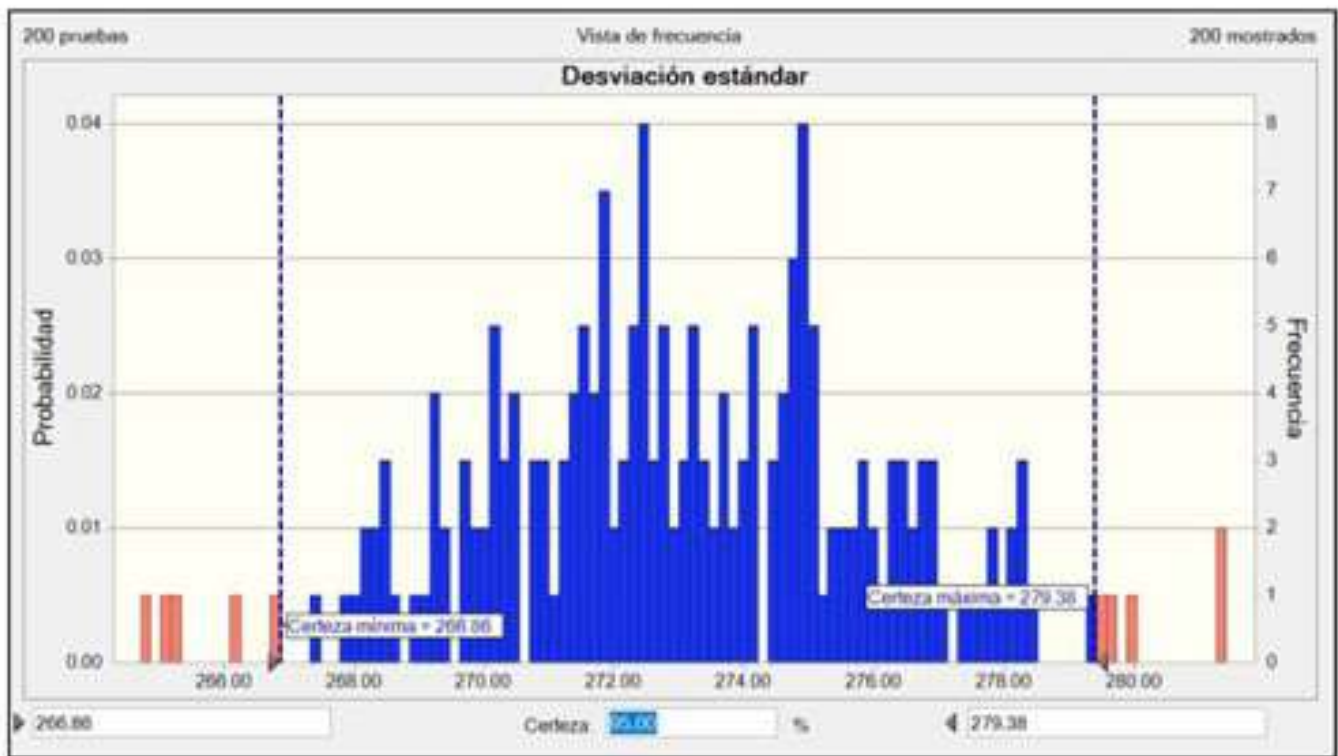


Figura 4. Frecuencia acumulada. Fuente: El autor.



Otro dato obtenido durante el análisis es la desviación estándar que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Como podemos observar en la siguiente gráfica, la desviación estándar de los datos de MTBF en nuestro caso particular es bastante alta.



**Figura 5.** Desviación estándar. Fuente: El autor.

La desviación estándar de los MTBF está entre 266.65 horas a aproximadamente 279.38 horas. Lo que indica que, en promedio, el tiempo el MTBF se desvía de la media (línea discontinua) aproximadamente 272 horas.

## Conclusiones

Del resultado de las simulaciones realizadas con el Crystal Ball® podemos sacar las siguientes conclusiones:


Media	330.35	Sesgo	0.31
Mediana	245.28	Curtosis	1.52
Modo	0	Coefficiente de variación	0.83
Desviación estándar	273.09	Error estándar medio	8.09
Varianza	74,586.27		

**Tabla 3.** Conclusiones. Fuente: El autor.

### Datos del autor

Arquimedes Ferrera Martínez  
Venezuela  
Socio fundador de E&M Solutions Group,  
y Gerente General de E&M Solutions, en México  
Empresa: E&M Solutions Group  
arquimedes.ferrera@eymsolutions.com

Con amplios conocimientos en Gerencia de Mantenimiento e Ingeniería de Confiabilidad y Mantenibilidad, así como en la Gestión de Activos Físicos en todos sus Ciclos de Vida y diseño de políticas y estrategias, basado en las mejores prácticas de mantenimiento clase mundial.



# ANÚNCIATE AQUÍ

Tenemos un espacio para ti

Contáctanos: [contacto@predictiva21.com](mailto:contacto@predictiva21.com)

**PREDICTIVA**21

# ¿Quién debe planificar los trabajos de mantenimiento?

**Organización.** Una buena planificación y la correcta distribución de las tareas reduce costos y aumenta la disponibilidad de los activos.



José Contreras Márquez

Venezuela

**Instructor de INGEMAN, CONSCIOUS RELIABILITY y ASME para Latinoamérica.**

jocomarquez@yahoo.com

jocomarquez@gmail.com

Como sabemos, planificar el trabajo de mantenimiento implica determinar los recursos e información necesarios, además verificar que se cumplan las condiciones legales, de seguridad, normativas y de coordinación para poder ejecutarlo sin demoras, es decir, en el menor tiempo posible. La correcta planificación reduce los costos directos e indirectos de mantenimiento e incrementa la disponibilidad de los activos.

Lo primero es reconocer la existencia de tres tipos generales de trabajos realizados por el departamento de mantenimiento: 1. El trabajo rutinario repetitivo que consiste en las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo (PM/PdM); 2. El trabajo que requiere atención inmediata o trabajo de emergencia y 3. Todo el trabajo pendiente que surge día a día a partir de las inspecciones y por causas imprevistas, que puede ser planificado. De estos tres tipos de trabajo, el número 2 (emergencias) no se puede planificar, por lo menos correctamente, lo único que se puede hacer es planificar sobre la marcha y este no es el tipo de planificación que se necesita. Los otros, el número 1 y el número 3, son trabajos que pueden ser planificados correctamente, pero el número 3, generalmente es el que representa la mayor carga de trabajo y adicionalmente es el que requiere una mayor atención y cuidado para planificarlo, ya que presenta mayor incertidumbre y riesgos durante su ejecución. Por su parte, el mantenimiento PM/PdM es un trabajo rutinario y repetitivo, que es previsto con mucha anticipación y por lo tanto su planificación no representa ninguna complejidad.

Estar organizado principalmente para atender los trabajos que requieren respuesta urgente, obviamente es perjudicial para los otros dos tipos. Los recursos de mantenimiento deben distribuirse de manera que se asegure un desempeño efectivo de los tres tipos de trabajo. Aplazar el mantenimiento que se puede planificar, inevitablemente conduce a más averías y una perpetuación del mantenimiento reactivo que finalmente conduce a muy malos resultados.

Partiendo del hecho de que la mayor carga de trabajo proviene del mantenimiento preventivo no repetitivo o correctivo que puede ser planificado, es de vital

importancia que exista un proceso formal de planificación del mantenimiento. Si esto no ocurre, la gestión se vuelve reactiva, ya que es el técnico quien, después de identificar o ser informado de una avería, evalúa el problema, diseña la estrategia de reparación, obtiene herramientas, materiales y completa la reparación. En esta situación, ¿quién hizo la planificación?, el técnico y esta no es la mejor manera de utilizar las habilidades del técnico, además, un técnico especializado no fue contratado para planificar, sino para ejecutar trabajos propios de su especialidad.

También es muy frecuente que el encargado de la planificación sea el supervisor de los técnicos, pero cuando esto ocurre los trabajos no son controlados efectivamente y esto puede originar muchos problemas, entre otros, de seguridad, calidad e ineficiencia.



**La correcta planificación reduce los costos directos e indirectos de mantenimiento e incrementa la disponibilidad de los activos.**



**Es muy importante comprender y reconocer la importancia de las tres posiciones básicas para la gestión del trabajo en un departamento de mantenimiento: El planificador, el supervisor y el técnico.**

Al observar el papel del supervisor y técnicos de mantenimiento en el proceso de planificación, existe la tendencia de formar equipos autodirigidos para organizar todo el trabajo, esto termina reduciendo la capacidad y calidad de la planificación. Este enfoque se basa en que los miembros del equipo que planifican y programan su trabajo, estarán más motivados para aumentar su productividad y hacerlos más efectivos en la resolución de problemas. A pesar de que habrá mayor motivación y participación de los técnicos, este no es el mejor uso de la inversión de la empresa en personal especializado en técnicas específicas.

Pudiéramos pensar que un simple trabajo de reparación puede ser planificado por un técnico, pero una planificación incorrecta podría no considerar diversas formas de resolver el problema, efectos en el personal o el medio ambiente, impacto sobre otros equipos, etc. Las consecuencias inevitables serán que los técnicos no ejecutarán trabajos mientras planifican sobre la marcha, tenderán a pasar por alto la documentación técnica necesaria, confiarán en la memoria con respecto a las especificaciones y se reducirá la productividad. Otro aspecto a considerar es que la gestión total del trabajo no es la función natural de los técnicos, por lo tanto carecen de la autoridad o posición para dirigir la programación y coordinación con las operaciones o para interactuar con los vendedores y negociar la disponibilidad, el precio y la entrega de las piezas de reparación. Esto conduce a demoras en las reparaciones, esfuerzos desperdiciados, tiempo de viaje

excesivo, duraciones de reparación más largas y altos costos de mantenimiento.

Por su parte, los supervisores tampoco deberían ser los responsables de la planificación y programación del mantenimiento, ya que deben estar preparados para concentrarse en problemas de mantenimiento inmediato, gestionar la ejecución del trabajo programado y proporcionar apoyo directo a su equipo de trabajo. Esas responsabilidades los obliga a estar muy cerca del trabajo que se realiza, liderando los esfuerzos de resolución de problemas y comunicándose directamente con las Operaciones. Entienden las fortalezas de su equipo y establecen expectativas de calidad de trabajo mientras manejan los aspectos administrativos de liderar un equipo de trabajo.

Algo que debe quedar muy claro es que los supervisores y técnicos deben jugar un papel muy importante en el apoyo de los esfuerzos de planificación y programación dentro del mantenimiento. Es muy importante comprender y reconocer la importancia de las tres posiciones básicas para la gestión del trabajo en un departamento de mantenimiento: El planificador, el supervisor y el técnico.

La función del planificador es gestionar todo el proceso de planificación del trabajo, utilizando los talentos y habilidades disponibles del equipo para cumplir con los objetivos de la gestión del trabajo de mantenimiento. El planificador organiza la información en un plan viable con

el objetivo de reducir los retrasos y las esperas durante la ejecución del trabajo. El tiempo del técnico es caro y cualquier retraso en la ejecución del trabajo afecta a la empresa con costos de mantenimiento adicionales y pérdida de capacidad de producción.

Los supervisores deben comunicar a su equipo de trabajo sus estándares de calidad de trabajo, administración del tiempo para realizar tareas y controles de costos asociados con el presupuesto de mantenimiento. Deben incluir al equipo para determinar las necesidades de capacitación asociadas con la realización del mantenimiento de precisión. La relación de apoyo del supervisor con sus planificadores es esencial. Como equipo, deberían estar trabajando para mejorar los métodos de trabajo que mejoren la mantenibilidad. Los supervisores pueden identificar oportunidades para reducir los obstáculos que repetidamente se les presenta a los técnicos que ejecutan los trabajos y comunicarse de manera rutinaria para desarrollar completamente el alcance del trabajo que se planifica.

El técnico puede ayudar a la función de planificación de muchas maneras que terminarán ahorrando dinero. Su experiencia técnica puede ayudar al planificador a planificar fuera de sus habilidades. El técnico puede ayudar al planificador a aclarar el alcance del trabajo, explicando los aspectos técnicos, determinando la metodología apropiada, identificando los repuestos, las herramientas y los equipos que se requieren. La aportación del técnico durante la fase de planificación es más rentable que la planificación técnica sobre la marcha durante la ejecución del trabajo.

“ Todos contribuyen al éxito de la planificación, programación, coordinación y ejecución ”

Hay otras funciones como ingeniería, operaciones, almacenes, compras y vendedores, que influyen en la planificación del trabajo y contribuyen al desarrollo de planes de trabajo, pero los roles claves son los analizados. Cada uno tiene un papel que desempeñar. Todos contribuyen al éxito de la planificación, programación, coordinación y ejecución, que son los elementos claves de la gestión del trabajo.

Para ahorrar dinero, algunas empresas adoptan el enfoque de combinar las responsabilidades del supervisor con el rol de planificador/programador. Esas tareas combinadas dejan muy poco tiempo para atender la planificación de futuros trabajos. El tiempo de los supervisores en el campo se reduce y generalmente terminan planificando el trabajo justo antes de iniciarlo, dejando poco tiempo para considerar mejores métodos, herramientas, equipos y coordinación con otros oficios o equipos de trabajo. Esta falta de atención conduce a un "enfoque de reparación" en lugar de un "enfoque de confiabilidad" para la ejecución del trabajo. Al no enfocarse en cómo evitar que la falla vuelva a ocurrir y reducir el impacto del tiempo de inactividad, prevalece la actitud de hacer que la máquina/proceso vuelva a funcionar.

## Conclusiones

- Los supervisores y técnicos no están posicionados para las actividades asociadas con la planificación, programación y coordinación.
- La mejor manera de gestionar las actividades de mantenimiento es implementar una función dedicada de planificación y programación.
- La planificación del mantenimiento requiere un planificador y un esfuerzo de equipo.
- El planificador planifica, el supervisor gestiona la utilización de su equipo humano para ejecutar el trabajo, y los técnicos ejecutan el trabajo asignado.

### Datos del autor

José Contreras Márquez  
Venezuela  
*Instructor de INGEMAN, CONSCIOUS RELIABILITY y ASME para Latinoamérica.*  
jocomarquez@yahoo.com  
jocomarquez@gmail.com  
<https://ve.linkedin.com/in/josecontrerasmarquez>

Consultor e instructor de temas sobre Gestión del Mantenimiento, especialmente en la búsqueda de maximizar su eficiencia. Con amplia experiencia industrial y académica. Autor de los libros "Sistemas de Medición del Desempeño en Mantenimiento basados en Indicadores de Gestión" y "Gestión y Optimización de Inventarios para Mantenimiento". Desarrollador de software "OPTIM" para determinar parámetros claves de los inventarios para materiales de alta y baja rotación. También creador de las guías de auditoría para la gestión del trabajo, proyectos e inventarios de mantenimiento. Director de [www.mantenimientoeficiente.com](http://www.mantenimientoeficiente.com)

# ANÚNCIATE en nuestra página web

con un solo click 

**PREDICTIVA**21

Contáctanos: [contacto@predictiva21.com](mailto:contacto@predictiva21.com)

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



# Análisis de Fallos

Un reflejo de como el tema es conducido en las empresas brasileñas

Fallas, defectos, criticidad son los términos que son aclarados en este estudio y arroja soluciones en el área de Gestión de Activos.



## Lourival Augusto Tavares

Brasil

Consultor en Ingeniería de Mantenimiento

**Empresa:** Director nacional de ABRAMAN (Asociación Brasileña de Mantenimiento) en dos mandatos.

l.tavares@mandic.com.br

**E**ste trabajo incluye los comentarios de expertos sobre los resultados de la Encuesta Nacional ANÁLISIS DE FALLOS en Mantenimiento Brasileño - Edición 2019.

Por: Albely Lesnau Júnior, Lourival Augusto Tavares y Paulo Roberto Walter.

El sitio [www.indicadoresdegestao.com](http://www.indicadoresdegestao.com), de RBM - Red Brasileña de Mantenimiento, de la familia [www.manutencao.net](http://www.manutencao.net), ha estado realizando investigaciones en el área de Gestión de Activos desde 2009 y, a lo largo de los años, se ha constituido en una portentosa base de datos con la creciente colaboración de profesionales en el campo, lográndose más información y con más calidad, ya que el universo cubierto también se ha expandido.

La encuesta se realiza anualmente. En 2018, obtuvimos la participación efectiva de 214 empresas, y en la edición de 2019, se registró información de 457 empresas abarcando 57 segmentos diferentes.

## ¿Qué son las fallas y qué es el análisis de fallas?

Al buscar en la Web, es fácil encontrar varios trabajos escritos sobre el tema y en muchos de ellos no queda claro el real significado del término, que se define según los estándares nacionales e internacionales (e incluso diccionarios) como:

**Término de la capacidad de un elemento para realizar la función requerida.**

Es decir, el fallo es una condición y significa que el elemento no puede funcionar ya que no puede cumplir la función requerida o especificada.

El concepto de "función requerida" no solo se debe al aspecto funcional, sino que más amplio involucrando seguridad, medio ambiente, preservación del patrimonio y del nombre de la empresa.



En muchos de los artículos investigados, se observa que el concepto de "falla" se mezcla con el "defecto", siendo que este último se refiere a deficiencias en el funcionamiento del elemento (activos físicos) que no impiden su funcionamiento.

Dado que en los trabajos publicados existe esta inconsistencia, se puede suponer que también ocurre internamente en las compañías que consideran que están realizando un "análisis de fallas" y pueden estar analizando, también "análisis de defectos" incorporando sus resultados en las fallas.

Si esto está sucediendo (y probablemente lo está), entonces sería más apropiado llamar a este tema "análisis de ocurrencias" que abarca los conceptos de prevención de mal funcionamiento.

Otro aspecto que llama la atención en la investigación está relacionado con el concepto de "criticidad", originalmente propuesto por los europeos en los años 80 como "clase" y recientemente considerado uno de los más importantes (si no el más importante) para definir estrategias de mantenimiento y gestión de activos físicos y, como resultado, distinguir entre aquellos elementos (activos físicos) en los que vale la pena hacer un análisis de ocurrencias de aquellos que no generan riesgos graves para los factores indicados, los cuales no deberían recibir inversiones financieras y de recursos para analizar sus anomalías.

Los expertos que actúan con el tema son unánimes al afirmar que esto hace sentido si está fundamentada en una base de datos completa, confiable y consolidada.



www.tecnalia.com

Según Taiichi Ohno, a quien se le atribuye el liderazgo en el desarrollo del Sistema de Toyota de Producción (TPS) que integra "Lean Manufacturing", "Just in Time", "Kamban" y "Producción Nivelada", todos los procesos deben estar apoyados en una base de datos con las características enumeradas anteriormente, estando el Análisis de fallas (análisis de ocurrencia) ubicado en la segunda etapa del proceso de gestión evolutiva, conocido como "avanzado" y donde la última etapa es identificada como "clase mundial".

## ¿Un poco de historia del análisis de fallas?

Se considera que ya en la década de 1930 el proceso de análisis de ocurrencias comienza cuando Taiichi Ohno propone la implementación de la técnica de "5 ¿por qué?" (que hoy debemos considerar simplemente como la técnica del "por qué" una vez que la causa raíz del problema se puede encontrar en el tercer "por qué" u otro por debajo o por encima del quinto).

En 1943, el ingeniero químico Kaoru Ishikawa propone otro método de búsqueda de causa raíz que lleva su nombre (Diagrama de Ishikawa), también conocido como el "Diagrama de causa y efecto" o el "Diagrama de espina de pescado" o el "Diagrama de los 6 M", ya que identificó seis causas que comenzaron con la letra "M" que generó el efecto (en ese momento de pérdida de calidad).

En 1971, Seiichi Nakajima desarrolló el TPM, cuando incorporó una nueva metodología de análisis de ocurrencia (búsqueda de causa raíz) que llamó MP ("Maintenance Prevention" - prevención de mantenimiento).

En la misma década, se desarrolla el Método de Análisis y Solución de Problemas (MASP) basado en PDCA ("Plan, Do, Check, Act - planear, hacer, evaluar y actuar) desarrollado por Shewhart y divulgado por Deming; el método FMEA ("Failure Mode and Effects Analysis" - análisis del modo de efectos de falla); el FTA ("Faut Tree Analysis" análisis de árbol de fallas) y, en la década de 1990, las propuestas de Kenichi Ohmae relacionadas con la Gestión Estratégica.

Entre las ocho técnicas más populares, sin duda las más utilizadas (por su simplicidad) son los "por qué" y el Diagrama de Ishikawa, adaptado como un "Tablero de Decisiones" para la facilidad de uso de la hoja de cálculo Excel en su ensamblaje y operación.



Figura 1. Pirámide de etapas. Fuente: El autor.



Figura 2. Diagrama de Ishikawa. Fuente: El autor.

El mercado brasileño de gestión de activos físicos genera miles de millones de dólares cada año, y emplea a más de 12 millones de personas que trabajan directa o indirectamente para mantener sus instalaciones.

La disponibilidad y la confiabilidad operativa son factores importantes para el éxito de cualquier empresa, sin importar las características peculiares de los procesos, la estacionalidad de los insumos etc.

El análisis de fallas tiene una contribución importante para las estrategias y políticas de mantenimiento preventivo y la reducción de las intervenciones

correctivas. Solo es posible hacer el análisis de fallas, con criterios y calidad, quien ya tenga el área de mantenimiento en un alto nivel de madurez. Esto no es cosa de principiantes.

En el contexto de la Industria 4.0, la aplicación sistemática de los programas y herramientas de Análisis de fallas hace una contribución invaluable a la ventaja competitiva que toda empresa sueña.

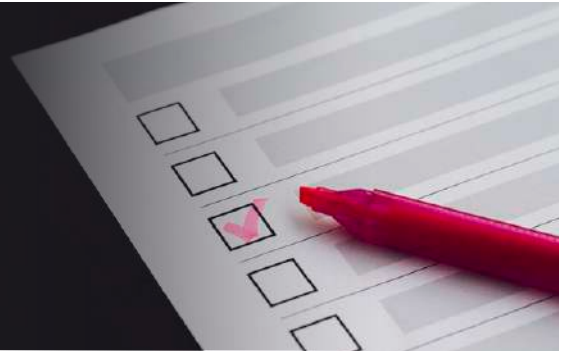
La siguiente nube de palabras es el resultado de las observaciones espontáneas de los participantes de la investigación.



Figura 3. Nube de palabras. Fuente: www.manutencao.net.

# LA ENCUESTA

Indicadores de las mejores prácticas de análisis de fallos de mantenimiento brasileños - Edición 2019



## Pregunta: "¿Cuáles son las cinco razones o factores principales que causan las fallas encontradas en su trabajo de Análisis de Fallas?"

Los resultados que nos brinda la investigación coinciden con aquella publicada por HSB Reliability Technologies

que señala el "error de operación" como el principal factor causa de falla.

Mientras los dos factores relacionados con error de operación aisladamente sean menores que el desgaste natural y error de mantenimiento, se observa que aparecen como una de las principales opciones cuando son consideradas cinco alternativas de falla por empresa.

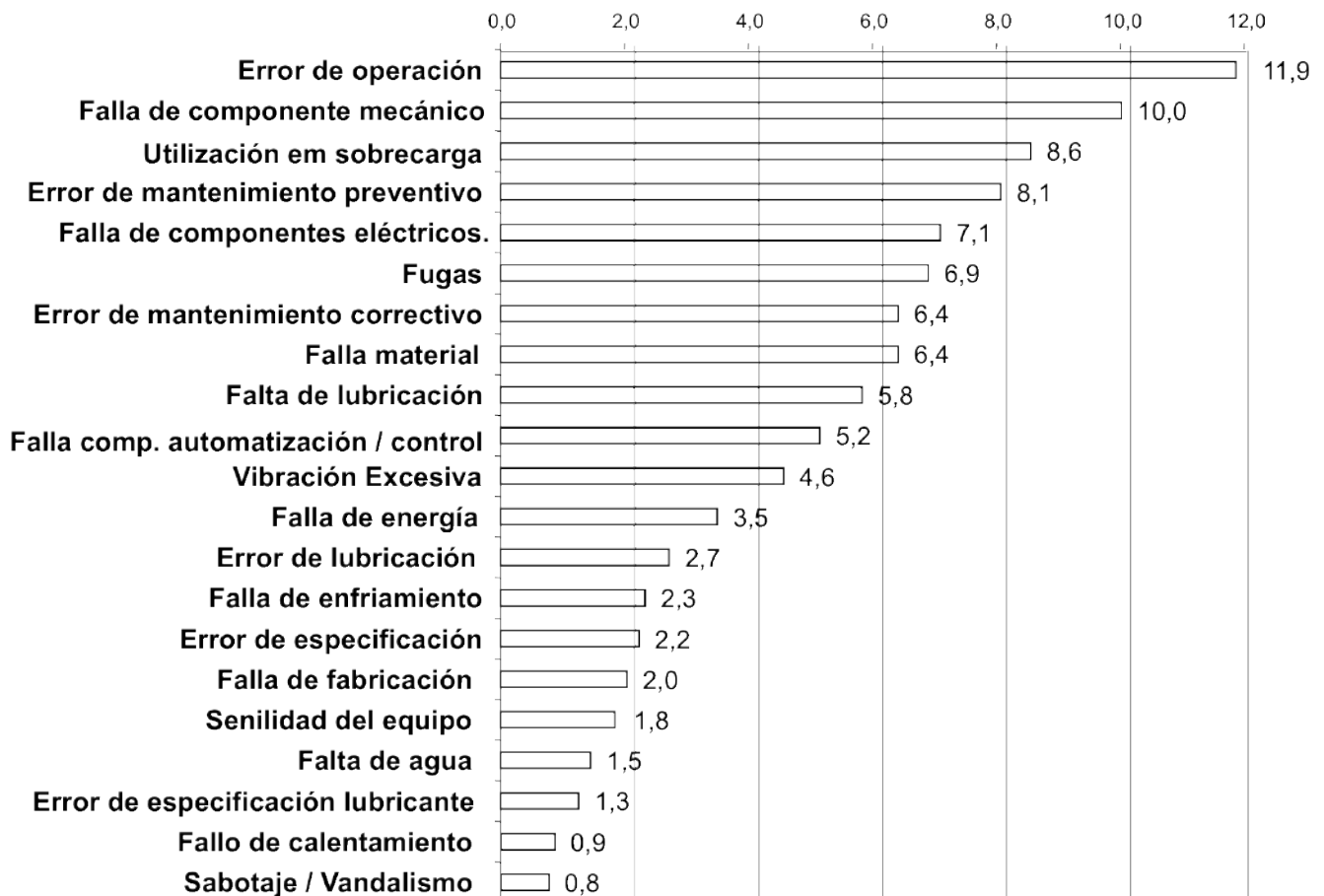


Figura 4. Motivos ocurrencias (21) - Valores relativos. Fuente: El autor.

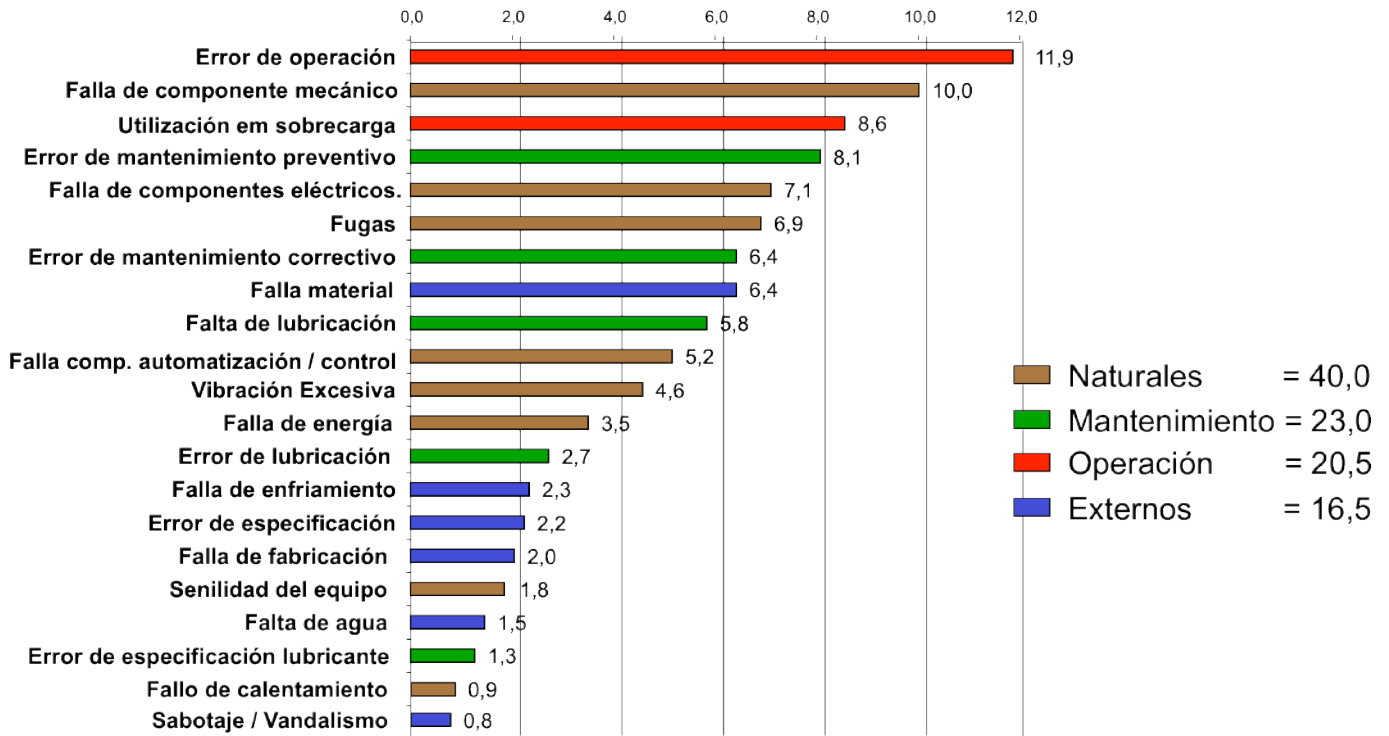


Figura 5. Motivos ocurrencias (21) - valores relativos. Fuente: El autor.

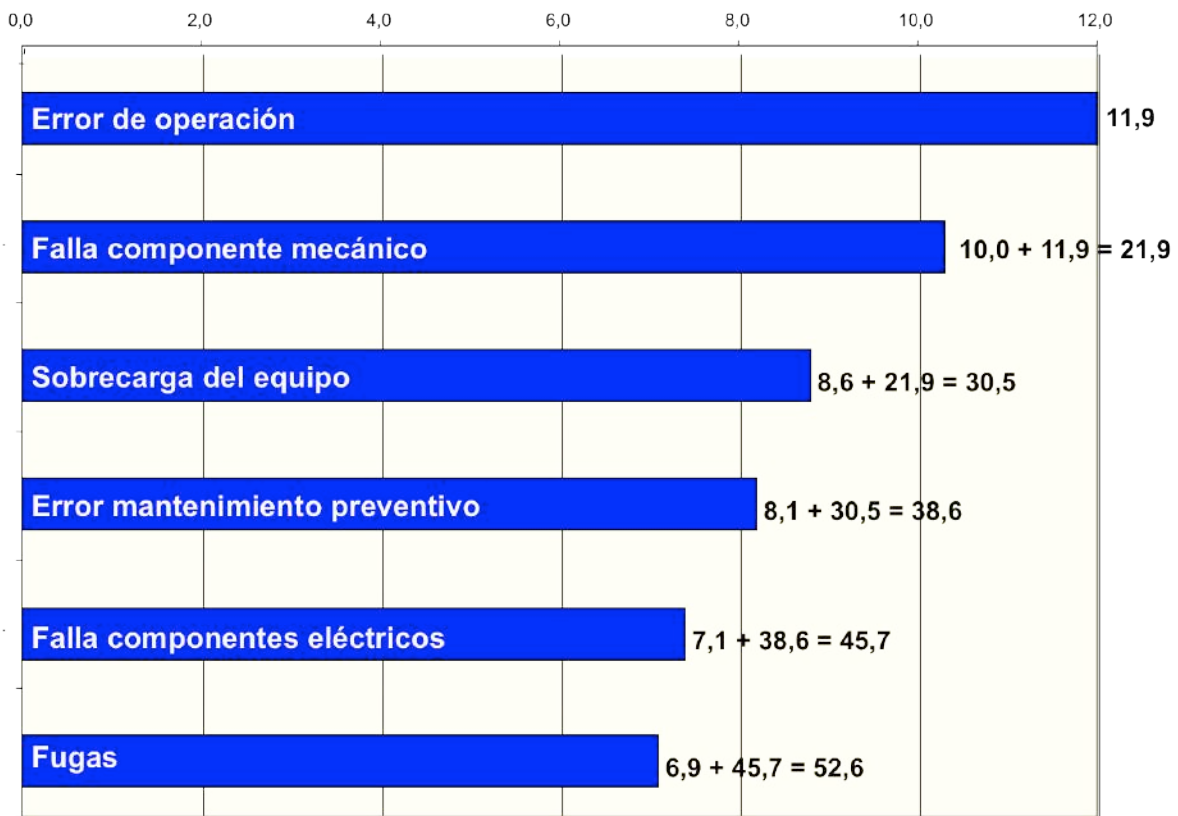


Figura 6. Motivos ocurrencia (6 mayores - de los 21). Fuente: El autor

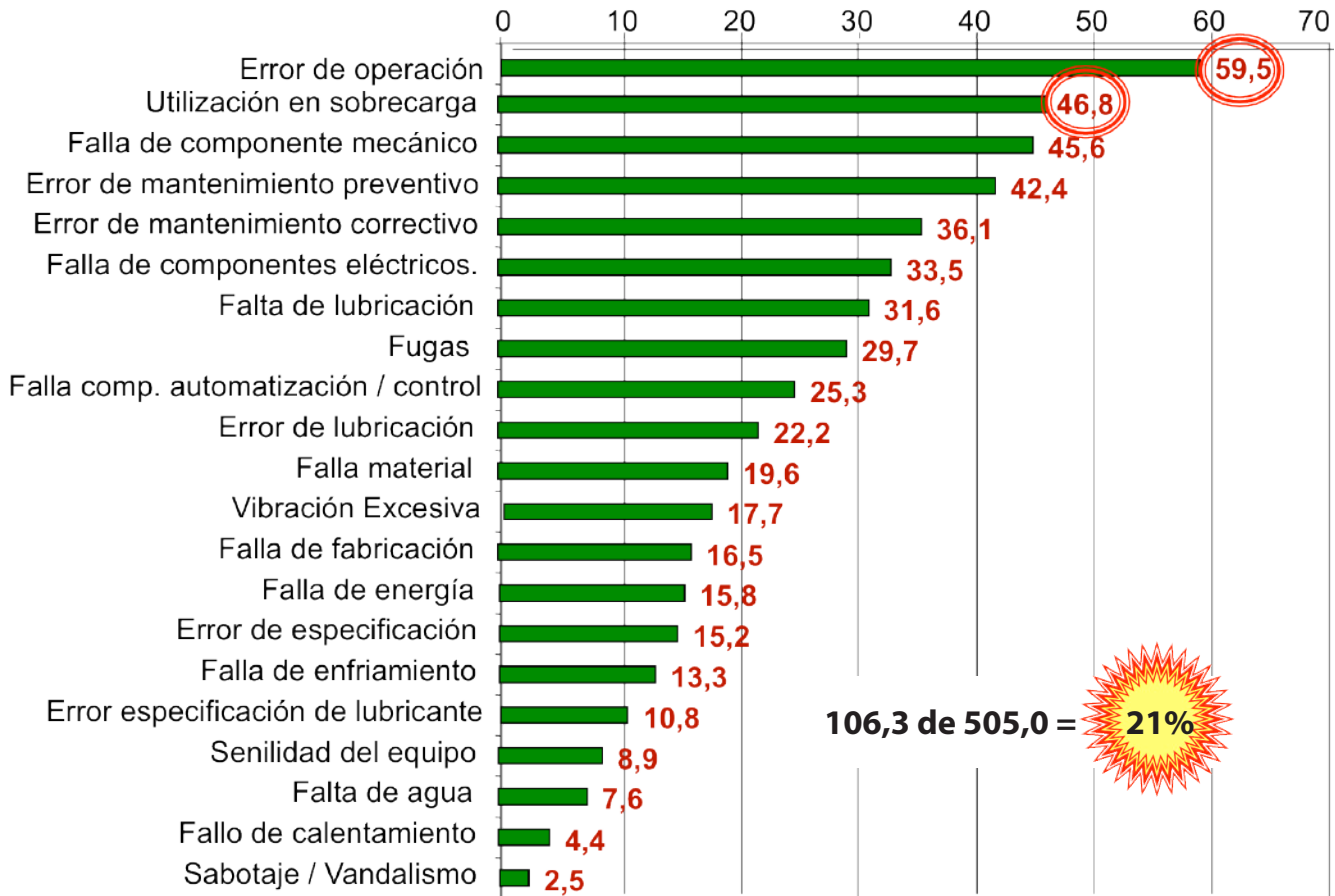


Figura 7. Motivos ocurrencias (21) - Valores para 5 opciones. Fuente: El autor.

### Pregunta: "¿Se practica el Análisis de Fallas en la empresa?"

Vale la pena mencionar en la encuesta que, en promedio nacional, solo el 37.1% de las empresas participantes indicaron que aplican un proceso formal para el Análisis de Fallas (y no solo para equipos críticos).

Pero la encuesta también señala que el 80% de las compañías más grandes con 1.000 o más empleados tienen procedimientos de Análisis de Fallas bien establecidos.

De todos modos, el resultado es muy alentador, lo que indica que más de un tercio de las empresas informan que utilizan este tipo de actividad.

Esperábamos que este resultado ni siquiera alcanzara el 25% de utilización, así como la aplicación de indicadores de gestión de activos que "apuntan" a la necesidad de un análisis de fallas.

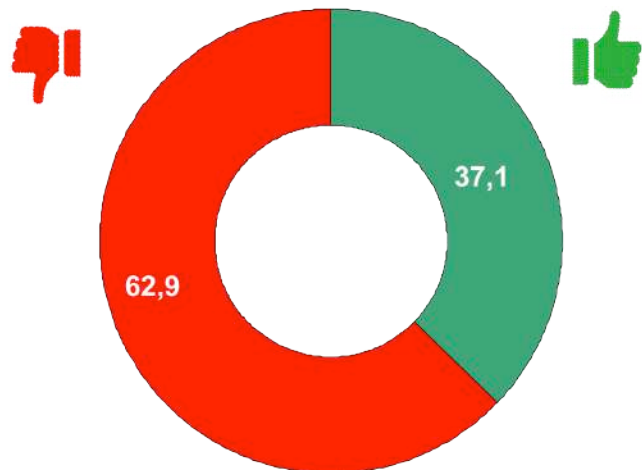


Figura 7. Aplicación de método formal de análisis de falla. Fuente: www.manutencao.net.

Si consideramos que las respuestas están restringidas al análisis de fallas en equipos críticos, se supone que parte de ellas no debería existir, ya que, como se indicó anteriormente, la tecnología disponible en el mercado genera inexistencia de fallas (excepto para error operativo o deficiencias en el diseño de activos).

### Pregunta: "¿Cuáles son los procesos utilizados para hacer el Análisis de Fallas?"

Ya sea por el costo o la sofisticación, para las empresas que hacen el Análisis de Fallas, las Planillas Excel (hojas de cálculo) son las herramientas más utilizadas en el análisis de fallas (70,1%), seguidas de Software Específico (15,5%), Software de Gestión de Mantenimiento - CMMS (12,1%) y el ERP en sí, con solo el 2,3% de los casos.

Se debe considerar que algunos que se utilizan de la Planilla Excel tienen sus datos en el CMMS o ERP.

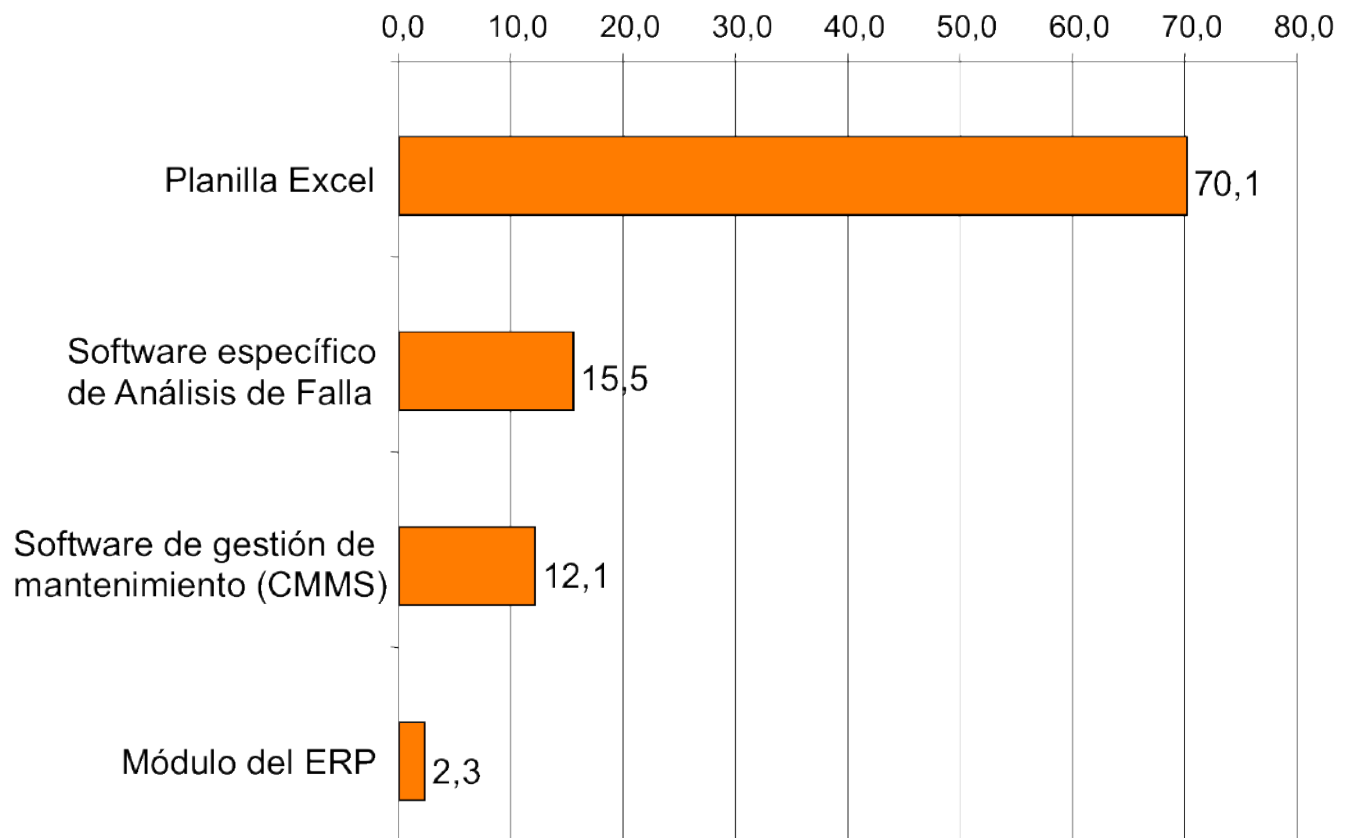


Figura 9. "Herramientas" de análisis (Para empresas que lo hacen). Fuente: El autor.

El bajo valor del "uso de software específico" puede estar justificado por los aspectos de costo de estos softwares.

También consideramos que incluso con el uso de hojas de cálculo, los resultados no se centran en el análisis estadístico de las ocurrencias que indicarían la necesidad de actuar ante fallas crónicas, sino que se basan en hechos ocasionales (fallas aleatorias) que generalmente aparecen con alto valor e impacto en la generación del producto o servicios de la empresa.

Las fallas crónicas (como nos indica el TPM) son de bajo valor y por esto no se les da la importancia adecuada. Pero cuando están juntas se constituyen en valor significativo.

### Criterios para abrir un análisis de fallas

Obviamente, cada empresa tiene su dinámica, su operación, mantenimiento y proceso de administración. Y para cada una de estas características, los recursos, la visión y la misión

(tanto la propia empresa como del área de mantenimiento y operación), pueden generar la posibilidad o la motivación para abrir un procedimiento de Análisis de fallas.. Como un "disparador" para su aplicación, encontramos costos, tiempo de inactividad, repetición de eventos (fallas crónicas), seguridad, propagación de problemas,

calidad, productividad, reclamo de clientes, plazos (y en algunos casos demandas por incumplimiento de cláusulas contractuales), multas por contaminación y recurrencia de fallas, particularmente en relación con la criticidad del activo, como se indicó al comienzo de este análisis.



## Conclusión

En todos los rincones, se está difundiendo ampliamente que estamos experimentando la "Industria 4.0", causada por la globalización de la información y el desarrollo de sistemas ciberfísicos, con énfasis en la conexión del mundo real y digital, técnicas de simulación, integración de sistemas, seguridad cibernética, nubes, fabricación aditiva 3D, realidad aumentada, Internet de las cosas, robótica, big data y economía circular.

En este contexto, la identificación de lo que es importante evaluar o no, dónde invertir y dónde economizar, la efectividad y eficiencia de los métodos y procesos y, sobre todo, la integridad y la idoneidad de la información es cada vez mayor (y aún irá aumentar más), lo que requiere que seamos selectivos en los procesos de gestión de activos, costos y recursos, y la necesidad de conocer dónde y cuándo aplicar los esfuerzos de la función de mantenimiento para hacer que las empresas estén más calificadas para enfrentar una competencia cada vez más intensa.

### Datos del autor

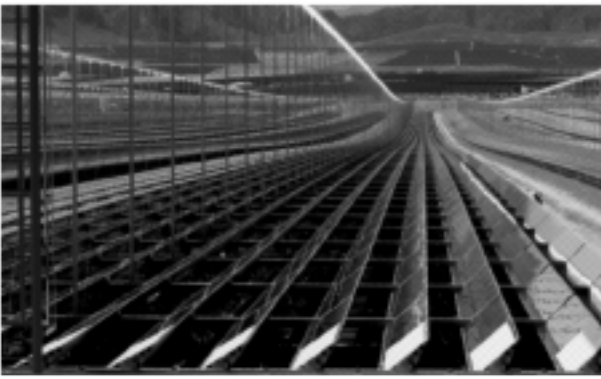
**Lourival Augusto Tavares**  
Brasil

**Consultor en Ingeniería de Mantenimiento**

**Empresa:** Director nacional de ABRAMAN (Asociación Brasileña de Mantenimiento) en dos mandatos.  
l.tavares@mandic.com.br

Ingeniero Electricista, formado por la Escuela Federal de Ingeniería de Rio de Janeiro, en el año de 1967. Past-Presidente del Comité Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento. Supervisor de Mantenimiento en FURNAS – Centrales Eléctricas S.A. durante 23 años. Fue el jefe de la Asesoría Técnica de Apoyo en ITAIPU Binacional. Reconocido como "notorio saber" en mantenimiento por la Universidad Federal de Rio de Janeiro y por la Universidad Federal de Paraíba.





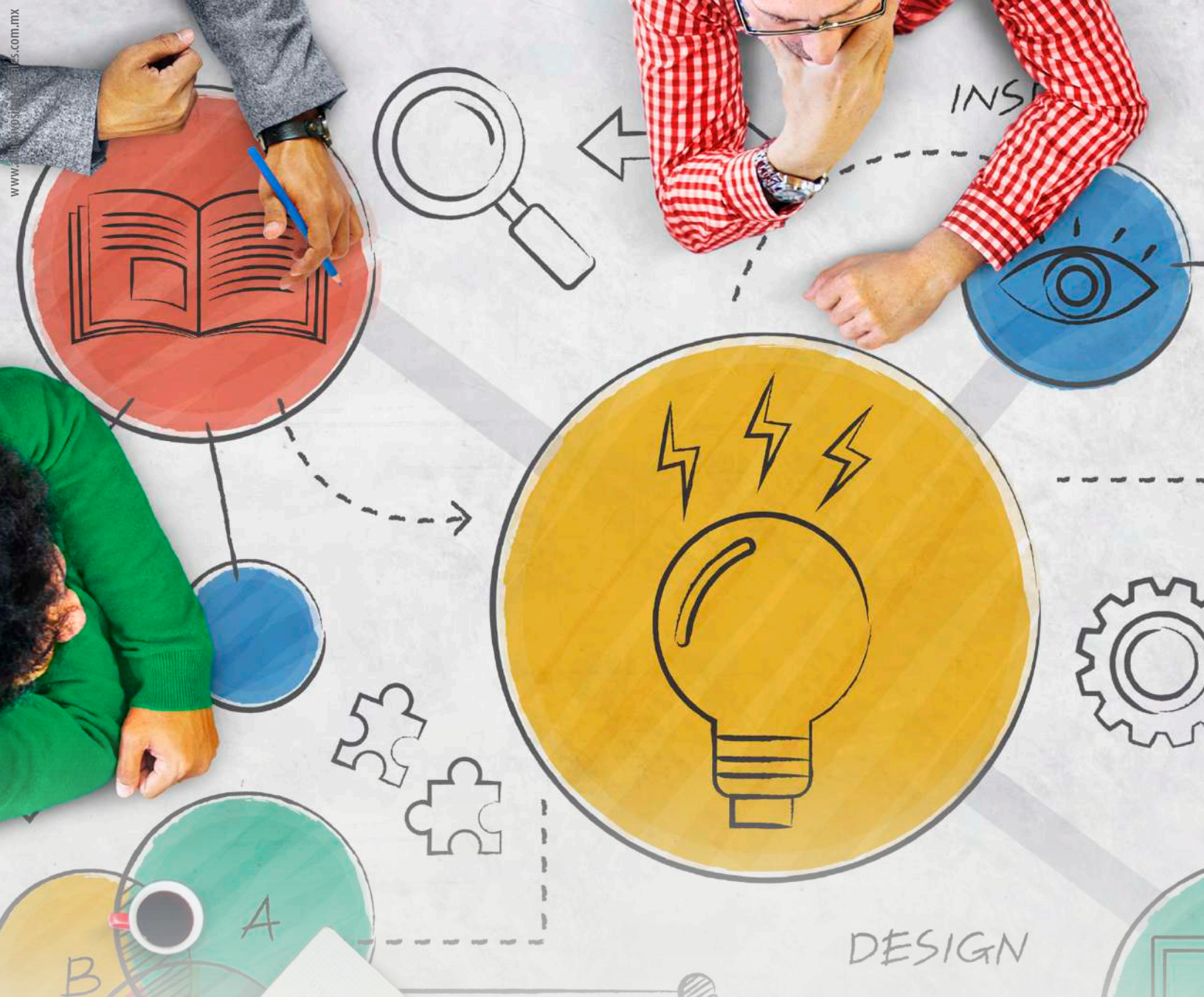
**INGENIERÍA**  
**GESTIÓN DE ACTIVOS**  
**CONFIABILIDAD**  
**MONITOREO DE CONDICIÓN**



**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**



# Estrategia para optimizar el uso de los activos y maximizar su aprovechamiento

Ciclo de vida / vida remanente de un activo

**Modelo.** ¿Cuál es el ciclo de vida de un activo? ¿Cuándo debe ser reemplazado? El enfoque costo-beneficio desde la perspectiva del mantenimiento.

MSc. Ing. Pedro Silvera

Venezuela

Reliability Engineering, Maintenance Management  
and Asset Management Consultant

silveraopedror@gmail.com

## Resumen

Es importante conocer, cuando hablamos de costos de ciclo de vida de un activo, a qué se refiere este concepto. De acuerdo a la ISO 15667, lo define como la esperanza de vida de un recurso particular propiedad de la organización, desde el punto de descubrimiento o adquisición hasta su eliminación; donde el análisis de costo de ciclo vida representa la estimación del comportamiento económico a nivel de costos, que tendrá el activo en esa esperanza de vida.

El presente artículo muestra una estrategia para optimizar el tiempo de uso de los activos, tomando como base el análisis de costo de ciclo de vida, dicha estrategia se presenta en tres etapas: selección del caso de estudio, evaluación o aplicación del modelo matemático y estrategias de reemplazo, detallando en cada una de estas etapas, los pasos a seguir para realizar cada etapa. Adicional a la estimación de los costos que incurre un activo en su ciclo de vida, el análisis de costo de ciclo de vida también es utilizado para la estimación del punto óptimo de reemplazo o vida útil remanente de un activo, esto aplicando un enfoque de costo - beneficio. Dentro de este artículo se muestra el modelo de cálculo de reemplazo óptimo, con la presentación de un caso de estudio, donde nos permite conocer la aplicación en términos prácticos del modelo.

**Palabras claves:** *costos, desempeño, confiabilidad, riesgo, rentabilidad, ciclo de vida, vida remanente.*

## Análisis de costo de ciclo de vida

Dentro de toda organización es normal que se presenten interrogantes sobre el tiempo de vida útil o vida remanente que presentan sus equipos o sistemas productivos, sobre todo si el costo de operación y mantenimiento, de inversiones o de las acciones de mejoras son altos; debido a esto se nos

pueden presentar las siguientes interrogantes, al momento de tomar una decisión sobre una inversión para garantizar los objetivos o metas de producción establecidas:

- ¿Mi activo alcanzó su vida útil?
- ¿Es rentable seguir operando el activo actual?
- ¿Cuándo es el mejor momento de reemplazarlo?
- ¿Qué es mejor: reemplazar el activo o modernizarlo?
- ¿Es necesario contar con un nuevo activo?

Estas interrogantes pueden ser respondidas mediante el estudio o evaluación del "Costo de Ciclo de Vida" de un activo, pero ¿Qué es el ciclo de vida de un Activo?

A continuación, estableceremos algunas definiciones para enmarcarnos en este tema:

### DE ACUERDO A LA ISO 15663, DEFINE COMO:

**Activo:** Recurso o propiedad de una organización, normalmente establecidos para fines de generación de ingresos o aumentar el valor.

**Ciclo de vida de un activo:** Esperanza de vida de un recurso particular propiedad de la organización desde el punto de descubrimiento o adquisición hasta su eliminación.

### DE ACUERDO A LA PAS – 55:

**Ciclo de vida de un activo:** Es el intervalo de tiempo que comienza con la identificación de un activo y termina con la puesta fuera de servicio del Activo o de cualquier responsabilidad asociada.

### DE ACUERDO A LA ISO – 55000:

**Ciclo de vida de un activo:** Etapas implicadas en la gestión de un activo.

Entonces teniendo estos conceptos presentes, es claro que el ciclo de vida de un activo comienza desde mucho antes de su puesta en servicio o arranque de sus operaciones, es decir, inicia desde su fase de concepción como proyecto

hasta su desincorporación. A continuación estableceremos las diferentes fases que atraviesa un activo a lo largo de su ciclo de vida.

Estas se pueden clasificar en dos Fases:

### CAPEX (CAPITAL EXPENDITURES)

Esta etapa involucra todas las inversiones de capital, previa a la puesta en operación del activo, esta etapa incluye las fases de investigación, diseño, compras o aprovisionamiento y construcción.

### OPEX (OPERATING EXPENSE)

Esta etapa contempla todos los costos de asociados al activo para mantener su operación o funcionamiento, dentro estos se encuentran los costos de Operación y Mantenimiento. Adicional a los costos anteriormente mencionados no hay que olvidar los costos de desincorporación, que dependiendo del tipo de activo y del lugar donde se encuentre, este costo puede representar un desembolso importante para la organización, en la figura 1 se muestran gráficamente las diferentes fases de un activo en su ciclo de vida.

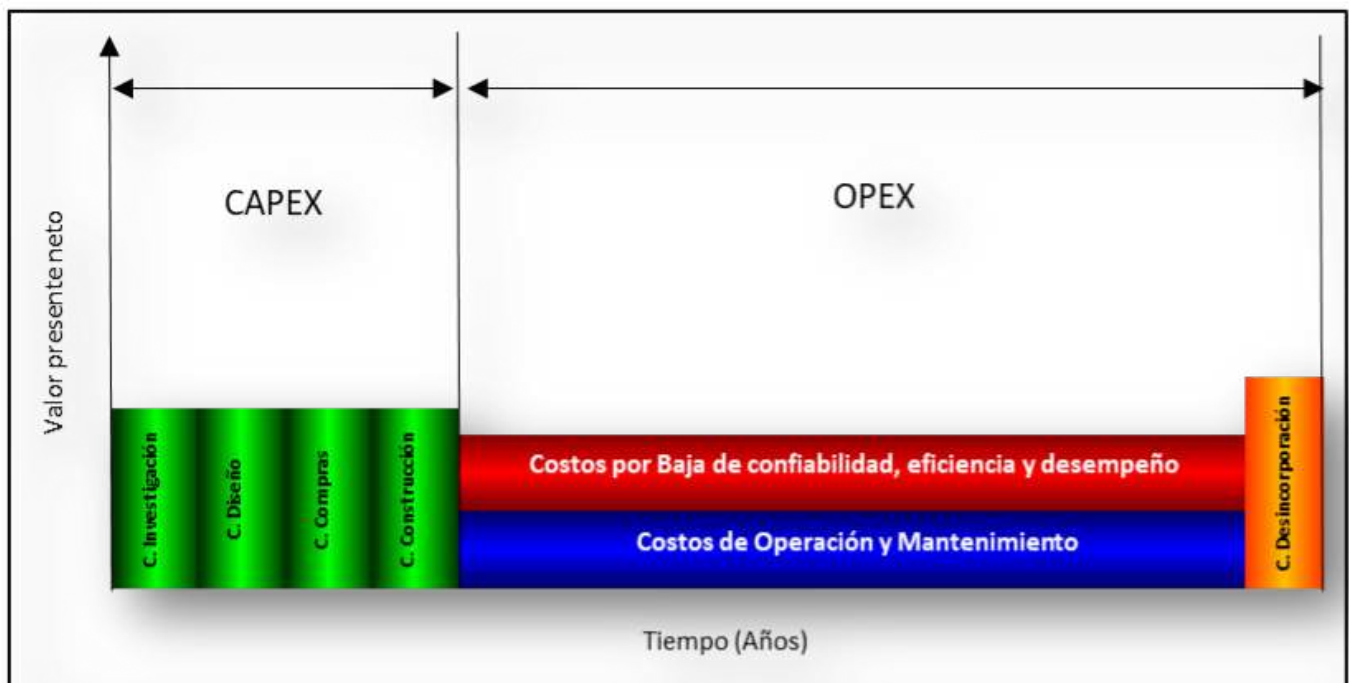


Figura 1. Fases de un activo en su ciclo de vida. Fuente: El autor.

Dentro de las áreas donde comúnmente podemos aplicar este análisis tenemos:

- ➔ Evaluación y comparación de diseños alternativos.
- ➔ Proyectos de optimización de costos operacionales.
- ➔ Evaluación y comparación de estrategias de uso (O&M).
- ➔ Evaluación y comparación de reemplazar, rehabilitar o desincorporar.
- ➔ Optimización en la asignación de recursos para actividades de mejoras de equipos.
- ➔ Planificación financiera de largo plazo.

En muchas organizaciones podemos encontrar situaciones donde la aplicación del análisis del costo de ciclo de vida se realiza de manera unilateral a un activo específico, es decir, sin tener presente consideraciones o criterios para su selección. En la realidad es que existen diversos activos, sistemas o procesos que pueden ser considerados para realizar dicha evaluación en el mismo momento y aquí es donde nos encontramos con el primer paso para iniciar el análisis, esto no es más que escoger el caso de estudio que le represente el mejor beneficio a la organización, pero ¿cuál es la mejor estrategia o camino para seleccionar el caso de estudio?

Para esto se plantea la estrategia desarrollada que he denominado "Proposed Solution - Life Cycle Cost" (PS-LCC), la cual está referida a generar propuestas enmarcada a solucionar o mejorar la toma de decisión en sistemas productivos mediante la aplicación del análisis del costos de ciclo de vida enmarcado en tres etapas generales:

### Etapas 1 - selección del caso de estudio

Cuando nos encontramos con una o varias alternativas posibles o en su defecto desconocemos dónde aplicar el análisis del costo del ciclo de vida, es importante establecer una estrategia para filtrar e identificar el caso más idóneo donde se le recomienda la aplicación de dicho análisis.

Como primer paso es importante considerar los objetivos estratégicos y plan de negocio para garantizar que nuestro caso de estudio se encuentre alineado a cumplir e impactar positivamente dichos objetivos y planes; aquí podemos mencionar que existen casos donde la vida útil de un activo puede ser mayor al tiempo establecido para la instalación o proyecto (concesiones, proyectos, cierre por niveles de producción esperado, entre otros), teniendo esto presente, como segundo paso, se deben considerar las condiciones actuales de los mismos, donde comúnmente presentan las siguientes características:

Valorando la información de cada uno de estos aspectos se establece un mejor criterio, el cual cuenta con los elementos claves para realizar un filtro adecuado en la selección del caso a evaluar, la figura 2 lo muestra de forma esquemática.

- ✓ **Muchos años desde su fecha de Instalación.**
- ✓ **Alto Impacto al Negocio.**
- ✓ **Brecha con respecto al tiempo de operación requerida.**
- ✓ **Altos costos de adquisición.**
- ✓ **Tiempos de Adquisición y reparación prolongados.**
- ✓ **Disminución en la capacidad para cumplir los Objetivos / Disminución en el desempeño.**

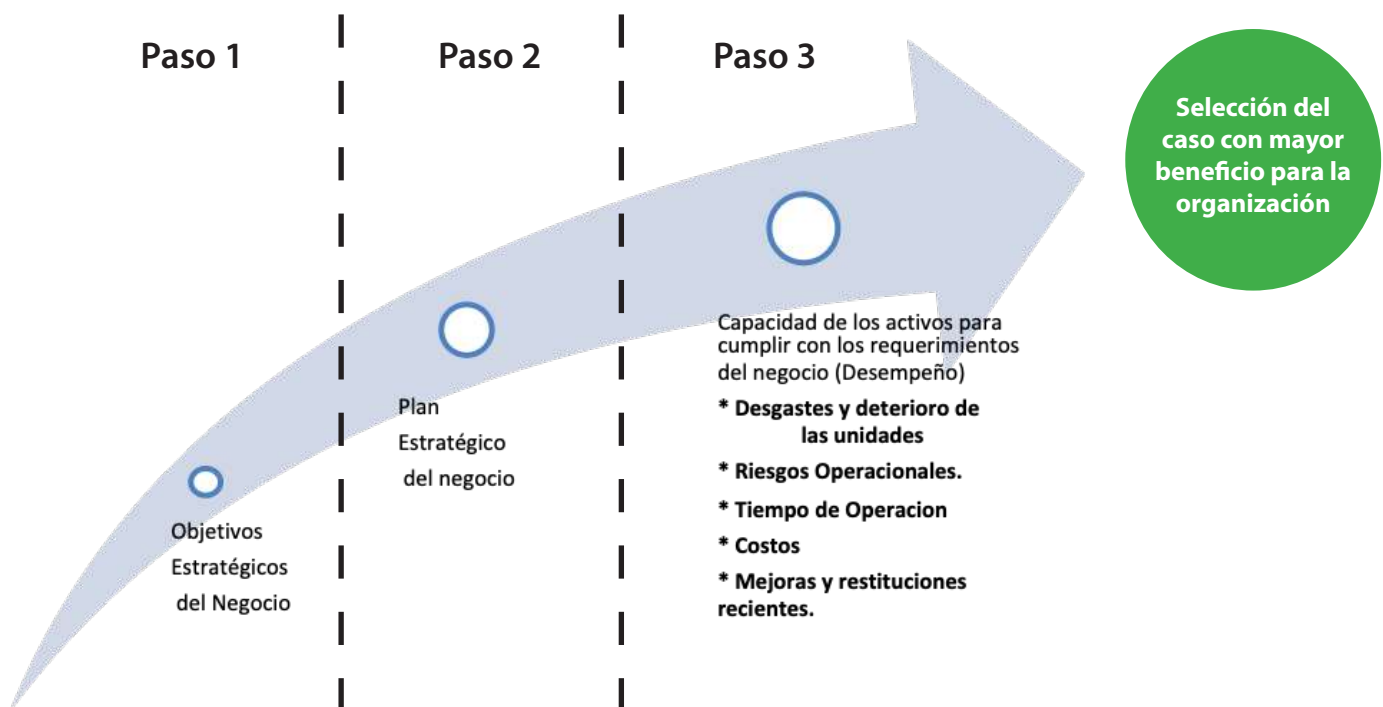


Figura 2. Pasos para seleccionar caso de estudio. Fuente: El autor.



## Etapa 2 - Evaluación del ciclo de vida

### 4.1. Variables dentro de un análisis del costo de ciclo de vida

Las variables que considera el modelo matemático para el análisis del costo de ciclo de vida son las siguientes:

- a) Costo de Inversión.
- b) Costo de Operaciones.
- c) Costos de Mantenimiento.
- d) Costos por baja Confiabilidad.
- e) Costos por Bajo Desempeño.
- f) Costos por Desincorporación.

Nota: para la identificación de estas variables se consideró el modelo de Woodward.

A continuación, estableceremos qué se entiende por cada uno de los aspectos listados anteriormente para este artículo:

#### 4.1.1. Costos de Inversión (CI):

Los Costos de Inversión se puede considerar lo comentado anteriormente como CAPEX (Capital Expenditures), ya que son todos los costos en los cuales incurre la organización previo a la puesta en servicio del activo o entrada en operación por la estrategia establecida (mejora, modernización, reemplazo).

#### 4.1.2. Costos de Operación (CO)

Esta variable presenta los costos directos que se incurren para lograr la operación del equipo, dentro de los costos más comunes que se consideran en la industria tenemos:

- Combustible.
- Insumos.
- Personal.
- Consumo interno de Energía, entre otros.

#### 4.1.3 Costos de Mantenimiento (CM)

Los costos de mantenimiento incluyen los costos de todos los mantenimientos planificados normales, es decir:

- Mantenimientos Preventivos y Predictivos (rutinarios o frecuente): Se establecen de forma anualizada.
- Mantenimientos no frecuentes (Mayores, inspecciones, pruebas especializadas): Presentan una frecuencia de ejecución mayor a un año.

#### 4.1.4. Costos por Baja Confiabilidad (CBC)

Cuando establecemos los aspectos de la confiabilidad de un activo, es normal que al pasar el tiempo exista desgaste en cualquiera de sus componentes, este aspecto lo podemos relacionar con la cantidad o tasa de falla, es decir, esta tasa tiende a aumentar a medida que aumenta el desgaste del equipo, para los costos contemplados en esta variable se considera el impacto económico total en el negocio por

la ocurrencia de dichas fallas, pudiéndose estimar con la siguiente ecuación:

$$\text{Costos} = \text{FF/año} \times \text{Consecuencia/falla}$$

$$\text{Costos} = \text{FF} \times (\text{Costos Materiales} - \text{Repuestos} + \text{Costos de Mano de Hora} + \text{Costos de penalización} + \text{impacto en la producción})$$

Ecuación 1

Nota: Es importante destacar que la ecuación anterior puede utilizarse para sacar los costos promedio año, dependiendo del tipo de dato o información que se disponga se puede establecer un resultado más exacto; que queremos decir con esto, se puede realizar una clasificación interna agrupando las diferentes fallas por impactos comunes o similares, es decir, no establecer un promedio simple si no ajustarlo a un promedio ponderado el cual reflejará mucho mejor la realidad del comportamiento de esta variable dentro del modelo matemático. Así como también considerar que estos costos deben ser pronosticados para los periodos futuros.

#### 4.1.5. Costos por Bajo de Desempeño (CBD)

Estos costos debemos diferenciarlos de los costos por baja confiabilidad, aunque ambos pueden verse afectados por la condición de desgaste o pérdida de integridad del equipo con el tiempo. En el caso referido a la pérdida de desempeño, se enmarca en la disminución de la capacidad de cumplir con los objetivos establecidos del activo en condiciones normales de operación, un ejemplo práctico de este aspecto es la pérdida de eficiencia de un equipo en el tiempo. Una ecuación simple que podemos considerar para estos cálculos se muestra a continuación:

$$\text{Costos} = \% \text{ disminución de capacidad} \times \text{Impacto en el Negocio.}$$

Ecuación 2

#### 4.1.7. Costos por Desincorporación (CD)

Como su nombre lo expresa, son todos aquellos costos que se involucran por desmontaje o desincorporar un activo de su ubicación actual. Es importante establecer que dependiendo el estudio o análisis este costo puede aplicar o no, en función al alcance del proyecto de remplazo o modernización, dentro de estos aspectos podemos establecer como ejemplo los siguientes:

- Labor - Mano de Obra.
- Maquinaria y equipos.
- Impacto en la producción (Si aplica).
- Impactos ambientales.
- Impuestos o pagos de acuerdo a leyes y reglamentos, entre otros.

### 4.2 Modelo Matemático.

#### 4.2.1 Modelo del Costo de Ciclo de Vida

Estas variables se integran bajo el siguiente modelo matemático.

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=T} CI + CO + CM + CBC + CBD + CD$$

CI: Costo de Inversión.

CO: Costo de Operaciones.

CM: Costos de Mantenimiento.

CBC: Costos Por Baja Confiabilidad.

CBD: Costos por Bajo Desempeño

CD: Costos por Desincorporación.

Ecuación 3

Fuente: Yáñez, Medardo; Gómez de la Vega, Hernando; Semeco, Karina; Nucette, Giokena; Medina, Nayirh; Confiabilidad Integral, R2M.

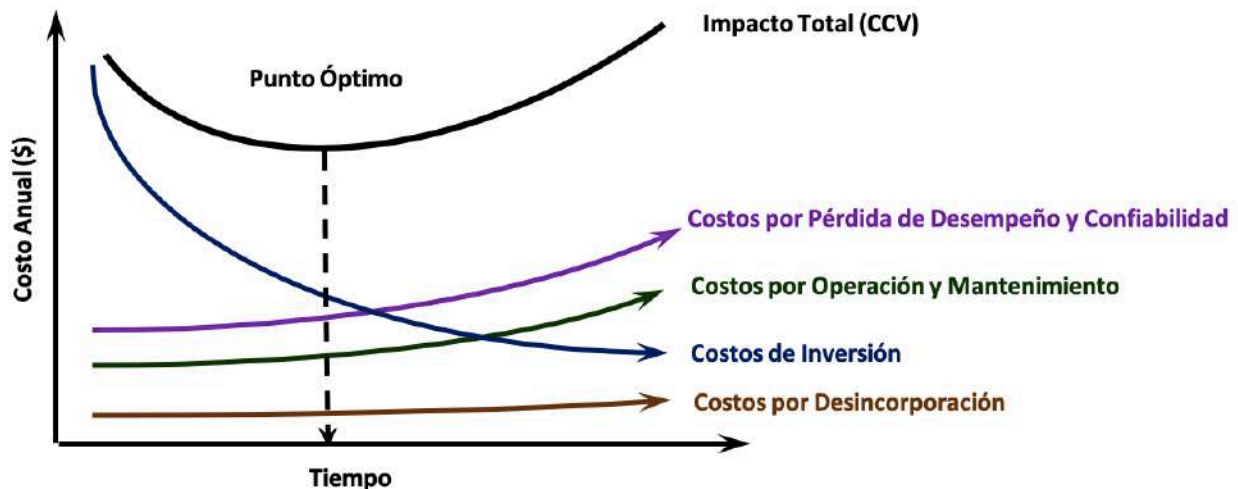


Figura 3. Comportamientos de los costos en un ACCV. Fuente: El autor.

4.2.2 Modelo de Reemplazo

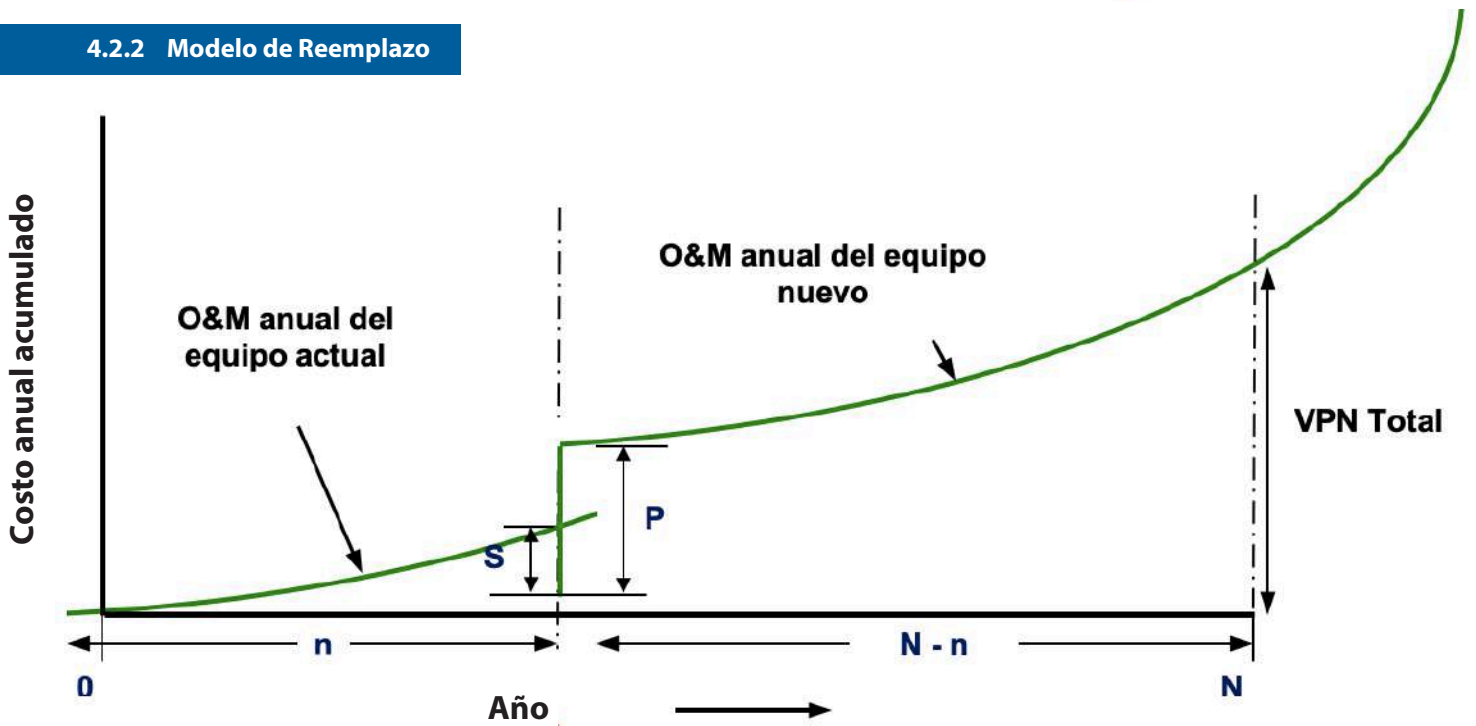


Figura 4. Modelo de reemplazo Óptimo.

$$CCV \text{ Total} = CCV \text{ Equipo actual} + CCV \text{ Equipo Nuevo}$$

Ecuación 4

$$CCV \text{ Total} = \sum_{i=0}^{i=n} \frac{(O+M)_i}{(1+r)^i} - \frac{s}{(1+r)^n} + \left[ P + \sum_{i=n+1}^{i=N-n} \frac{(O+M)_i}{(1+r)^i} \right] \times \frac{1}{(1+r)^n}$$

Nota: "n" es el año óptimo de reemplazo donde la curva de CCV Total presenta el punto más bajo.

Ecuación 5

Fuente: Decisión de reemplazo o reparación de un equipo, José Durán, Luis Sojo, Edgar Fuenmayor.

4.2.3. Costo anual Equivalente

Dentro de los costos de ciclo de vida como ya hemos mencionado, esta técnica adicional a la estimación del punto óptimo de reemplazo de un activo, nos permite comparar diferentes alternativas de mejora, pero, ¿qué sucede si estas alternativas presentan ciclos de vidas diferentes?, entonces:

¿Se podrían comparar los VPN del ciclo de vida diferente para tomar una decisión?

No de forma directa, ya que las alternativas no se encuentran bajo los mismos escenarios de tiempo, los beneficios esperados (VPN) de los diferentes flujos de caja, se ven impactados por el número de periodos considerados (años - tiempo de ciclo de vida), para estas circunstancias el costo

anual equivalente genera una opción para poder comparar estrategias de mejora en ciclos de vida diferentes.

Los costos anuales equivalentes (CAE) consisten en convertir los pagos e ingresos de un proyecto a una serie uniforme equivalente para un periodo de tiempo determinado, en nuestro caso un año, de manera que se puedan comparar las alternativas durante estos periodos; independiente del horizonte de evaluación y está representado por la siguiente ecuación:

$$CAE = VPN \times i \times \left[ 1 - \frac{1}{(1+i)^n} \right]^{-1}$$

VPN: Valor Presente Neto,  
i: Tasa de Descuento,  
n: Numero de Periodos.

Ecuación 6



### 4.3. Pasos de la Evaluación

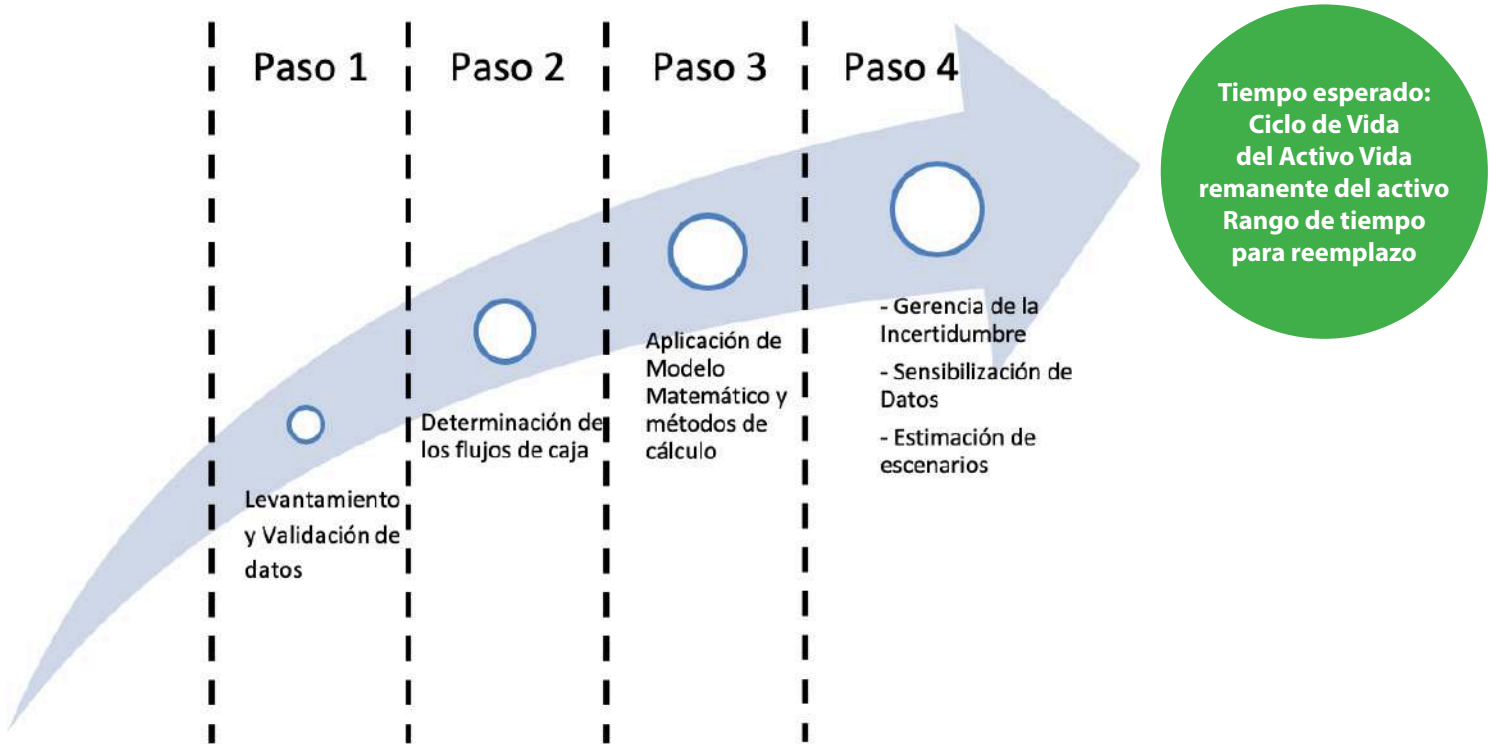


Figura 5. Etapas de evaluación para el cálculo del ACCV. Fuente: El autor.

## 5. Etapa 3 - Definición de estrategia de reemplazo

Desde un punto de vista práctico podemos enmarcar estas estrategias de reemplazo en función al alcance de la acción que como organización se plantee.

**1. PARCIAL:** Contempla intervención de un activo principal pudiendo o no involucrar los periféricos y sistemas auxiliares asociados a este.

**2. INTEGRAL:** Contempla una intervención de la instalación o parada general donde dos o más activos principales pueden ser intervenidos.

Dentro de todo proceso de optimización de costos, la toma de decisión en el momento oportuno es clave para poder capitalizar las oportunidades. Cuando iniciamos la identificación del ciclo de vida o vida remanente de nuestros activos dentro de nuestras instalaciones, podemos encontrar qué activos principales (equipos o sistemas) presentan puntos diferentes en el tiempo donde se les

recomienda ejecutar la acción de reemplazo o mejora; esto nos genera una pregunta:

### ¿Qué es lo más conveniente para el negocio?

Primero debemos considerar los objetivos estratégicos, tiempo y presupuesto disponible, para incorporarlos en la valoración y poder así saber cuál es el mejor esquema a utilizar de parada de la instalación, ¿Una intervención parcial o integral?

En el caso de una intervención parcial, se tiene estimando el punto óptimo en el cual se debe realizar la intervención. En este caso se ejecutarán las diferentes acciones de mejora en ese tiempo óptimo, tomando como base los resultados arrojados por la evaluación del ciclo de vida o el punto de reemplazo del activo (costo - beneficio).

En el caso de una intervención integral y previamente aplicando el enfoque de ciclo de vida, nos encontraremos que dentro de nuestras instalaciones existen activos con ciclos de vida o vidas remanentes diferentes, es decir, cuyos reemplazos o momentos óptimos para realizar las intervenciones se encuentran en momentos diferentes en el tiempo, ¿Qué hacer entonces?

Aquí se nos presentan dos opciones:

**A** Parar la instalación en función a cada ciclo de vida de los activos que se encuentran dentro de la misma, en este caso se estaría reemplazado cada activo en su punto óptimo, utilizando en su totalidad la vida remanente de los mismos, sin embargo, esto ocasionaría diversos costos por penalización o impactos en producción debido a las diferentes paradas que se tendría que incurrir para ejecutar estos reemplazos.

**B** Sincronizar estos puntos óptimos de reemplazo en una parada general de planta (dependiendo del tipo de organización y conociendo el costo – beneficio, se pudiesen realizar los reemplazos en un tiempo previo o posterior al punto óptimo calculado para la sincronización en una parada, asumiendo la organización dicho riesgo de mover el punto de reemplazo estimado). En este artículo no se detallarán las condiciones y aspectos que se deben considerar para calcular esta banda de riesgo manejable.

En función a las dos opciones de existir más de un activo principal el cual debe ser intervenido, mejorado o reemplazado por su vida remanente, la estrategia recomendada es la de integrar estos reemplazos o mejoras en una sola parada de la instalación, considerando aspectos tales como: tiempos de parada, costos, impactos en las operaciones, disponibilidad de recursos, paquetes o agrupación de tareas, entre otros, realizando una evaluación Costo - Beneficio de forma adicional para estimar el mejor momento para la organización en realizar la parada de la instalación (figura 6).

Análisis Costo – Riesgo – Beneficio de mover el punto de intervención de cada activo a un nuevo punto óptimo para la organización de realizar una parada de planta

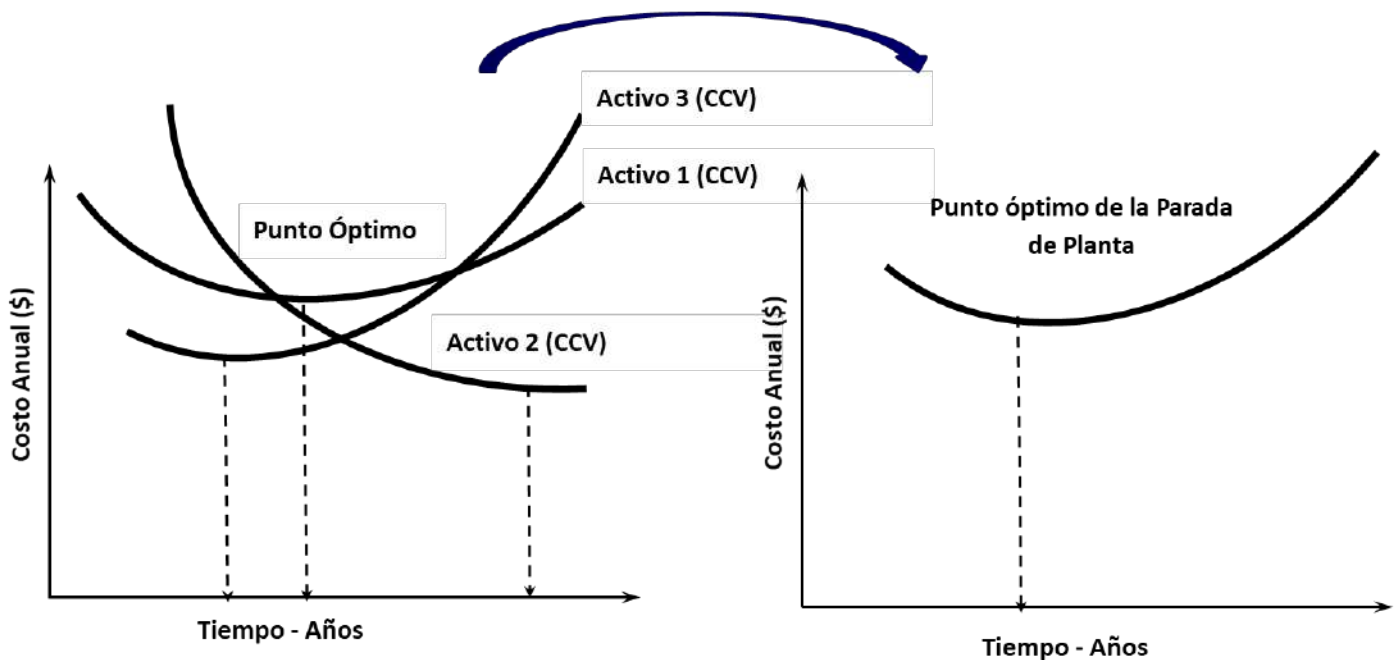


Figura 6. Integración de varios puntos óptimos de reemplazo de diferentes activos en un tiempo óptimo de parada de planta. Fuente: El autor.



Teniendo en cuenta la información establecida en el presente artículo, de manera gráfica en la figura 7 se muestra el resumen del esquema estratégico desarrollado para la estrategia que he denominado “Proposed Solution – Life Cycle Cost” (PS-LCC).



Figura 7. Esquema estratégico para Proposed Solution – Life Cycle Cost (PS-LCC). Fuente: El autor.

## 6. Caso de estudio

Se tiene una turbina instalada con un tiempo de operación de 35 años, ¿Cuál sería su tiempo de vida útil remanente o punto óptimo de reemplazo si se compara con la instalación de un equipo de similares características?, aplicando el modelo de reemplazo basado en el costo de ciclo de vida; para esto se tiene que los costos totales de inversión son 3.500.000 USD. A continuación se esquematizan los costos del activo nuevo y actual para los próximos años.

**Tabla N° 1.** Datos para el caso de Estudio. Fuente: El autor

AÑO	ACTIVO NUEVO			ACTIVO NUEVO		
	COSTOS DE O&M TOTALES	COSTOS POR BAJA CONFIABILIDAD	COSTO POR BAJO DESEMPEÑO	COSTOS DE O&M TOTALES	COSTOS POR BAJA CONFIABILIDAD	COSTO POR BAJO DESEMPEÑO
0	\$403.033,28	\$7.091,70	\$0,00	\$456.539,74	\$30.626,40	\$720.000,00
1	\$500.282,76	\$7.091,70	\$20.021,31	\$566.700,00	\$35.959,80	\$740.000,00
2	\$545.777,86	\$7.091,70	\$40.042,63	\$618.235,00	\$41.293,20	\$760.000,00
3	\$591.272,96	\$7.970,19	\$60.063,94	\$669.770,00	\$46.626,60	\$780.000,00
4	\$636.768,05	\$7.970,19	\$80.085,26	\$721.305,00	\$51.960,00	\$800.000,00
5	\$682.263,15	\$7.970,19	\$100.106,57	\$2.772.840,00	\$57.293,40	\$820.000,00
6	\$727.758,25	\$7.970,19	\$120.127,89	\$1.284.375,00	\$62.626,80	\$840.000,00
7	\$773.253,35	\$7.970,19	\$140.149,20	\$875.910,00	\$67.960,20	\$860.000,00
8	\$818.748,45	\$7.970,19	\$160.170,51	\$927.445,00	\$73.293,60	\$880.000,00
9	\$864.243,54	\$7.970,19	\$180.191,83	\$978.980,00	\$78.627,00	\$900.000,00
10	\$1.369.738,64	\$7.970,19	\$200.213,14	\$1.030.515,00	\$83.960,40	\$920.000,00
11	\$955.233,74	\$7.970,19	\$220.234,46	\$1.082.050,00	\$89.293,80	\$940.000,00
12	\$1.000.728,84	\$9.595,51	\$240.255,77	\$1.133.585,00	\$94.627,20	\$960.000,00
13	\$1.046.223,94	\$9.595,51	\$260.277,09	\$1.185.120,00	\$99.960,60	\$980.000,00
14	\$1.091.719,03	\$9.595,51	\$280.298,40	\$1.236.655,00	\$105.294,00	\$1.000.000,00
15	\$1.137.214,13	\$9.595,51	\$300.319,71	\$1.748.190,00	\$110.627,40	\$1.020.000,00
16	\$1.182.709,23	\$9.595,51	\$320.341,03	\$1.339.725,00	\$115.960,80	\$1.040.000,00
17	\$1.228.204,33	\$9.595,51	\$340.362,34	\$1.391.260,00	\$121.294,20	\$1.060.000,00
18	\$1.273.699,43	\$9.595,51	\$360.383,66	\$1.442.795,00	\$126.627,60	\$1.080.000,00
19	\$1.319.194,52	\$9.595,51	\$380.404,97	\$1.494.330,00	\$131.961,00	\$1.100.000,00

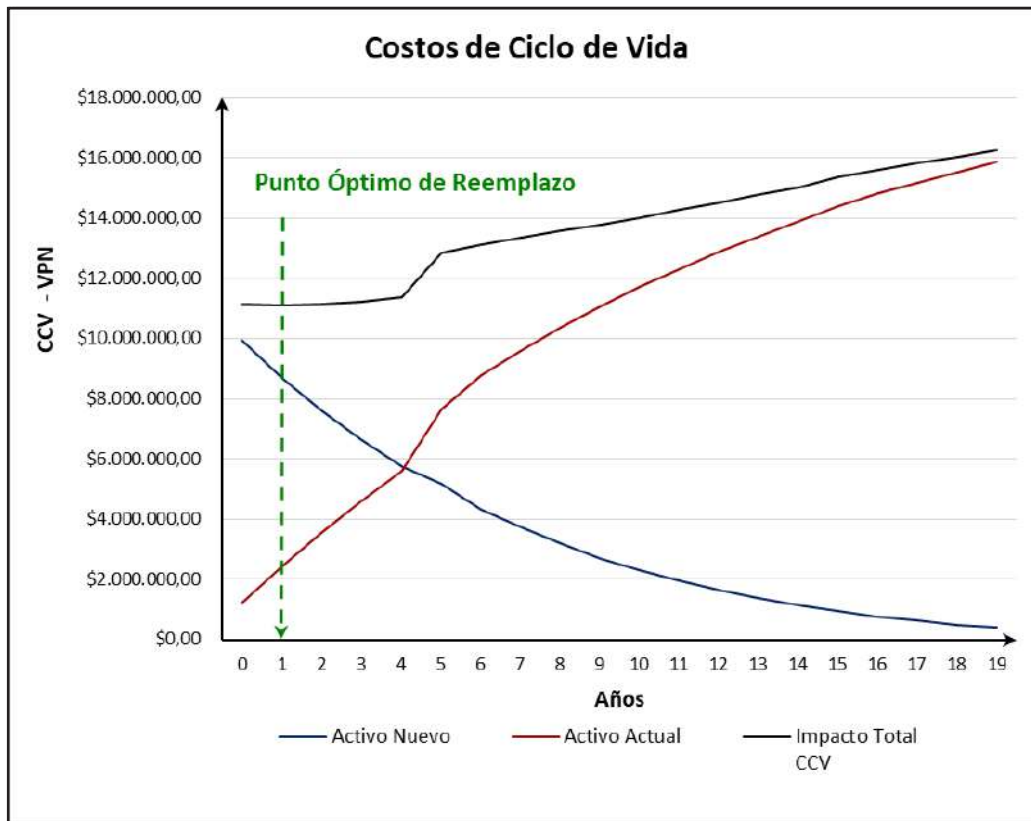


Grafico N° 1. Punto Óptimo de Reemplazo CCV – VPN. Fuente: El autor

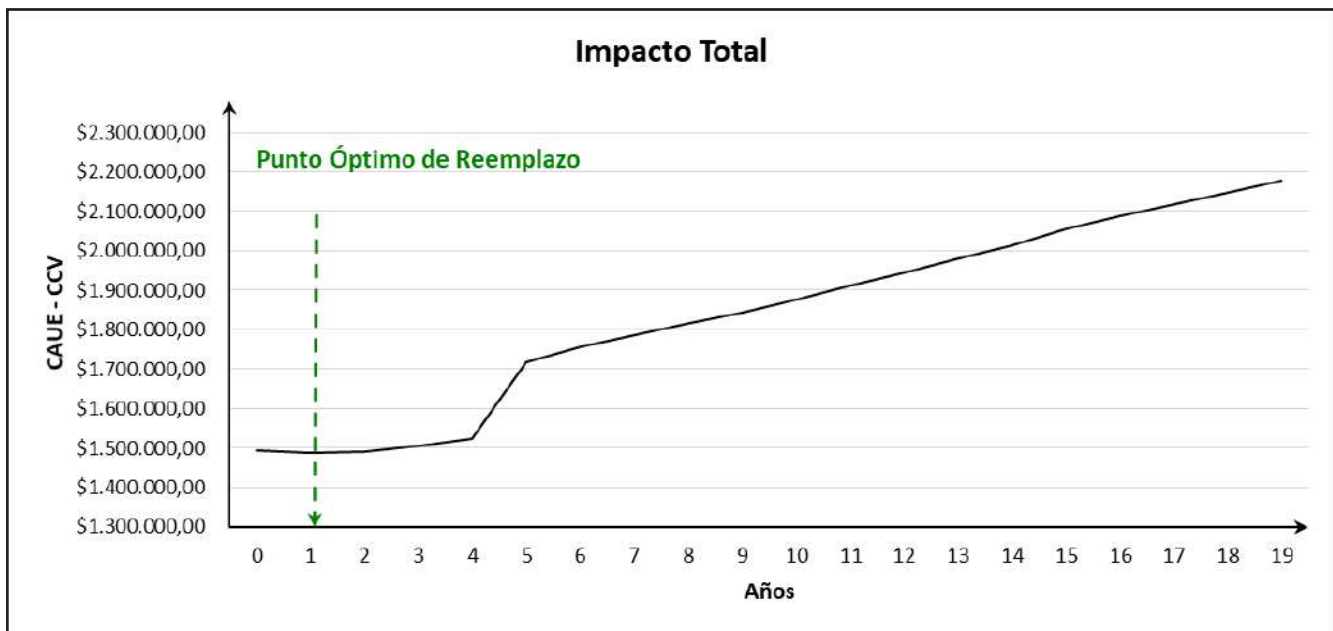


Grafico N° 2 . Punto Óptimo de Reemplazo CAE – CCP. Fuente: El autor

De acuerdo a los resultados obtenidos el año de menor costo para realizar la inversión de acuerdo a los escenarios evaluados es el año N°1, con un monto total de CAE de \$1.487.977 USD, mostrándose también en el gráfico N°1 y N°2 en el punto más bajo de curva. Esto nos indica que el equipo solo presenta un año de vida remanente,

es decir, debe ser reemplazado al año siguiente; de ser reemplazado en un momento diferente al punto óptimo estimado, la organización incurriría en pérdidas en el orden \$50.000 USD solo en el primer año, aumentando estas con el tiempo, alcanzando al año 6 una pérdida acumulada de \$1.584.556 USD.

## Conclusiones

- El análisis costo de ciclo de vida nos permite estimar los escenarios esperados del comportamiento económico del activo en su tiempo de vida.
- Para una mejor gestión y administración de un activo es importante conocer sus costos en su ciclo de vida útil.
- La vida útil remanente de un activo representa el tiempo hasta donde es económicamente rentable mantenerlo en funcionamiento desde su puesta en servicio.
- El punto óptimo de reemplazo se identifica en el punto más bajo de curva de los costos totales, representado por la suma de los costos del ciclo de vida por operar el equipo actual con los costos de ciclo de vida del activo nuevo.
- El análisis de costo de ciclo de vida permite mejorar la toma de decisión para comparar proyectos de inversión.
- La variable que más impacta el análisis de costo de ciclo de vida depende del contexto operacional y del esquema de negocio donde se desempeñe el activo.
- El tiempo de vida útil de un activo es dinámico en el tiempo.
- El tiempo de vida útil de un activo es afectado directamente por la forma en que lo administramos y lo gestionamos en su ciclo de vida.
- El punto óptimo de reemplazo para el caso de estudio es en el año 1, con un monto total de CAE de \$1.487.977 USD.

### Datos del autor

MSc. Ing. Pedro Silvera  
Venezuela  
*Reliability Engineering, Maintenance  
Management and Asset Management Consultant*  
silveraopedror@gmail.com

Ing. Mecánico, MSc en Ingeniería de Mantenimiento, Titulado en Diseño y Dirección de Proyecto, certificado en Asset Management Reliability, 15 años de experiencia en confiabilidad y gestión de activos, realización, implementación y consultoría en AC, RCM, ACR, AMEF, LCC, RAM, evaluaciones de riesgos, proyectos integrales de mejora de la confiabilidad en las industrias de Oil&Gas, Generación Eléctrica, Alimentos y Minería (refinería).

## Referencias

ISO 55000:2014, *Asset Management – Overview, principles and terminology.*

ISO 55001:2014, *Asset Management – Management system – Requeriments.*

Yáñez, Medardo; Gómez de la Vega, Hernando; Semeco, Karina; Nucette, Giokena; Medina, Nayirh: *Confiabilidad Integral, R2M S.A, 2007.*

Carlos Parra, Adolfo Crespo, Fredy Kristjanpoller, Pablo Viveros, "Reliability stochastic model applied to evaluate the economic impact of the failure in the life cycle cost analysis (LCCA). Case Study for the Rail Freight and Oil Industries, 2017.

José Durán, Luis Sojo, Edgar Fuenmayor, *Decisión de reemplazo o reparación de un equipo – Caso de estudio basado en métodos y normas vigentes, 2011.*

PAS 55 – 1:2008, *Gestión de Activos, Parte 1 – Especificaciones para la gestión optimizada de activos físicos.*

PAS 55 – 2:2008, *Gestión de Activos, Parte 2 – Directrices para la aplicación de la PAS 55 – 1.*

ISO 15663 – 1:2000 (E), *Petroleum Gas Industries – Life Cycle Costing, Part 1 – Methodology.*

ISO 15663 – 2:2000 (E), *Petroleum Gas Industries – Life Cycle Costing, Part 2 – Guidance on application of methodology and calculation methods.*

ISO 15663 – 3:2000 (E), *Petroleum Gas Industries – Life Cycle Costing, Part 3 – Implementation Guideline.*

Teresa Clavería Cariñena, "El método de valoración por opciones reales", aplicación en el sector energético.

*Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/ inspection scheduling and planning, Faisal I. Khan , Mahmoud M. Haddara, 2003.*

*A layman's primer on quantitative decision and risk analysis: Monte Carlo simulation, real options, forecasting and optimization, Dr. Johnathan Mun, 2006.*

**PREDICTIVA**21

---

[contacto@predictiva21.com](mailto:contacto@predictiva21.com)

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