

# Predictiva 21

Año 10 - No. 47 Febrero 2024



“

Aceite,  
lubricación  
y más...

LA TRAYECTORIA DE

## JORGE, ALARCÓN EN CONFIABILIDAD

Transformando el  
monitoreo de turbomáquinas,  
nuevas perspectivas desde la  
gestión de activos

| María Alejandra Martínez y  
Juan Camilo Urango

Evitar los errores humanos  
en los procesos productivos  
con el Análisis de Causa Raíz

| Augusto Constantino

Transformación digital  
en el Mantenimiento  
de las fábricas

| Richard Zamora

# ÍNDICE

---

- 02** Editorial
- 04** Aceite, lubricación y más: La trayectoria de Jorge Alarcón en Confiabilidad  
Lisset Chávez
- 12** Factores claves para la selección de una bomba centrífuga  
Grupo AFP
- 17** Hablemos de RAM, Parte 2. Análisis de caso de éxito: Repotenciación de Vehículos Panhard de la Infantería de Marina Argentina  
Armando Eugenio Vittorangeli
- 26** Variación de la emisividad de materiales en función de la temperatura  
César A. Tejaxún Solloy
- 34** Desvelando el camino hacia la excelencia: Explorando el Modelo ART de transformación de Confiabilidad de Activos  
Alejandro Jiménez Fuentes
- 38** Transformando el Monitoreo de Turbomáquinas, nuevas perspectivas desde la Gestión de Activos  
María Alejandra Martínez y Juan Camilo Urango
- 45** Entrevista con Carlos Villegas Morán: Ingeniería, proyectos y pasión  
Lisset Chávez
- 52** Revisión del estándar ISO 12669 para establecer el nivel requerido de limpieza (RCL) de aceites hidráulicos  
José Páramo
- 55** Evitar los errores humanos en los procesos productivos con el Análisis de Causa Raíz (ACR)  
Augusto Constantino
- 67** Gestión Energética Eficiente: Clave para evitar multas en México  
Leonardo Vieira
- 72** Aumento de la carga dinámica en rodamientos por causa del desbalance  
José Daniel Acosta Robles
- 76** El conocimiento, un activo que crece cuando se comparte, entrevista con Robinson Medina  
Lisset Chávez
- 83** Transformación digital en el mantenimiento de fábricas: estrategias avanzadas para liderar en la era de la innovación  
Richard Zamora Yansi
- 85** De CMMS a EAM: Transformando la Gestión de Activos hacia el Futuro del Mantenimiento Predictivo Empresarial  
CTN Global
- 87** ¿Cómo lograr una carrera exitosa como ingeniero de confiabilidad?  
Eduardo Calixto

# EDITORIAL



**Andrés Enrique González Giraldo**  
Editor y CEO de Predictiva21  
andres.gonzalez@predictiva21.com

**Enrique Javier González Hernández**  
Fundador y Chairman de Predictiva21  
enrique.gonzalez@predictiva21.com

**Lisset Chávez González**  
Directora Editorial  
lisset.chavez@predictiva21.com

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

**Montserrat Sánchez González**  
Diseñadora Gráfica  
montserrat.sanchez@predictiva21.com

En nuestra **edición número 47**, nos complace presentar una entrevista reveladora con **Jorge Alarcón**, un destacado experto con más de **20 años de experiencia** en el campo industrial y un sólido historial en Confiabilidad y Mantenimiento Predictivo. A lo largo de la conversación, Alarcón nos comparte sus perspectivas sobre la evolución de las estrategias en este campo, los desafíos comunes en el monitoreo de condiciones de aceite, su enfoque como Gerente de Confiabilidad, y sus predicciones para el **futuro del Mantenimiento Predictivo**.

La consolidación de las estrategias de Mantenimiento es evidente, pero lo que destaca en la trayectoria actual es el impulso hacia la adopción de tecnologías emergentes. Alarcón señala el impacto de sensores, análisis de datos, IoT, Machine Learning, y la Inteligencia Artificial.

Uno de los aspectos más fascinantes de la entrevista es la profunda inmersión de Jorge en el análisis de condición del lubricante. Expone los desafíos comunes que enfrentan las plantas industriales, desde la interpretación de pruebas hasta la falta de comprensión sobre el impacto de los cambios en el lubricante.

La entrevista con Jorge Alarcón ofrece una visión valiosa de las tendencias, desafíos y avances en el mundo del Mantenimiento Predictivo y la Confiabilidad. Su enfoque integral, experiencia y perspectiva visionaria son una inspiración para profesionales en búsqueda constante de excelencia en este campo en constante evolución.

**¡Sumérgete en la lectura y continúa explorando con nosotros las últimas tendencias y prácticas destacadas en el ámbito del Mantenimiento, Confiabilidad, Gestión de Activos e Industria 4.0 en América Latina!**

Un abrazo grande.

**Andrés González**

Editor y CEO de Predictiva21

*\* Predictiva 21 no se hace responsable por las opiniones emitidas en los artículos publicados en esta edición. La línea editorial de esta publicación respetará las diversas corrientes de opinión de todos sus colaboradores, dentro del marco legal vigente.*

# Diplomado de Confiabilidad 2024

Fecha de inicio

**05**  
**MARZO**

32 semanas - 160 horas académicas en línea en vivo

Solicitud de información

(+52) 993 287 2551 | ventas@predictiva21.com

## CONTENIDO

- Introducción a la Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad
- Taxonomía de acuerdo con ISO 14224
- Análisis de Criticidad de Equipos
- Introducción Técnicas de Monitoreo Basado en Condición (CBM)
- Análisis Estadístico y Vida de Equipos con Weibull
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
- Planes de Inspección Basado en Riesgo
- Gestión de Riesgos
- Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (RAM)
- Análisis Causa Raíz
- Fundamentos de Evaluaciones Económicas en Mantenimiento y Confiabilidad
- Estudios de Optimización Costo-Riesgo-Beneficio, Costos en Ciclo de Vida, Vida Útil Remanente y Obsolescencia
- Gestión Óptima de Inventario de Repuestos
- Análisis de Mantenibilidad de Equipos
- Indicadores para Confiabilidad
- Confiabilidad Humana

## INSTRUCTORES



Elimar Rojas



José Contreras



Carlos Villegas



Joaquín Santos



Tibaldo Díaz



Enrique González

## Empresas participantes en 2023



# Aceite, lubricación y más: La trayectoria de Jorge Alarcón en Confiabilidad

Entrevista por Lisset Chávez

**Con más de 20 años de experiencia en el campo industrial, ¿cómo has visto evolucionar las estrategias de Confiabilidad y Mantenimiento Predictivo a lo largo de los años?**

*Jorge Alarcón* - Si bien hay una consolidación cada vez más fuerte de las estrategias de mantenimiento, la tendencia de los últimos años ha estado marcada por el impulso a los sensores, el análisis de grandes conjuntos de datos, el IoT, Machine Learning, la AI y el enfoque holístico de la confiabilidad.

Por otro lado, es interesante ver la adopción de estos nuevos paradigmas. En muchos casos he visto como algunas de estas estrategias destierran a otras que aún no alcanzado un grado de madurez ni estabilidad en planta. Es como una ola que hecha por tierra a la anterior y no deja rastro alguno, pocas empresas tienen un plan a largo plazo en el que permitan una madurez tras la adopción de una estrategia o herramienta y dejar que rinda frutos, la mayoría van picando entre una y otra.

El caso mas claro es el de las industrias que quieren implantar modelos analíticos en base a años de datos de mantenimiento que tienen almacenados. Una vez que empiezan se dan cuenta del trabajo que esto requiere y buscan en la Inteligencia Artificial una solución, como si de una barita mágica se tratase. Lo mismo ocurre con los sensores, creen que instalando alguno en una maquina se solucionan los problemas o se reducen los costos.

En los casos de éxito se ve claramente una evolución, que en el sentido estricto de la palabra es una transición paulatina de un estado inicial a uno final que debería ser mejor. Esa transición conlleva tiempo, esfuerzo, dedicación, inversión y conocimiento; son pocas las industrias que gozan de este conjunto de características.



**Jorge Alarcón**

Gerente de Confiabilidad en Monitoreo de Condiciones del Petróleo, Ingeniero de Confiabilidad, Investigador y Consultor en Monitoreo de Condiciones y Mantenimiento Predictivo.

“*La consolidación en estrategias de Mantenimiento, con IoT y Machine Learning, choca con la tendencia de adopción rápida, descartando estrategias no maduras sin permitir una evolución gradual [...]”*

## Como experto en monitoreo de condición del lubricante, ¿puedes hablarnos sobre los desafíos más comunes que enfrentan las plantas industriales en cuanto a Confiabilidad y cómo abordan esos desafíos?

*Jorge Alarcón* - El desafío más grande que tienen los usuarios del monitoreo de condición del lubricante es determinar qué conjunto de pruebas van a determinar el modo de fallo del lubricante y recibir una interpretación coherente y precisa. Es importante entender que la gran mayoría de laboratorios comerciales únicamente analizan el lubricante y emiten un informe. Apenas un par de laboratorios en el mundo ofrecen un servicio post informe, con un seguimiento exhaustivo y desde el punto de vista de la confiabilidad del equipo.

El lubricante, sea grasa o aceite, no termina de ser entendido a nivel industrial. El lubricante es un activo que sufre cambios fisicoquímicos y cuyo efecto en muchos casos no solo es nocivo para el propio lubricante sino también para el componente lubricado.

Otro gran desafío es entender este concepto y el impacto que tiene en el modo de fallo de cada lubricante. El análisis de aceite es una herramienta de amplio uso y que tiene una trayectoria muy larga, pero apenas un puñado de usuarios conocen cómo falla el lubricante que tienen en servicio.

Por otro lado, un alto porcentaje de las industrias que utilizan el análisis de aceite como herramienta del PdM seleccionan las pruebas de laboratorio en base a precio, la han copiado de una licitación que por desgracia esta colgada en internet o han escuchado a un "gurú" del análisis de aceite que nunca ha trabajado en un laboratorio.

La parte más crítica de mi trabajo consiste en hacer análisis FMEA, Arboles de Fallo y ciclo de vida del lubricante, donde cada industria y planta tiene unas variables diferentes. Debido a los acontecimientos globales a partir de la pandemia, productos como los lubricantes han visto afectado su cadena de suministro. Esto ha ocasionado que la industria tenga que recurrir a dilatar el cambio del lubricante, mezclar productos sin tomar en cuenta la compatibilidad y efectos en la maquinaria. Por estas razones, los análisis que realizo son cada vez más críticos y no veo que esta tendencia vaya a decrecer.

## ¿Cuáles son tus responsabilidades clave como Gerente de Confiabilidad en Polaris y cuál es tu contribución principal al equipo?

*Jorge Alarcón* - Tengo una relación directa con el equipo de confiabilidad de nuestros clientes con los que colaboro en temas de ciclo de vida, modos de fallo, identificación de problemas, pronóstico de situación, mantenimiento

**“En un estudio [...] se evidencia que el tiempo que demanda la industria de un experto en lubricación varía entre 18 y 67%...”**

prescriptivo del lubricante e impacto en los ciclos de producción. Mi función es como un staff al departamento de confiabilidad o mantenimiento ya que no todas las plantas cuentan con un experto en lubricación y en pocos casos hace falta uno a tiempo completo.

En un estudio que terminé el 2022 se evidencia que el tiempo que demanda la industria de un experto en lubricación varía entre 18 y 67%, según el tipo de industria. Esto da lugar a poder desplegar no solo conocimiento sino también diversas herramientas aplicadas a este campo, desde asesoramiento técnico, toma de decisiones, entrenamiento al equipo de predictivo, etc.

Una parte importante de mis responsabilidades comienza cuando el informe de análisis de aceite está terminado. A partir de ahí mi función es convertir esos datos en acciones de mejora y toma de decisiones. En este sentido, he encontrado mucho valor en la estadística aplicada, el análisis de grandes volúmenes de datos y los fundamentos de análisis de aceite & lubricación. Esta combinación me ha permitido ver aspectos que por lo general suelen estar ocultos sino son tratados adecuadamente.

## ¿Cuál consideras que es el papel crucial de la analítica de datos y la inteligencia de negocios en el Mantenimiento Predictivo, y cómo los aplicas en tu trabajo diario?

*Jorge Alarcón* - Si bien la Inteligencia de Negocios (Business Intelligence o BI, por sus siglas en inglés) se ha aplicado mucho más al área comercial y financiera, el PdM no tiene porque quedar fuera de su alcance. El BI se refiere al conjunto de tecnologías, procesos y herramientas que ayudan a las empresas a recopilar, analizar y presentar información relevante para la toma de decisiones estratégicas y operativas. El objetivo principal del BI es transformar datos brutos en información significativa y procesable para mejorar la eficiencia y la efectividad de una organización. Este objetivo se puede aplicar perfectamente al PdM.

En mi caso, trabajo no solamente con datos de PdM, sino que cruzo esta información con datos relevantes de operación. Por ejemplo, si hablamos de un equipo que genera energía incorporo información de la potencia generada, consumo energético, temperaturas y variables de mantenimiento. Este conjunto de datos permite visualizar de una manera mucho mas amplia lo que ocurre con un activo, hacia donde se dirige y cuáles deberían ser las políticas aplicables a la gestión del activo.

### **Has desarrollado herramientas de análisis de datos aplicadas al análisis de aceite. ¿Podrías proporcionar ejemplos de cómo estas herramientas han mejorado la toma de decisiones en el monitoreo de condiciones de aceite?**

*Jorge Alarcón* - Si, a lo largo de estos últimos años he desarrollado varias herramientas para la mejora de toma de decisiones para diversas aplicaciones industriales. Una de las preguntas mas frecuentes cuando hablamos de lubricantes en servicio es ¿cuánto va a durar el lubricante en estas condiciones? Sobre todo, en el sector de generación de energía, esta es una pregunta clave, ya que la disponibilidad de toda la planta depende muchas veces de esto. Algunas de las herramientas que tengo permiten determinar la condición del lubricante en función de su ciclo de vida, de esta manera es posible tomar una decisión a corto y medio plazo.

Otra área en la que he trabajado en los últimos años es la pérdida de propiedades de rodamientos de aerogeneradores. Un rodamiento no necesariamente falla catastrófica-mente, pero va perdiendo sus características de diseño, en algunas ocasiones de manera acelerada. En este sentido, el análisis de la grasa en servicio brinda mucha información. Analizando esta situación diseñé una herramienta para la determinación de un grado de severidad individual en un conjunto de rodamientos, de esta manera es posible centrarse en aquellos que requieren atención con mayor prioridad que el resto. Un parque eólico puede tener unos cientos de rodamientos y no se puede atender a todos al mismo tiempo.

### **¿Cuál es tu enfoque para convertir los problemas identificados por los clientes industriales en oportunidades beneficiosas para ambas partes?**

*Jorge Alarcón* - He trabajado con algunas herramientas y metodologías cuyo objetivo va desde identificar el problema real, encontrar la solución hasta convertirlo en una oportunidad. Sin embargo, me quedo con una que me ha servido en muchos ámbitos, no solo el laboral. Utilizo el proceso cognitivo de Bloom. Este se compone de seis partes: conocimiento, comprensión, aplicación, análisis, síntesis y evaluación.

Un proceso cognitivo son los pasos que realiza el cerebro a la hora de procesar cierta información y en muchos casos representa una forma ordenada del análisis de situación previo a una toma de decisión.

Los seis pasos previos son importantes. Sin embargo, a mi parecer sin el primero, el conocimiento, es muy difícil dar solución a ciertos problemas, en especial en un ámbito tan técnico como el mantenimiento. A su vez, el conocimiento, se compone de experiencia y fracasos. Tienes que haberte equivocado para alcanzar cierto grado de experiencia y esto te permite afrontar un problema hasta encontrar la solución adecuada.

## **“Actúa localmente, pero piensa a nivel global”**

**Jorge Alarcón**

Gerente de Confiabilidad en Monitoreo de Condiciones del Petróleo, Ingeniero de Confiabilidad, Investigador y Consultor en Monitoreo de Condiciones y Mantenimiento Predictivo.



### **Has trabajado en diferentes regiones, como EMEA, Norte y Sud América. ¿Cómo gestionas las diferencias regionales en los mercados de condiciones de aceite y Mantenimiento Predictivo?**

*Jorge Alarcón* - Al gestionar diferencias regionales, es fundamental mantenerse actualizado sobre las tendencias y cambios en cada mercado. La adaptabilidad y la apertura para entender cada región son clave para el éxito en la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo a nivel global. No todas las regiones o países están en la misma línea y las tendencias afectan directamente a lo que el cliente busca. Hay una frase de marketing que dice “actúa localmente, pero piensa a nivel global”. En este sentido es necesario tomar en cuenta al menos los siguientes aspectos:

- » Conocimiento del mercado local
- » Adaptación a las normativas locales
- » Entendimiento de la cultura empresarial
- » Idioma y comunicación
- » Identificación de socios locales
- » Tecnologías disponibles
- » Evaluación de riesgos y costos
- » Flexibilidad de la estrategia

## En tu papel como instructor, has desarrollado y liderado varios cursos. ¿Cómo adaptas tu enfoque de enseñanza para satisfacer las necesidades específicas de los participantes y garantizar una comprensión sólida de los conceptos impartidos?

*Jorge Alarcón* - Suelo comenzar los cursos con una conversación con los asistentes. El objetivo principal es conocer porqué el asistente está en el curso. En otras palabras, cuál es la razón que persigue una persona que está realizando una inversión económica o de tiempo. Lógicamente, las respuestas varían bastante por lo que es necesario saber adecuarse a los objetivos individuales, pero sin perder de vista los objetivos del curso. Ahí entra en juego la experiencia de casos reales en los que tuve la oportunidad de trabajar; saber adecuar esos casos a la realidad de otras personas crea un vínculo y a partir de este puedes generar interés, confianza y credibilidad.

Transmitir conocimiento es un arte que no se alcanza en un corto plazo, necesitas contar con mucha experiencia, paciencia, saber escuchar y sobre todo haber sido un discípulo.

Tuve la fortuna de oír, cada semana durante veinte años, a uno de los mejores maestros en comunicación. Desde la preparación previas de sus charlas hasta cada palabra estaban estructuradas específicamente para que el oyente entienda el concepto central de lo que quería transmitir. Creo que hasta el día de hoy intento imitar lo aprendido, lógicamente aplicándolo al campo de mi competencia.

## Como líder en el desarrollo de programas de lubricación, ¿puedes proporcionar un ejemplo de un proyecto en el que hayas enfrentado desafíos significativos y cómo los superaste para lograr el éxito?

*Jorge Alarcón* - Las situaciones más complejas se dan sobre todo con clientes globales que tienen operaciones en diversos países. En estos casos el cliente intenta unificar criterios para que la resolución de problemas pueda estandarizarse; es decir, si el resultado de un análisis está por encima del límite se toma la decisión X. Si bien las condiciones desde el punto de vista de mantenimiento varían de un país a otro, el factor más crítico son las personas. En estas situaciones muchas veces me toco hacer de psicólogo más que de ingeniero.

En un caso en concreto teníamos a un director de mantenimiento de un país que se oponía firmemente a realizar unos cambios a su proceso interno. La conversación estaba trunca y no había manera de solucionarla. Por ese tiempo estaba leyendo un libro con recopilaciones de notas de William James, padre de la psicología americana, me brillaron los ojos cuando encontré un diagrama sobre psicología cognitiva que podía servir para desatar el enredo que teníamos con el cliente global. Afortunadamente, los aportes de James sirvieron de mucho y se solucionó el tema. Ahora hay una tendencia de incluir el factor humano dentro del mantenimiento para la resolución de problemas y es probablemente el eslabón más débil de toda esta cadena. Un técnico de mantenimiento me dijo una vez, las máquinas fallan cuando nosotros queremos que fallen. Una frase que da mucho para pensar.

## La tecnología está en constante evolución. ¿Cómo te mantienes actualizado sobre las últimas tendencias y avances en el monitoreo de condiciones de aceite y el Mantenimiento Predictivo?

*Jorge Alarcón* - El internet es actualmente la principal fuente de acceso a conocimiento en nuestros días. Ya sea una plataforma de aprendizaje, un webinar o una conferencia virtual; todas estas son fuentes potenciales de conocimiento. Sin embargo, es necesario hacer un zafra de la información; es decir, separar el trigo de la cizaña.

En el ámbito del análisis de lubricantes abunda la cizaña, personas que como mucho han visitado un laboratorio de análisis de lubricantes en alguna ocasión y ofrecen sus servicios como instructores, escriben artículos, hacen apariciones en congresos y su conocimiento se basa en una presentación de PowerPoint que han copiado. En psicología esto se conoce como el efecto Dunning-Kruger, personas con conocimiento limitado que se consideran gurús en un área en concreto.

El principal reto de nuestros días ya sea en el campo del PdM u otro similar, es identificar algo realmente valioso, que cuente con una base teórica sólida, mantenga un perfil poco comercial y tenga casos debidamente analizados. Las mejores fuentes de este tipo son las tesis doctorales, las publicaciones de investigaciones en sitios de divulgación reconocidos y trabajos específicos en centros de investigación y desarrollo.

La actualización en cualquier campo requiere de una inversión, tanto económica como de tiempo y es algo a lo que mucha gente renuncia por diversas razones. Pero, ante todo se requiere un grado de humildad, caso contrario caes en los lazos del efecto Dunning-Kruger muy fácilmente. Se necesita alrededor de diez mil horas de entrenamiento en un tema y a partir de esto una persona puede considerarse que comienza a dominar el tema.

## ¿Cuál es tu visión para el futuro de las tecnologías de Mantenimiento Predictivo y cómo anticipas que evolucionarán en los próximos años?

*Jorge Alarcón* - Llevamos unos cuantos años en un estancamiento enmascarado de las herramientas del PdM. A pesar de que en 2011 se dio el pistoletazo de salida al i4.0, lo único que ha sucedido con estas herramientas es que se ha añadido un slogan comercial. Big Data, Ai, Machine Learning y un largo etcétera. Las tecnologías siguen siendo las mismas, quizá con mejoras en cuanto a los procesos, pero poco destacables. En este momento hay un par de apuestas que están teniendo bastante impulso y que probablemente lleven a otro nivel de conocimiento en el área del mantenimiento.

El primero son los sensores embebidos, cuya función principal es capturar datos específicos para permitir que el sistema tome decisiones o realice ajustes en tiempo real. La integración de estos sensores permite una mayor automatización, monitorización y capacidad de respuesta a cambios en el entorno o en el propio sistema. Además, contribuyen a la creación de sistemas más inteligentes y conectados dentro del marco del Internet de las Cosas (IoT).

La otra gran apuesta es la conectividad. Hasta hace poco cablear una máquina para sensorizarla era un desafío a todo nivel, desde el técnico hasta el tema de seguridad; en zonas ATEX, por ejemplo, esto era una misión imposible.

Las redes inalámbricas de nueva generación son capaces de transmitir grandes volúmenes de datos como voz, texto, imágenes y video. Esto está permitiendo el análisis casi en tiempo real mucha información, nueva y almacenada.

Un indicador clave para conocer la evolución de estas áreas son los fondos gubernamentales para la mejora de la tecnología. Las inversiones europeas en I+D, por ejemplo, en el área de sensores embebidos y conectividad industrial ha venido triplicándose cada año desde el 2018. Probablemente los resultados no sean visibles, al menos para el usuario industrial, hasta la próxima década. Sin embargo, este es probablemente el indicador más fidedigno de a donde se dirigen los próximos avances tecnológicos a nivel industrial.

## Trabajando en diferentes partes del mundo, ¿has aprendido alguna expresión o frase en algún idioma local que te haya resultado divertida o útil en situaciones inesperadas?

*Jorge Alarcón* - Tuve que trabajar un par de semanas en Kirguistán haciendo una auditoria al programa de lubricación e impartiendo un curso en la misma área. Allí utilizan una frase en kirguís que al oído castellano sonaba como un trabalenguas, traducida quiere decir “aunque ahora no lo sé, con esfuerzo puedo aprenderlo”.

El curso de lubricación implicaba muchos conceptos nuevos y muchos de los asistentes nunca habían escuchado hablar si quiera de la lubricación o análisis de aceite. Fue así como en ese ambiente cada cinco minutos alguien decía esa célebre frase.

A la largo de los años me ha servido de mucho acordarme de ese viaje y de esa frase. Nos pasa en muchos ámbitos, no solo en el laboral y a pesar de que hoy no seas capaz de hacer algo si dedicas tiempo y esfuerzo quizá puedas llegar a aprenderlo.

# Incremente la confiabilidad de sus activos a través del análisis de fluidos industriales



**POLARIS**  
Laboratories

POLARIS Laboratories® es un laboratorio independiente de análisis de fluidos industriales entre los que podemos mencionar aceites, grasas, refrigerantes, diésel y elementos filtrantes.

Como resultado del análisis se generan comentarios y recomendaciones, las cuales ayudan a tomar decisiones correctivas de mantenimiento con el fin de reducir el tiempo de inactividad y mejorar la operación del activo.

## Industrias en atención



### **POLARIS Laboratories® Latinoamérica**

#### **Guatemala Ciudad**

(t) +502 2462 6997, 8

(Whatsapp) +502 3093 6466

[servicela@eoilreports.com](mailto:servicela@eoilreports.com)

#### **Bogotá, Colombia**

(m) +57 316 472 9529

(Whatsapp) +57 320 345 0558

[servicela@eoilreports.com](mailto:servicela@eoilreports.com)

#### **México**

(t) +1 (317) 808 3750

(Whatsapp) +502 3093 6466

[servicela@eoilreports.com](mailto:servicela@eoilreports.com)

Centro de Recolección de muestras

[Ver más sobre POLARIS Laboratories®](#)

# Evite fallas en el camino implementando el análisis de fluidos en su flota

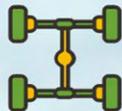
El análisis de fluidos puede ofrecer a su flota la ventaja competitiva que exige la industria del transporte actual. No espere a tener fallas en el camino o altos costos de operación cuando la detección de anomalías en el fluido, contaminación o desgaste temprano cuesta tan poco y protege tanto.

Con POLARIS Laboratories®, es fácil. En la mayoría de los casos, el reporte de resultados está disponible al final del siguiente día hábil (después de recibir la muestra en el laboratorio), lo que permite tomar decisiones rápidamente y evitar fallas antes de que sea demasiado tarde.

El análisis periódico de fluidos permite monitorear la condición del equipo, la salud del fluido e identificar contaminación presente, con el objetivo de evitar fallas prematuras y mantenimiento no planificado en los siguientes componentes:



Motores Diésel



Diferenciales



Transmisiones



Combustible Diésel



Refrigerantes



**POLARIS  
Laboratories**

## POLARIS Laboratorios® Latinoamérica

Guatemala Ciudad  
(t) +502 2462 6997, 8  
(Whatsapp) +502 3093 6466  
servicela@eoilreports.com

Bogotá, Colombia  
(m) +57 316 472 9529  
(Whatsapp) +57 320 345 0558  
servicela@eoilreports.com

México  
(t) +1 (317) 808 3750  
(Whatsapp) +502 3093 6466  
servicela@eoilreports.com  
Centro de Recolección de muestras

Ver más sobre POLARIS Laboratories®

# Factores claves para la selección de una bomba centrífuga

Columna por:  
Grupo AFP - Advanced  
Failure Prognosis for  
Engineering Applications



Ernesto  
Primera



Javier Basanta  
García



Blas Galván  
González



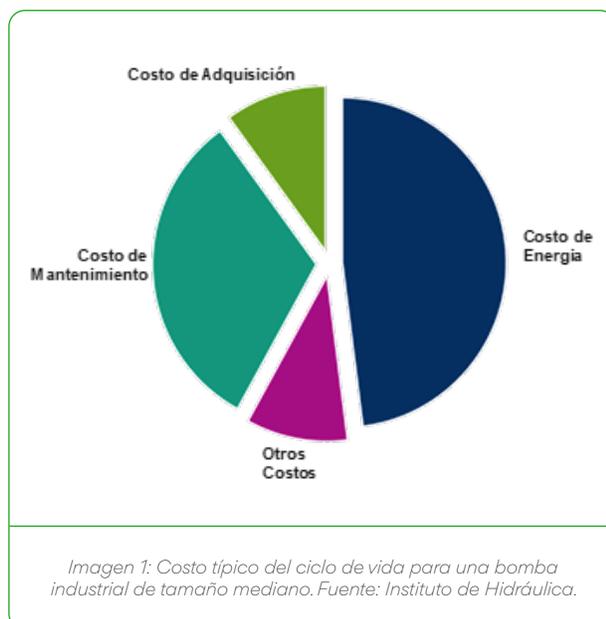
Álvaro Rodríguez  
Prieto



Paul  
Bosauder

## Introducción.

Seleccionar una bomba centrífuga entre las innumerables opciones disponibles puede ser desalentador, pero la decisión debe tomarse. Diversos factores tales como el flujo requerido, la altura diferencial, las condiciones de succión, etc., deben sopesarse frente a los costos de capital y el costo de la energía para la bomba considerada. Para determinar la bomba correcta, debe considerarse el costo total de propiedad, que incluye el costo de capital, los costos operativos y el costo de mantenimiento, tal como se muestra en la imagen número 1.



Por supuesto, la imagen 1 muestra de forma general la distribución de los costos de ciclo de vida, si queremos detallar cada uno de estos costos tendríamos que realizar una subclasificación de ellos, para esto mostramos en las imágenes 2 y 3, un extracto de un software desarrollado para la aplicación de la metodología de análisis de costos de ciclo de vida para selección de alternativas, en la cual podrán observar mayores detalles de los costos.

Sin embargo, los criterios de selección ofrecidos en este artículo se enfocan principalmente en los parámetros de diseño hidráulico tales como velocidad específica ( $N_s$ ), velocidad específica de succión ( $N_{ss}$ ), altura neta positiva de succión (NPSH) y su margen, pendiente de elevación de la altura (HRTSO), y eficiencia de la bomba; algunas consideraciones mecánicas también son tratadas.



Imagen 2: Costos de Operación y Mantenimiento. Fuente: Machinery & Reliability Institute.

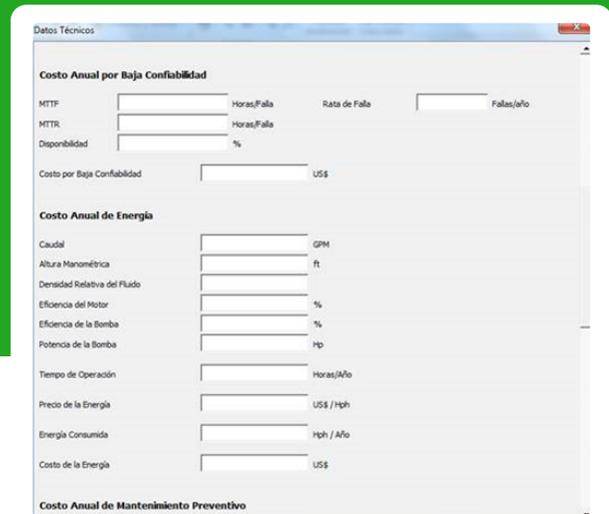


Imagen 3: Costos de Fiabilidad y Energía Fuente: Machinery & Reliability Institute.

## Desarrollo.

La geometría óptima de los rotores de la bomba está influenciada principalmente por la velocidad específica  $N_s$ , Este parámetro es uno de los grupos adimensionales que surge de un análisis de la ecuación física completa para el rendimiento de la bomba. En esta ecuación, las cantidades de rendimiento como la eficiencia hidráulica y la altura  $H$  (o solo  $H$ ) se establecen para funciones del caudal volumétrico  $Q$ , velocidad rotativa  $N$  o velocidad angular, diámetro del rotor  $D$  o radio  $r$ , viscosidad, NPSHA y algunas cantidades que tienen menor influencia. El límite más bajo efectivamente es  $\Omega_s = 0.2$  ( $N_s = 500$  Aprox.) en donde aún se considera un impulsor, para valores más bajos lo típico es encontrar una rueda tipo “Barske” o disco de arrastre. Al mismo tiempo las mayores eficiencias son alcanzadas en bombas con grandes capacidades en el rango de  $N_s$  entre 2250 y 3000.

La velocidad específica de succión ( $N_{ss}$ ), como la velocidad específica del impulsor ( $N_s$ ), es un parámetro o índice de diseño hidráulico, excepto que aquí es esencialmente un índice descriptivo de las capacidades de succión y características de un impulsor de primera etapa dado. La velocidad específica de aspiración puede variar entre 3000 y 20000 según el diseño del impulsor, la velocidad, la capacidad, la naturaleza del líquido y las condiciones de servicio y el grado de cavitación; a partir de la experiencia, se han encontrado valores razonables de  $N_s$  para fines de estimación en el rango de 7000 a 12000 para agua, dependiendo de la velocidad de la bomba y del tipo de servicio bajo el cual opera la bomba. Las bombas que manipulan hidrocarburos pueden funcionar satisfactoriamente con valores de  $N_s$  hasta 15000 o más. Bombas con valores de  $N_s$  mayores a 11000 deben ser evaluadas y seleccionadas con mucho cuidado.

La eficiencia de la bomba para una condición dada nos da una indicación del diseño hidráulico y mecánico. La importancia de la eficiencia en la selección de la bomba es debido al impacto directo en el costo de la energía total durante la vida de la máquina, así como también la fiabilidad y el costo de mantenimiento. Las máximas eficiencias alcanzables han sido extensamente estudiadas y existen gráficos basados en pruebas reales disponibles como buena referencia para evaluar los diseños. Como se muestra en la Imagen 4.

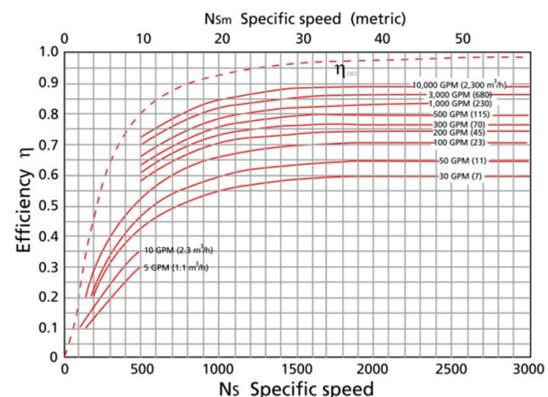


Imagen 4: Grafica de velocidad específica ( $N_s$ ) vs. Eficiencia. Fuente: Instituto de Hidráulica.

Por otro lado, la eficiencia en el punto nominal de operación puede diferir en gran escala con respecto al punto de mejor eficiencia de la bomba (BEP), y las repercusiones sobre este modo de operación de manera continua son conocidas, las mejores prácticas indican que el punto nominal de operación se debe encontrar dentro rango preferido entre 80% y 110% del punto de mejor eficiencia (BEP). Así mismo es reconocido por las normas API, HI, entre otras, tal como se muestra en la Imagen 5.

En lo que se refiere curvas “estables” e “inestable”, y a la preferencia por curvas de altura vs. caudal “estables” (con un continuo aumento de la altura hasta el punto de cero flujos) en general y como requisito para el funcionamiento paralelo. Se establece que, para operación en paralelo, un aumento mínimo del 10% del flujo nominal (no flujo normal) para cerrar o flujo cero es especificado. Se nota que muchas practicas especifican un aumento del 5% para la operación con una sola bomba y un mínimo de 10% para bombas en paralelo. Sin embargo, esta recomendación generaliza estos valores como regla general, la elaboración de la curva de sistema y el estudio de la interacción con la bomba podría arrojar resultados diferentes y hacer posible una operación exitosa por fuera de estos valores recomendados.

No menos importante es el análisis del margen entre “Altura Neta Positiva de Aspiración” disponible (NPSHa), siendo esta una característica del sistema, el producto bombeado, su presión de vapor y temperatura; y la “Altura Neta Positiva de Aspiración” requerida (NPSHr) que a su vez es inherente al diseño del impulsor y más específicamente al ojo de la succión del impulsor. Existen varios criterios sobre el NPSHr tales como 3%, 1%, 0% o incipiente, el criterio más ampliamente aceptado es 3% de caída de la altura. De la misma forma existen recomendaciones generales acerca del margen entre el NPSHa y NPSHr desde 10% sobre el NPSHr o no menos de 5 pies de altura sobre el NPSHr para agua; estos criterios son diferentes para hidrocarburos, productos criogénicos entre otros.

En cuanto al tamaño ineficiente del impulsor. En algunas especificaciones mencionan que el diámetro del impulsor no será mayor de 90 o 95 % del que puede aceptar la bomba, a fin de tener una reserva de carga. Si esta reserva se utiliza sólo un 5 % del tiempo, esas bombas funcionarán casi siempre a menos de su eficiencia.

En adición a estos conceptos hidráulicos, es de igual importancia observar algunos elementos mecánicos del diseño, su relación con el desempeño de la bomba, la confiabilidad y el costo inicial.

Es importante saber distinguir entre la mejor eficiencia alcanzable y la eficiencia sostenible. La eficiencia alcanzable no solo depende de la velocidad específica ( $N_s$ ) también depende de factores tales como el diseño del impulsor, las

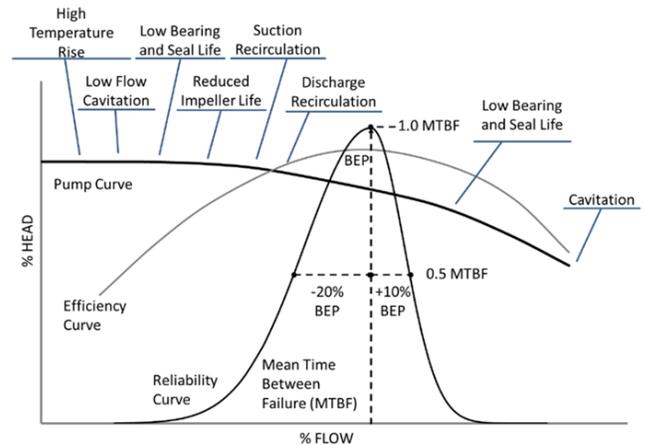


Imagen 5: Curva de una Bomba Centrífuga, Eficiencia y Confiabilidad.  
Fuente: Instituto de Hidráulica.

dimensiones relativas de las holguras internas, la rigidez relativa del diseño del eje (Particularmente cierto para bombas multietapas).

La eficiencia en el diseño de la bomba generalmente se puede mejorar utilizando altos coeficientes de altura, reduciendo las holguras internas, y reduciendo el diámetro del eje motriz este último también aporta al desempeño de la succión. La rotodinámica de la bomba es la segunda tarea del diseñador, siendo este tema crítico de incluir en la selección de las máquinas, y en algunos casos es recomendable realizar un análisis rotodinámico.

El análisis rotodinámico estándar se compone de cuatro partes fundamentales:

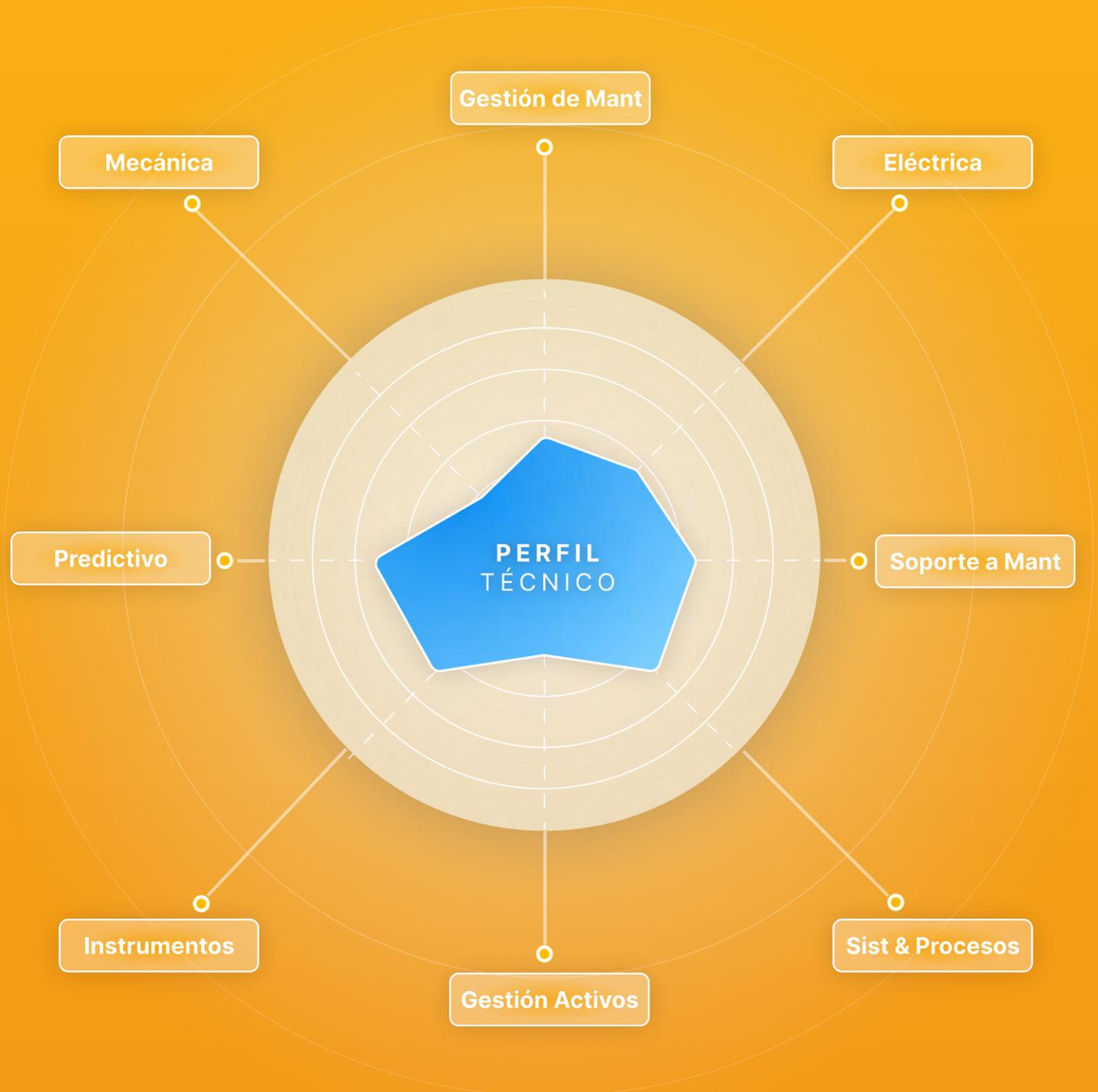
- Modelado del rotor y sistemas de cojinetes.
- Análisis de velocidad crítica no amortiguado.
- Análisis de respuesta de desequilibrio amortiguado.
- Análisis de estabilidad de la dinámica del rotor.

En un diseño de bomba centrífuga, el diámetro del eje y el tamaño del cojinete pueden verse afectados por la deflexión permitida según lo determinado por la rigidez del eje, el peso del impulsor, las fuerzas radiales y torque a transmitir.

Por tanto, es recomendable estudiar con atención durante el proceso de selección las siguientes características del diseño del rotor y estator-colector:

- Rigidez del eje (diseño flexible versus rígido)
- Tipo de colector (tipo Voluta o difusor)
- La distancia entre apoyos-cojinetes
- Tipo de cojinetes
- Velocidad en la punta del alabe
- Tipo de sellos anulares
- Potencia por etapa
- Especial atención debe dar a bombas de alta energía.

# Los 8 principales Pilares técnicos de Mantenimiento



# Listado de cursos

## Gestión de Mantenimiento

- » Administración del Mantenimiento
- » Autoevaluación de Mantenimiento
- » Construcción de Estrategias para Optimizar una Gerencia de Mantenimiento
- » Estándares de Planeamiento y Control de Mantenimiento
- » Estrategias de Mantenimiento
- » Gestión de Costos de Mantenimiento
- » Gestión de Mantenimiento
- » Gestión de Mantenimiento en SAP
- » Gestión de Paradas de Mantenimiento
- » Gestión del Mantenimiento Avanzado en SAP
- » Mantenimiento Productivo Total (TPM)
- » Planificación, Programación y Costos de Mantenimiento
- » Proceso de Gestión de Mantenimiento
- » Venta del Valor Generado en la Gestión de Mantenimiento
- » Gestión de talento organizacional y Equipo de Excelencia (BS-EN 15628, ISO 10015)
- » KPI's

## Mantenimiento Predictivo

- » Gestión normalizada de mantenimiento basado en la condición según ISO 17359
- » Técnicas de Mantenimiento Basado en Condición (CBM)
- » Análisis de lubricantes: Fundamentos
- » Análisis de lubricantes: Informes
- » Análisis de Vibraciones CAT 1
- » Análisis de Vibraciones CAT 2
- » Termografía industrial
- » Análisis de Ultrasonido

## Soporte a Mantenimiento

- » Análisis Solución de Problemas y Toma de Decisiones
- » Gestión y Optimización de Inventarios para Mantenimiento
- » Mejora y Optimización de los Procesos Productivos
- » Modelos y Estrategias de Gestión de Inventarios

## Gestión de Activos

- » Mantenimiento y Gestión de Activos

## Mecánica

- » Bombas Reciprocantes
- » Bombas Rotativas
- » Fundamentos Técnicos de Tribología y Lubricación
- » Motocompresor Reciprocante: Funcionamiento,
- » Operación y Mantenimiento
- » Motores Eléctricos: Fundamentos
- » Bombas centrífugas: Mantenimiento y Fallas
- » Rodamientos Mecánicos
- » Sellos mecánicos
- » Turbinas a gas: Fundamentos
- » Turbinas a gas: Mantenimiento y Fallas
- » Balanceo de rotores industriales
- » Compresores centrífugos: Mantenimiento y fallas
- » Motores Eléctricos: Mantenimiento y Fallas
- » Alineación de ejes de maquinaria rotativa
- » Motores de combustión interna: Fundamentos
- » Motores diesel: Fundamentos

## Eléctrica

- » Centro de Control de Motores - CCM
- » Mediciones eléctricas
- » Sistema de puesta a tierra
- » Variadores de frecuencia
- » Baterías eléctricas
- » Protección y control de circuitos de alta potencia
- » Transformadores Eléctricos

## Instrumentación

- » Instrumentos de Medición de Flujo
- » Instrumentos de Medición de Nivel
- » Instrumentos de Presión
- » Instrumentos de Temperatura
- » Válvulas de Control
- » Válvulas PSV

## Sistemas y procesos

- » Sistemas de bombeo
- » Operación de Plantas Industriales y Energéticas
- » Procesos de Refinación en la Industria de Petróleo
- » Transición a la industria 4.0
- » Sistemas de control, sistemas hidráulicos, sistemas mecánicos, sistemas eléctricos, sistemas electrónicos, sistemas neumáticos

## Cursos adicionales

### Gestión de proyectos

- » Análisis Económico de Proyectos
- » AutoCAD para Gestión de Proyectos
- » Contabilidad financiera para ingenieros
- » Coordinación de Proyectos de Ingeniería
- » Fundamentos de Dirección de Proyectos
- » Proyectos: Gestión de Interfaces
- » Proyectos: Gestión de la Calidad
- » Proyectos: Gestión de las Comunicaciones
- » Proyectos: Gestión de los Costos
- » Proyectos: Gestión de los Interesados
- » Proyectos: Gestión de los Riesgos
- » Proyectos: Gestión del Alcance
- » Proyectos: Gestión del Cronograma
- » Herramientas de Planeamiento
- » Proyectos: Integración en la Dirección

### HSE

- » LOTO
- » Integridad
- » Planes de Inspección Basados en Riesgo (IBR)
- » Juntas bridadas
- » Fundamentos de Intercambiadores de calor de placa
- » Fundamentos de Intercambiadores de calor de tubo y carcasa
- » Fundamentos de torres de enfriamiento

### Confiability

- » Análisis Causa Raíz
- » Análisis de Confiability, Disponibilidad y Mantenibilidad (RAM)
- » Análisis de Criticidad de Equipos
- » Confiability Humana
- » Gestión de Riesgo
- » Introducción a la Confiability, Disponibilidad y Mantenibilidad
- » Mantenimiento Productivo Total (TPM)
- » Taxonomía de acuerdo a ISO 14224

## Solicitud de información

☎ (+52) 993 287 2551

✉ [ventas@predyc.com](mailto:ventas@predyc.com)

# HABLEMOS DE RAM



## Parte 2. Análisis de caso de éxito: Repotenciación de Vehículos Panhard de la Infantería de Marina Argentina

 Autor: CNIM (RE) Armando Eugenio Vittorangeli, ICOGAM.

**E**n el artículo “Hablemos de RAM” publicado en la Edición 46 de Predictiva21 se planteó el empleo del RAM y la soportabilidad desde la etapa de diseño de los sistemas, pero también durante la etapa de operación. Esto último surge cuando los activos necesitan recuperar su confiabilidad, cuando aparecen obsolescencias que dificultan y/o encarecen el Mantenimiento por la desaparición de repuestos o cuando se necesita mejorar su performance en base a las necesidades de la organización. Este tipo de trabajos, que pueden ser un overhaul o un upgrade, también son una oportunidad para eliminar problemas congénitos de diseño, eliminar obsolescencias futuras mejorando la mantenibilidad y de ser posible, incrementar la operabilidad, siempre teniendo en cuenta la soportabilidad que debe brindar el sistema.

Todo esto requiere diseño y planificación de detalle y en ese sentido, es saludable crear un proyecto de con enfoque predictivo. El PM-BOK7 indica que este enfoque es útil cuando los requisitos del proyecto y del producto pueden definirse, recopilarse y analizarse al comienzo del proyecto y cada fase del proyecto se realiza solo una vez y se centra en un tipo particular de trabajo.

En la figura 1 se puede ver cómo el proyecto predictivo se lleva a cabo en forma paralela

a la etapa de operación del ciclo de vida y cómo se rediseña y reconstruye el RAM y la soportabilidad para lograr, en definitiva, la disponibilidad deseada.

Recordemos también que las cuatro fases previstas en la “Guía del Departamento de Defensa de Estados Unidos para alcanzar el RAM” - DoD Guide for achieving Reliability, Availability, And Maintainability son:

- Comprender y documentar las necesidades y limitaciones de los usuarios;
- Diseño y rediseño para el RAM;
- Producir sistemas confiables y mantenibles;
- Supervisar el rendimiento sobre el terreno.

El caso a plantear es la repotenciación de los vehículos de combate Panhard de la Infantería de Marina (IM) de la Armada Argentina. (Ver fotografías)

Estos activos son de origen francés y han prestado y prestan servicio en varios países.

Entre 1982 y 1983 fueron incorporados a la Infantería de Marina Argentina en las versiones ERC 90 Lynx 6x6 y VCR TT / PC / AA / AT 4x4, siendo utilizados profusamente en actividades de adiestramiento y en operaciones reales, como UNFICYP en Chipre y MINUSTAH en Haití.



Figura 1.

Si bien son muy buenos vehículos con notables prestaciones operativas, presentaban problemas congénitos de confiabilidad y mantenibilidad, con repuestos de muy elevado costo y plazos de provisión muy largos. Además, por utilizar motores que requerían nafta de elevado octanaje y tener un alto consumo, su costo operativo era muy oneroso. Esto motivó que su empleo se fuese restringiendo en la medida que el presupuesto de defensa se achicaba, hasta quedar prácticamente fuera de uso en su mayoría.

En el año 2004, 12 vehículos fueron destacados Haití, integrando una Compañía de Infantería de Marina Mecanizada que integraba el Batallón Conjunto Argentino que ejecutaría, como parte de MINUSTAH, una operación de Peace Enforcement.

Si bien hubo una preparación previa al despliegue, los problemas congéni-

tos continuaban y a estos se sumaron una gran cantidad de averías en los neumáticos producto del mal estado de los caminos y el terreno en el cual se operaba. En 2005, siendo Jefe de Mantenimiento de la IM, recibí la orden de analizar la viabilidad de repotenciar estos vehículos y de ser viable, confeccionar un proyecto a ese efecto. Cabe señalarse que ya teníamos experiencia en este tipo de tareas, en virtud que estábamos ejecutando la remotorización los Vehículos Anfibios a Rueda LARC5 y estábamos iniciando la repotenciación de los Vehículos Anfibios a Oruga LVTP7.

Cabe señalarse que las 4 fases fueron supervisadas y aprobadas por la Dirección Técnica de la Armada Argentina y que por requerimiento del Ministerio de Defensa, el proyecto fue homologado por la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Buenos Aires.

## Entendiendo las necesidades

Si bien la Guía RAM del DoD apareció ese año, en los trabajos ya iniciados estábamos aplicando los lineamientos de los libros Ingeniería Logística e Ingeniería de Sistemas, ambos escritos por Benjamín Blanchard y editados en 1995 por ISDEFE, Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España, empresa adscripta al Ministerio de Defensa de España.

El primer paso fue, naturalmente, analizar la situación de los equipos y la “necesidad” de los mismos, o sea, entender qué necesitaban los usuarios y para qué. A tal efecto, el sistema se estudió en base a los componentes que intervienen en el equilibrio del sistema para alcanzar la disponibilidad. (Figura 2). De análisis de los atributos intrínsecos del vehículo surgieron las siguientes consideraciones:

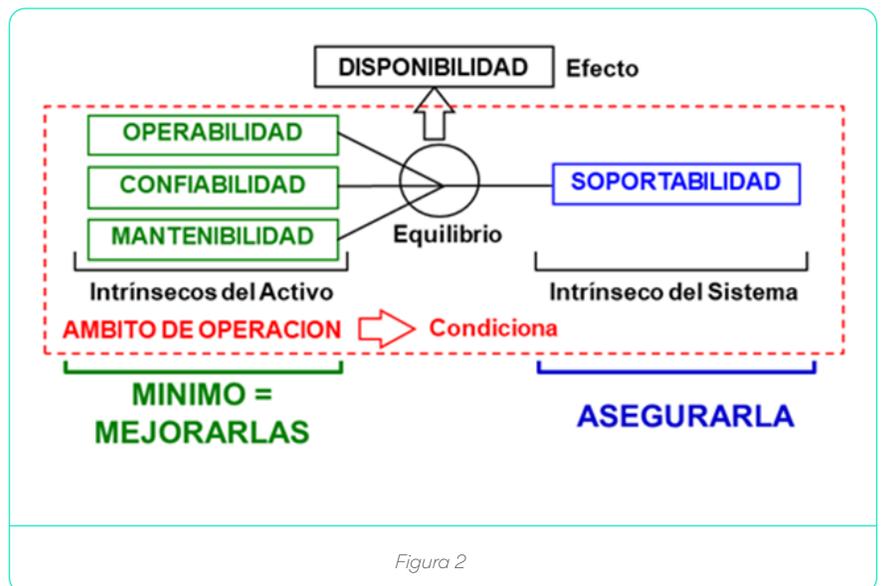


Figura 2

## 1. Confiabilidad.

Los principales problemas se encontraban en los siguientes sistemas:

- Tenía un motor naftero PRV, con una potencia máxima de 132,5 CV @ 5500 RPM y un par máximo 202 Nm @ 3500 RPM, desprogramado, con alto índice de fallas en el sistema de encendido, poco confiable, con un costo de repuestos muy alto, plazos de provisión inciertos y componentes con que no se proveían más. Las fallas más comunes eran en electrónica del motor, y si bien algunos componentes se reparaban en la IM había otros para los que no había solución.

- Sistemas periféricos desprogramados, repuestos importados de muy alto costo, con necesidad de reemplazo frecuente de partes. Por ejemplo los acumuladores de presión del sistema de frenos no funcionaban; los tanques de combustible estaban muy deteriorados y su interior se disolvía obturando sistemáticamente el sistema de combustible del motor y había un engranaje de la caja de velocidades, conocido como “cubo de garra” que sistemáticamente se rompía.

## 2. Mantenibilidad

- El vehículo no era complicado de mantener o reparar, teniendo las herramientas, manuales, los repuestos necesarios y el personal capacitado.
- El sistema de ruedas, que tenía un runflat interno, no era reparable en el teatro de operaciones.

## 3. Operabilidad.

- El vehículo no era complicado de operar, excepto por la caja de velocidades, que por la disposición de las marchas en la palanca era necesario contar un buen nivel de adiestramiento de los conductores y si no lo estaban, rompían la caja.

## 4. Soportabilidad.

- La IM posee vehículos taller (VCR AT) con las herramientas y manuales propios de los mismos y una dotación de repuestos que incluía, por ejemplo, un mecanismo de ruedas completo.
- La obtención de repuestos era muy complicada y había algunos que estaban desprogramados.
- Para reparar o cambiar un neumático se requería una máquina extremadamente grande y muy complicada de operar (ver foto). Además, los neumáticos no se podían adquirir en el país. Esto motivó que las ruedas averiadas en Haití debieran ser transportadas a la Base Naval Puerto Belgrano para poder ser reparadas.
- Se contaba con un buen taller de mantenimiento de tercer nivel.

## 5. Ámbito de operación y requerimientos operativos.

Si bien estos vehículos estaban operando en Haití, los requisitos operativos no variaron en virtud que estaba preparado de origen para ser utilizado en zonas tropicales. Se incrementó la exigencia en cuanto a horas de uso por año.

## Cómo lo diseñamos y planificamos

El segundo paso fue diseñar la repotenciación solucionando los problemas de confiabilidad y mantenibilidad, sabiendo que iba a ser muy difícil mejorar la operabilidad y que se debía asegurar la soportabilidad, tal como se indica en la Figura 1.

Para ello se utilizó el esquema de diseño basado en Ingeniería de Sistemas indicado en la Figura 3.

### 1. Necesidad

La necesidad fue analizada y definida en la primera etapa.

### 2. Viabilidad

La experiencia obtenida con la remotorización / repotenciación llevada a cabo en los otros vehículos indicaba que teníamos la capacidad para llevar a cabo el trabajo en el país.

Hubo varios ofrecimientos de distintas empresas, que serán analizadas al momento de tratar las Alternativas surgidas.

### 3. Requerimientos Operativos

Como se indicó anteriormente, no había variación en los mismos.

No se iban a hacer modificaciones ni reparaciones en los sistemas de armas y comunicaciones, debido a que esas tareas se llevarían a cabo en los talleres especializados de la Armada Argentina.

### 4. Concepto del Mantenimiento.

- Nivel de efectividad: Se fijó una Disponibilidad superior al 90 %, básicamente por requerimientos del Memorando de Entendimiento con Naciones Unidas.
- Niveles y Responsabilidades sobre el mantenimiento:
  - \* La única modificación al sistema doctrinario original fue que el 4º nivel se llevaría a cabo en la industria privada.
- Políticas de reparación:
  - \* En operaciones se operaría por cambio de subsistemas / componentes. Por ejemplo, un motor completo.
  - \* Los nuevos sistemas a instalar debían ser de origen nacional o de comercialización normal en el país.
  - \* Se debía crear y asegurar un sistema de provisión de repuestos nacionales en base a cooperación público privado.
  - \* Se debía buscar la uniformidad /compatibilidad logística con otros vehículos de la IM. (El motor, embrague, bombas de embrague y bomba de



Figura 3

freno, son los mismos que posee el Agrale Marrua, que estaba entrando en uso en la IM en ese momento).

### 5. Especificación de los trabajos.

Con todas estas premisas la IM desarrolló una alternativa de repotenciación, confeccionando al efecto la ingeniería básica del proyecto, incluyendo el estudio de aplicación del motor; el concepto para las modificaciones a la caja de velocidades para adaptarla al nuevo motor; el diseño del tanque de combustible y el diseño preliminar del sistema de ruedas.

A efectos de asegurar el RAM y la soportabilidad, las especificaciones indicaban que la empresa que ejecutase el trabajo debía cumplir lo siguiente:

- Trabajos a desarrollar:
  - \* Estaban divididos por procesos para asegurar el recorrido de todos los sistemas.
  - \* La IM entregaba la Ingeniería básica y parte de la de detalle.
  - \* La empresa antes de iniciar los trabajos, presentaba la Ingeniería de detalle para su aprobación. Luego iniciaba la ingeniería de producción y los trabajos.
  - \* Había trabajos mandatorios: reemplazo del motor por un MWM 4.07 TCA, diesel, 132,5 hp @ 3500 RPM / 300 Nm @ 2400 RPM, modificación de la caja de velocidades, indicándose el tipo de construcción y terminación requerido para el par cónico de entrada a la caja, colocación de un nuevo tanque de acero inoxidable con trampa y el reemplazo de las ruedas por otras de tipo desarmables.

- \* El cambio de las otras partes quedaba a criterio de la empresa.
  - **Performance a alcanzar.**
    - \* La variación aceptada, en menos, respecto a la original no debía superar el 5%.
  - **Características de los proveedores oferentes:**
    - \* Se fijó que los oferentes debía acreditar tener la capacidad Técnica para ejecutar la obra, la cual incluía contar con el personal, la Infraestructura, las herramientas y máquinas herramientas y la experiencia en tareas similares. De tercerizar algún trabajo, por ejemplo la construcción de los pares cónicos o las ruedas desarmables, tenían que contar con un precontrato con los ejecutores que debían acreditar contar con la capacidad para ejecutar ese trabajo. Por ejemplo, dado el tamaño de los engranajes del par cónico y la fuerza a transmitir, debían ser pares cónicos espiroidales tallados con sistema Oerlikon o similar con flanco de diente lapidado con calidad 7 según Norma DIN 3965.
    - \* Se requería flexibilidad para aceptar modificaciones menores durante la ejecución de los prototipos.
  - **Gestión de calidad.**
    - \* Control de obra por “calidad total”; con seguimiento documentado pieza por pieza.
    - \* Trazabilidad total de las partes fabricadas.
    - \* Inspectores permanentes de IM en planta para control y asesoramiento técnico.
  - **Gestión de repuestos.**
    - \* Se debían nacionalizar los repuestos, ya sea por fabricación o por existir en el mercado local.
    - \* Los componentes a diseñar y construir debían ser, en lo posible, “reparables”.
    - \* Debían entregar un manual de partes con las piezas a proveer con su número correspondiente.
  - **Plan de pruebas de recepción.**
    - \* Se fijó un protocolo de pruebas, que incluía pruebas por sistemas previo al montaje, pruebas de taller, pruebas en pista y pruebas de campo.
  - **Transferencia de tecnología:**
    - \* Debía haber una transferencia total de tecnología de fabricación de piezas no comerciales, entregando planos, ensayos por simulación y memoria constructiva, los cuales debían ser aprobados antes de ser construidos. Si los fabricaba un subcontratista, debía entregar la misma documentación. Si eran componentes comerciales indicar la denominación, marca y número de parte.
    - \* Debían entregar los manuales de uso y servicio de los nuevos componentes / sistemas.
    - \* Debían entregar los planes de mantenimiento de los nuevos componentes / sistemas. Para los componentes críticos, como el acople elástico motor travesa de auxiliares, se llevó a cabo análisis RCM para determinar su mantenimiento.
    - \* Los inspectores debían verificar la fabricación/ reparación, incluyendo visitas a subcontratistas.
  - **Garantías técnicas y financieras:**
    - \* Se requeriría una garantía técnica por la totalidad del vehículo de un año.
    - \* Se solicitarían las garantías financieras fijadas por la normativa vigente
    - \* Respecto al aseguramiento de la Soportabilidad.
  - **Personal:**
    - \* Se preveía una capacitación para mecánicos y electricistas de 3º nivel a través de pasantías semestrales rotativas en planta.
    - \* Se previeron cursos complementarios de actualización de operación y mantenimiento de 1º y 2º nivel a los usuarios, impartidos por los inspectores de IM en planta.
  - **Herramientas y equipos de mantenimiento:**
- Al recuperarse los vehículos taller se debía:
- \* Reponer / recuperar de herramientas y equipos de mantenimiento originales del vehículo.
  - \* Proveer herramientas y equipos para mantenimiento de sistemas nuevos.

- **Información Técnica:**
  - \* Transferencia total de tecnología según lo explicado previamente.
- **Repuestos:**
  - \* Respecto al stock:
  - \* Se previeron insumos y repuestos para mantenimiento preventivo y correctivo menor para un ciclo anual en el taller de 2° nivel.
  - \* El contratista debía asegurar la provisión de repuestos para correctivo mayor en plazo perentorio.
  - \* Se previó incluir los subsistemas / componentes y repuestos para operaciones al recuperar los vehículos taller.

## 6. Conveniencia económica.

Luego del despliegue de los vehículos a Haití, incluso antes de iniciar la etapa de diseño, se presentaron varias empresas ofreciendo repotenciar estos vehículos. Hubo propuestas rechazados por tener un diseño no conveniente, otras por ser incompletas y otras por no solucionar los problemas de mantenibilidad y soportabilidad, ya que se seguía dependiendo de repuestos importados y de máquinas para desarmar las ruedas. Repotenciar en Francia, según diseño de fábrica. Considerada no apta por:

- \* Solo ofrecían la remotorización, con costo adicional para recuperar el resto de sistemas.
  - \* El diseño era según las necesidades Ejército Francés, con pérdida de capacidades para la Infantería de Marina.
  - \* No daba solución a la dependencia tecnológica y logística de fábrica.
  - \* La obtención de repuestos quedaba sujeta a vaivenes políticos y paridad de la moneda.
  - \* Había un costo adicional de acarreo, inspección y cursos en Francia.
- Adquirir vehículos nuevos, considerada no apta ni aceptable por el costo total de ciclo de vida y las consideraciones indicadas en la alternativa 3.

Si bien la única alternativa apta, factible y aceptable era la repotenciar en el país, a requerimiento del Ministerio de Defensa se llevó a cabo un análisis del TOTEX, OPEX y CAPEX de las alternativas 1, 2 y 4, para una vida útil de 15 años, aceptando para la alternativa 1 la pérdida de confiabilidad y los riesgos en operaciones y comparando económicamente las alternativas por Costo-Eficiencia a través del Valor Actualizado de Costos (VAC) y Costo Medio a Largo Plazo (CMLP). El resultado fue el siguiente:

ALTERNATIVAS	TOTEX (\$)		CAPEX (\$)	OPEX (\$)
	VAC <sup>15 AÑOS</sup>	CMLP <sup>1hs</sup>		
1. Reparar en Armada Argentina (no apta ni factible)	1,36	1,41	0,61	12,60
2. Repotenciar en Industria Privada Argentina.	1	1	1	1
3. Adquirir nuevos (no apta ni aceptable)	3,64	3,51	3,40	4,34

Quedo como alternativa seleccionada la de repotenciar en el país, con un CAPEX aproximado al 29 % del valor de reposición de un vehículo nuevo y un OPEX del orden del 23% del de dicho vehículo.

## Cómo lo ejecutamos

Inicialmente se hicieron dos prototipos, un VCR y un ERC. Durante su ejecución se comprobó la ingeniería de detalle, surgiendo algunas modificaciones y se terminó de desarrollar la ingeniería de producción. Las tareas desarrolladas fueron las siguientes:

SISTEMA	DETALLE
Motor	Cambio del motor original por uno de última generación MWM 4.07 TCA. Adaptación de periféricos. Adecuación sistema de escape.
Transmisión	Modificación de la caja de velocidades para adecuar la relación torque – velocidad de giro al nuevo motor. Adaptación de un nuevo sistema de embrague. <b>Recorrido de la cadena cinemática</b>
Enfriamiento	Reemplazo del radiador por uno de mayor capacidad. Colocación del radiador de post enfriado. Adecuación del sistema de ventiladores.
Hidráulico, frenos y dirección	Adecuación de los sistemas al régimen de giro del nuevo motor. Reemplazo de acumuladores hidráulicos por nuevos, de tipo industrial, con adaptación de la base de ajuste. <b>Recorrido del sistema de frenos</b>
Combustible	Reemplazo del tanque por uno nuevo de acero inoxidable, igual capacidad y sin bombas sumergidas.
Eléctrico	Adecuación de los sistemas al nuevo motor. Reemplazo del sistema electrónico de control por uno eléctrico más simple. Adaptación del talero de instrumentos al nuevo motor.
Compresor	Adaptación del sistema de compresor al nuevo motor.
L.C.I	Colocación de un nuevo sistema sobre la base de Halón ecológico.
Mecanismo ruedas	<b>Recorrido general del sistema</b>
Ruedas	Reemplazo de los neumáticos importados por otros sin cámara marca FATE. Reemplazo de llantas originales de 16” por nuevo diseño de 20”, de tipo partida, de fabricación nacional. Reemplazo de runflat original por nuevo diseño de fabricación nacional

Modificación de sistemas - **Recorrido de sistemas**

## Cómo supervisamos el rendimiento sobre el terreno

Una vez llevadas a cabo las pruebas de campo se corrigieron los detalles que surgieron, se actualizó el proyecto y se dio inicio a las series.

Dada la necesidad operacional en Haití, los vehículos repotenciados fueron enviados de inmediato a ese lugar. Para supervisar el rendimiento, se envió personal del proyecto en los distintos contingentes.

La única falla que surgió fue la avería de un eje conector volante –embrague– caja. La empresa lo repuso, se analizó la rotura y surgió que existía un punto débil en el diseño. Se re-diseñó la pieza, se construyeron nuevos ejes, se enviaron a Haití para ser cambiados y se aplicó en nuevo modelo en las series sucesivas.

Tal como se había determinado en el análisis RCM, el acople elástico del motor a la travesía, se confirmó como “crítico”. Se detectó además que la tasa de fallas aumentaba cuando los operadores eran nuevos, debido a aceleraciones bruscas o errores al efectuar los cambios de marcha que generaban mayor torsión en el motor y consecuentemente, mayor desalineación. Dado que además de corregir las desalineaciones, esta pieza funciona como fusible y por estar su resistencia cerca del límite de los componentes que debe proteger, no existía la posibilidad de ser reforzado

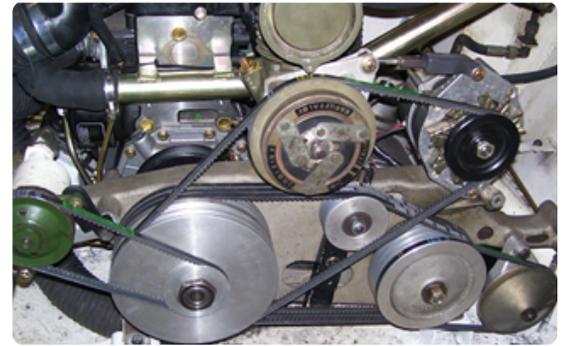
## Galería fotográfica



Motor MWM con embargue y carcaza de caja



Motor MWM en instalación



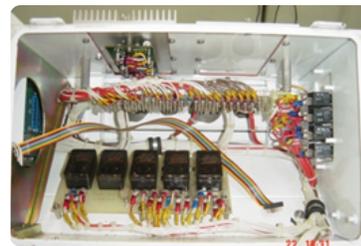
Traversa de auxiliares



Acople elástico motor - travesa



Par cónico de caja nuevo diseño



Control de luces nuevo diseño



Cubo de garra con nuevo diseño



Caja en modificación y recorrido



Mecanizado de carcaza de caja



Eje conector volante - embargue - caja



Interior de tanque desgranado



Neumático Argentino



Caja lista a instalar



Tanque original colapsado



Tanque nuevo instalado

## Galería fotográfica



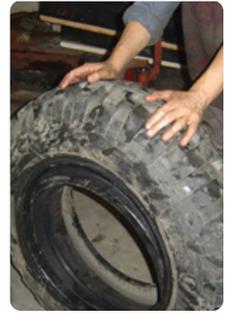
Runflat nuevo diseño



Nueva llanta desarmable



Runflat plegado para instalación



Runflat instalado



Rueda armada



Antes de la repotenciación



Después de la repotenciación



Vehículos repotenciados en Base de IM Baterías - 2023



Vehículos repotenciados en Haití - 2012



Compañía de IM Mecanizada, perteneciente a Fuerza Combinada Cruz del Sur - 2023

Al frente: 10 Panhard VCR 4x4 (izquierda) y 2 ERC 90 (derecha)

Detrás: 4 Agrale Marrua Rec.

Ambos tipos de vehículo tienen el mismo motor, embrague, bombas de embrague y bomba de frenos

# Variación de la emisividad de materiales en función de la temperatura



**Autor:** César A. Tejaxún Solloy

Ingeniero mecánico industrial, Maestro en Artes de Ingeniería de Mantenimiento, Termógrafo, Analista de Vibraciones

*Todos los materiales poseen un valor de emisividad único, que los caracteriza y hace de este valor, un parámetro muy importante en el proceso de termografía cuantitativa, por lo que comprender como su valor cambia en función de la temperatura es sumamente muy importante.*

## Resumen

La detección y diagnóstico de una falla en cualquier equipo, puede ser bastante sencillo para un termógrafo experimentado; sin embargo, para personas que se inician en este campo podría ser una tarea sumamente difícil, la inexperiencia puede llevarlos a emitir diagnósticos completamente equivocados y cuantitativamente, obtener valores erróneos de temperatura. Como técnica de monitoreo de condición, la termografía IR, permite detectar anomalías en su etapa más temprana en una amplia variedad de aplicaciones, tales como, instalaciones eléctricas, flujo de fluidos, fricción en mecanismos o inspección de instalaciones e infraestructura, con la finalidad de evitar llegar a fallas funcionales y en el peor de los casos, fallas catastróficas.

La termografía cuantitativa utiliza la medida de la temperatura como criterio para evaluar la severidad o gravedad de un problema, para así establecer la prioridad de reparación. ITC (2017)

Realizar la medición de temperatura requiere tomar en cuenta parámetros de compensación, que son aquellos valores que permitirán aislar la radiación emitida por el objeto analizado, que es lo que finalmente interesa. Los parámetros más usuales son la temperatura ambiente, la distancia, la humedad relativa, la temperatura reflejada y la emisividad, siendo esta última la más importante. Comprender y aplicar correctamente estos parámetros requiere de entrenamiento exhaustivo en termografía, de dicha cuenta se tienen niveles de certificación I, II y III que garantizan que las mediciones son correctamente realizadas y los diagnósticos emitidos

son consecuentemente correctos. Las consecuencias de no realizar una compensación efectiva pueden ser, desde dejar pasar por alto problemas existentes o detectarlos muy tarde, cuando la acción correctiva es inminente.

Este artículo mostrará como calcular experimentalmente el valor de emisividad de varios materiales y el cambio que experimenta en función de la temperatura, utilizando una cámara termográfica y su software de análisis.

## Introducción

La emisividad es una propiedad intrínseca de los materiales que define su capacidad de emitir radiación infrarroja cuando se encuentra a una temperatura y longitud de onda determinada. Se expresa como valores en la escala de 0 a 1, cuando este valor es 0, el material es completamente reflectante y no emite radiación, en cambio cuando este valor es 1, esa capaz de emitir toda la radiación a esa temperatura y longitud de onda determinada. El valor de la emisividad se calcula como la relación entre la radiación que emite un material y la radiación que emite un cuerpo negro. Un cuerpo negro, teóricamente, es capaz de emitir el 100% de su energía.

Uno de los conceptos que se debe transmitir con claridad en termografía es la emisividad, cuya importancia es alta cuando se buscan establecer los valores de temperatura de un objeto analizado, ya que un valor equivocado de la misma llevará fácilmente a valor diferente al real. La emisividad no solo es diferente para todos los materiales, sino que varía con el cambio de temperatura.

Se puede demostrar esta variación de varias formas, por ejemplo, sometiendo el cuerpo a calentamientos sucesivos y luego a través de pruebas empíricas, determinar el valor de la emisividad. Sin embargo, hacerlo simultáneamente resulta mucho más ilustrativo y fácil de entender. Esto se puede lograr utilizando un software de análisis termográfico, en el cual haciendo cambios sucesivos en el valor de la emisividad (este es una variable que se puede ajustar en cualquier software de análisis termográfico) se podrán observar los cambios en que se producen en las temperaturas superficiales de los cuerpos analizados. Por lo anterior, se deduce que para esta demostración se requiere de la capacitación en termografía y uso de equipos termográficos, así como la certificación que imparten instituciones que capacitan y certifican personal en termografía infrarroja como el ITC (Infrared Training Center) por sus siglas en inglés.

Este artículo mostrará los pasos para demostrar la diferencia de emisividades entre materiales, así como la variación de estas en función de cambios en la temperatura,

## Recursos y Metodologías

Este es un experimento empírico, en el que no se tiene control de todas las condiciones bajo las que se realiza; sin embargo, los resultados muestran que se alcanza el objetivo principal.

### Instrumentos y materiales

Materiales	Parámetros
Cámara termográfica Flir E8XT	Temperatura
Software de análisis Flir Tools	Humedad relativa
Recipiente de acero inoxidable	Temperatura reflejada
Vaso plástico	Distancia
Taza cerámica	
Termómetro de cocina	
Cinta de aislar color negro	
Agua caliente a 15°C, 50°C, 72°C	

Tabla 1. Materiales, instrumentos y parámetros del experimento

Una premisa importante es que el termógrafo ha sido capacitado y entrenado por ITC, condición que lo califica en el uso del equipo termográfico y manejo de los conceptos relacionados a termografía cuantitativa y todos los conceptos relacionados.

## Procedimiento

1. Colocar un trozo de 3 cm de cinta de aislar en forma horizontal a cada taza en la parte inferior, como se muestra en la fotografía
2. Verter agua, a cada una de las temperaturas indicadas, hasta la mitad de cada recipiente
3. Medir la temperatura del agua en los recipientes con un termómetro de cocina
4. Medir la temperatura sobre la superficie en cada recipiente en dos puntos, sobre el trozo de cinta de aislar y en un punto fuera del mismo con la cámara Flir E8XT
5. Analizar cada termograma en Flir Tools con emisividad = 0.95
6. Para cada recipiente y material ajustar la emisividad hasta hacer coincidir las temperaturas con las obtenidas con emisividad = 0.95
7. La emisividad a la cual coinciden las temperaturas de cada material comparadas con las obtenidas con emisividad de 0.95, será la emisividad del material analizado.

## Desarrollo

La demostración es sencilla y es viable realizarla en cualquier ambiente debido a la utilización de materiales comunes, accesibles y conocidos. Las imágenes visuales contrastan con las imágenes térmicas, en las que los colores se asocian con intensidades de radiación y estos son convertidos a valores de temperatura en grados °C.

### Imagen visual de materiales de prueba



Figura 1. Imagen visual de los materiales del experimento

### Imagen infrarroja de materiales de prueba

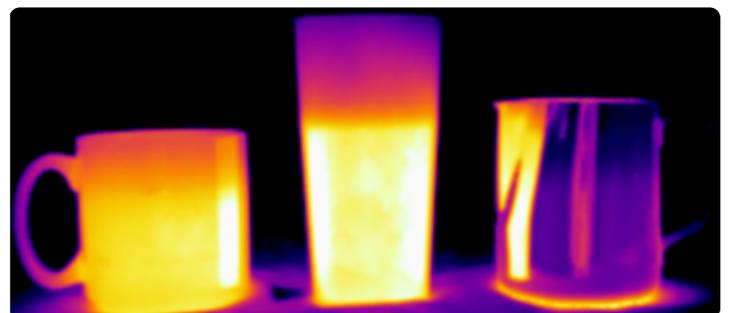


Figura 2. Imagen termográfica del experimento

De las imágenes anteriores se puede resaltar lo siguiente, la visual es netamente reflexión, esto significa que sin una fuente de iluminación no veríamos la forma de los recipientes ni su color, en cambio en la imagen infrarroja, los colores representan las intensidades de radiación IR que emiten los recipientes, en este caso, materiales diferentes con diferentes emisividades y es importante también hacer notar que se evidencia un cambio intempestivo de tonalidades en los recipientes de la izquierda. Esto ejemplifica, casualmente, una aplicación de la termografía, los cambios de nivel en un recipiente.

La prueba inicia colocando los trozos de cinta de aislar, cuya emisividad es 0.95, sobre cada uno de los recipientes y luego se inicia con las mediciones. Flirmedia (s.f.)

#### Recipientes de prueba con trozos de cinta de aislar con $\epsilon$ de 0.95



Figura 3. Material de emisividad conocida sobre los materiales del experimento

#### Parámetros de compensación:

- $\epsilon = 0.95$
  - Temperatura ambiente = 21.4°C
  - Temperatura reflejada = 22°C
  - Distancia = 0.40 m
  - Humedad relativa = 59%
1. Se vierte agua a temperatura ambiente (15°C) en cada uno de ellos, hasta que sobre pase la mitad, se comprueba esta temperatura con el termómetro de cocina y se toman dos imágenes termográficas con la cámara Flir E8XT, la primera sobre las superficies sin la cinta de aislar y la segunda sobre las superficies con los trozos de cinta
  2. Repetimos el paso anterior con la diferencia que esta vez el agua está a 72°C, se toman las lecturas y termogramas correspondientes, se deja enfriar el agua hasta que la temperatura descienda a 50°C y se procede a tomar lecturas de temperatura y termogramas nuevamente.

3. A partir de este momento se inicia el análisis en el software Flir Tools. La primera imagen en analizar será la correspondiente al agua a 15°C, utilizando la herramienta de medición puntual, medimos sobre sobre las superficies sin cinta de aislar de los tres recipientes, anotamos los valores, giramos los recipientes y ahora se toman las temperaturas directamente sobre los trozos de cinta de aislar de los tres recipientes. Se repite la rutina a 50°C y 72°C. Los resultados se consignan en la siguiente tabla:

#### Temperatura de referencia, H2O

Materiales	15° C		50° C		72° C	
	T Superficie	T cinta	T Superficie	T cinta	T Superficie	T cinta
Acero inoxidable	20.5	21.6	27	57.8	30.9	78.2
Acero inoxidable	21.4	21.6	51.3	52.3	68.2	70.7
Acero inoxidable	21	21.2	48.9	52.3	69	71.9

Tabla 2. Valores obtenidos por medición con cámara IR

4. En este paso, sobre las superficies sin cinta de aislar, se analizará la emisividad del acero inoxidable, iniciando con el termograma correspondiente a 15°C y emisividad configurada en la cámara de 0.95, se modifica este valor hasta que la temperatura cambie de 20.5°C a 21.6°C. Esto significa que cuando se alcance esa temperatura, se habrá encontrado el valor real de emisividad del acero inoxidable a 15°C. Se repite el procedimiento para la cerámica y el plástico. En este caso particular la emisividad es de 0.99 para los tres materiales, el cuál es un caso especial.
5. Para las temperaturas de 72°C y 50°C, el procedimiento es el mismo, salvo que los valores de las emisividades cambian, tal como se muestra en la siguiente tabla:

#### Emisividades de materiales a diferentes temperaturas

Materiales	15°C	50°C	72°C
Acero inoxidable pulido	0.99	0.13	0.11
Cerámica impresa	0.99	0.93	0.89
Plástico impreso	0.99	0.92	0.86

Tabla 3. Resultados de  $\epsilon$  del experimento

Experimentalmente, la emisividad es encontrada de forma fácil y rápida, aprovechando las funciones con las que cuenta una cámara termográfica de gama media y su correspondiente software de análisis. Aún así, se debe estar consiente que la precisión no es absoluta, dado que no todas las condiciones del experimento están bajo control. En la siguiente imagen se muestra el efecto que causan los trozos de cinta de aislar eléctrica sobre las superficies de los recipientes, cada uno de los cuales con diferente valor de emisividad. Teóricamente, la temperatura medida sobre estos trozos debería ser la misma, solo si las condiciones del experimento están bajo control.

**Efecto de un material de emisividad conocida sobre materiales con emisividades desconocidas**

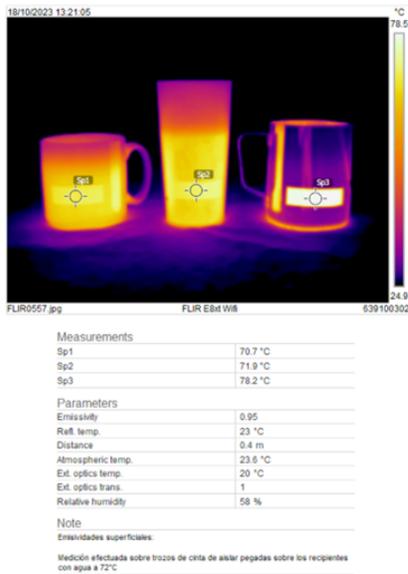


Figura 4. Imagen del software Flir Tools

Aunque la cinta tiene una emisividad,  $\epsilon = 0.95$ , las temperaturas aún difieren en los diferentes recipientes, la explicación es bastante lógica. En este artículo, no se ha considerado el coeficiente de transmisión térmica de los materiales, el cual es diferente. En la taza cerámica, la superficie estará más fría, que en las de plástico y acero inoxidable, aun cuando el líquido en su interior esté a la misma temperatura. Tampoco se consideró que el fluido caliente empieza a perder temperatura desde el momento en que es vertido en cada recipiente.

Las variables anteriores producen que las temperaturas superficiales de los recipientes tengan un valor diferente, aun cuando se miden sobre un material de emisividad conocida.

Las siguientes imágenes muestran la variación de la temperatura con cambios en la emisividad. Se realizan cambios en los valores de emisividad con el objetivo de qué en un punto, al igualarse las temperaturas, se encuentre la emisividad a la temperatura del agua.

**Emisividad encontrada experimentalmente con agua a 15°C**

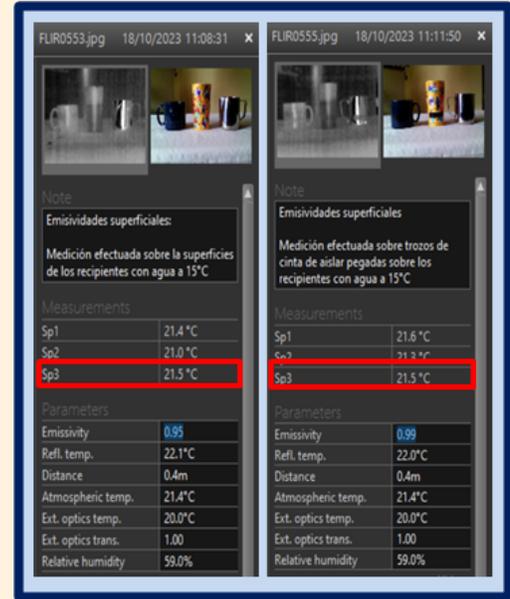


Figura 5. Emisividad del acero inoxidable a 15°C

**Emisividad encontrada experimentalmente con agua a 50°C**

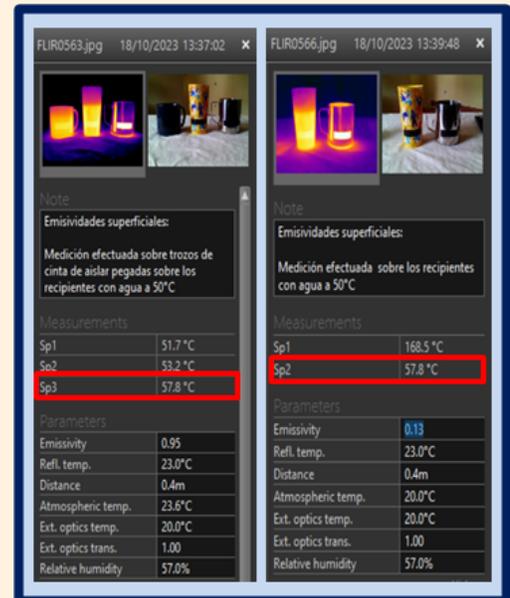


Figura 6. Emisividad del acero inoxidable a 50°C

Emisividad encontrada experimentalmente con agua a 72°C

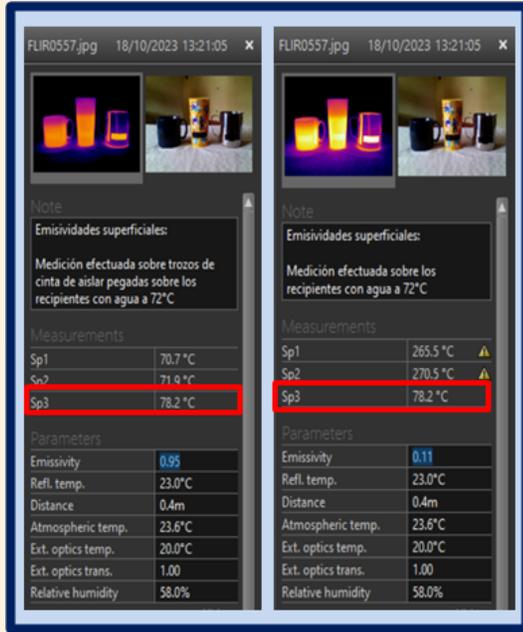


Figura 7. Emisividad del acero inoxidable a 72°C

Se puede resumir el comportamiento de las emisividades de estos tres materiales y su tendencia en la siguiente gráfica:

Emisividad de materiales como función de la temperatura

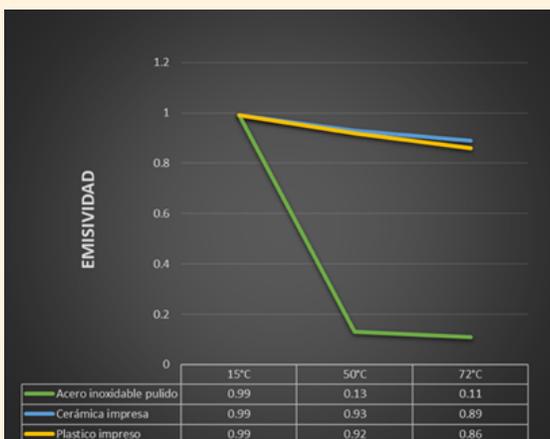


Figura 8. Comportamiento de las emisividades de diferentes materiales en función de la temperatura

Discusión de los resultados

En la gráfica anterior se puede apreciar el comportamiento de los valores de emisividad de los 3 materiales del experimento, es evidente que a bajas temperaturas, estos valores son muy cercanos a 1 y estos tienen a disminuir con el incremento de la temperatura.

Acorde a la Ley de Planck, a bajas temperaturas, la radiación térmica emitida por un material se concentra en un rango relativamente estrecho de longitudes de onda. Debido a esta concentración en un rango específico de estas longitudes, los materiales tienden a ser más eficientes en la emisión de radiación térmica, esto se traduce en una emisividad más alta a bajas temperaturas en ese rango de onda específico, Ceramicx. (s. f.)

Esto explica el comportamiento de los valores de emisividad de este experimento, a bajas temperaturas los cuerpos son más eficientes al emitir energía por lo tanto tendrán una emisividad más alta.

Aparte del comportamiento de los valores de la emisividad con el cambio de temperaturas, también es importante resaltar la diferencia entre diferentes materiales. La cerámica y el plástico tienen valores diferentes pero cercanos entre ellos; sin embargo, comparados con el acero inoxidable la diferencia es enorme. En la práctica, materiales con alta emisividad son mucho más fáciles de analizar cuantitativamente, caso contrario, el acero inoxidable y materiales similares presentan una dificultad considerable cuando se requiere la medición de su temperatura superficial.

Es importante recordar que este experimento no tuvo en control todas las variables y que esto supone una incerteza real en los resultados, algunas de estas variables son la velocidad de enfriamiento del agua, los espesores de las paredes de los recipientes y el coeficiente de conductividad térmica de cada material.

En la práctica de la termografía, estas son variables que no deben pasarse por alto, si lo que se pretende es cuantificar la severidad de una anomalía tomando como referencia el valor de la temperatura. Un valor erróneo de emisividad puede ser la raíz de un diagnóstico equivocado, aún cuando se traten de algunos grados Celsius.

Si bien la emisividad es sumamente importante, no debe pasarse por alto la importancia de la reflectividad de los materiales. Materiales con alta reflectividad presentan una dificultad formidable al intentar medir su temperatura.

El acero inoxidable, el aluminio pulido o superficies cromadas, niqueladas o con alto acabado superficial están en el grupo de materiales cuyas emisividades son muy bajas y por lo consiguiente, con reflectividades altas y difíciles de determinar fehacientemente su temperatura.

Finalmente, siempre se debe tener presente que una cámara IR mide la radiación que emite un cuerpo, en otros términos, la potencia térmica. Esta medición es afectada por diversos factores tanto ambientales como intrínsecos de los materiales, razón por la cual es necesaria la compensación en la termografía cuantitativa. La conversión a valores de temperatura de la energía emitida es realizada electrónicamente por la cámara.

### Conclusiones

---

1. La importancia de conocer que todos los materiales poseen diferentes valores de emisividad es fundamental para la comprensión de los diferentes valores de temperatura en un sistema o mecanismo que aparentemente está a la misma temperatura.
2. Los valores de temperatura que se encuentran tabuladas en numerosas fuentes sobre emisividades de diferentes materiales son valores de referencia nominales, no se debe pasar por alto que en diferentes rangos de temperatura, la emisividad también cambiará levemente, pudiendo afectar la medición final de la temperatura.
3. Es impráctico tratar de establecer el valor de la emisividad para cada material a una determinada temperatura cuando se realiza una inspección termográfica, por lo tanto, es más práctico, utilizar de referencia un material con emisividad conocida, (cinta de aislar, corrector blanco, cinta termográfica con  $\epsilon=0.95$ , etc.) y con esto ahorrar tiempo y garantizar la obtención de un valor real de temperatura.
4. En la práctica no debe intentar medir la temperatura sobre superficies con emisividades muy bajas, tales como el acero inoxidable pulido, debido a que la probabilidad de tomar lecturas erróneas tiende a incrementarse dando lugar a evaluaciones equivocadas sobre la severidad de una anomalía térmica. En general, no se debe medir temperaturas sobre superficies de materiales con emisividades menores a 0.10.

### Referencias bibliográficas

---

- Ceramicx Infrared for Industry (s.f.). Infrarrojos: Leyes de calefacción. <https://www.ceramicx.com/es/information/support/why-infrared-laws-of-infrared-heating/>.
- Flirmedia, (s.f.). Materiales para aumentar la emisividad de los objetos. [www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/RND\\_044/RND\\_044\\_ES.pdf](http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/RND_044/RND_044_ES.pdf)
- ITC (2017) Manual curso nivel 1, Infrared Training Center.



# ICA FLUOR o&M

**Proveedor de servicios de mantenimiento, modificaciones y gestión de activos, enfocados en la mejora del desempeño de la seguridad operacional y el rendimiento de instalaciones industriales**



Dakota 95, col. Nápoles, Benito Juárez, CDMX, C.P. 03103, Tel. 55 50617000

[carlos.lozano@icaf fluor.com](mailto:carlos.lozano@icaf fluor.com)

[joseantonio.perezhernandez@icaf fluor.com](mailto:joseantonio.perezhernandez@icaf fluor.com)

# Predictiva21 la revista digital de Mantenimiento, Confiabilidad y Gestión de Activos más prestigiosa de Latinoamérica

Empresas que se anuncian en [Predictiva21](#)



Polaris Laboratories

**ICA FLUOR**

Icafluor

**TRACTIAN**

Traction



Sologic



Techgnosis



CTN Global



Nifersa

**Te invitamos a anunciar tu empresa  
en Predictiva21**

Solicitud de información:

[lisset.chavez@predictiva21.com](mailto:lisset.chavez@predictiva21.com)

# Desvelando el camino hacia la excelencia: Explorando el Modelo ART de transformación de Confiabilidad de Activos



**in** Autor: Alejandro Jiménez Fuentes  
Máster en Confiabilidad, Mantenibilidad y Riesgo Industrial.  
ARP-L | ARP-E | VCAT III | IRLevel 3 | UCAT I

**E**n el mundo empresarial actual, las organizaciones con uso intensivo de activos han llegado a reconocer que maximizar el rendimiento a largo plazo de sus activos requiere una gestión profesional basada en la recopilación y análisis de datos, decisiones informadas por datos, implementación de enfoques estructurados de análisis de datos, además de una sólida dosis de disciplina y un alto nivel de competencia técnica. En este contexto, la implementación de las mejores prácticas en diseño, instalación, puesta en marcha, operación, mantenimiento y cuidado es fundamental. Los días en que se consideraba que adquirir un activo sin evaluar su confiabilidad y mantenibilidad en relación con las necesidades y el entorno del negocio, y cuando el mantenimiento era visto como un gasto superfluo, han quedado en el pasado.

Sin embargo, a pesar de las buenas intenciones de muchos departamentos de mantenimiento, muchas organizaciones luchan por avanzar en este aspecto. Restricciones como la gestión a corto plazo, la aversión a invertir en la reingeniería de los procesos de gestión, la falta de capacitación en todos los niveles y enfoques excesivamente tecnológicos que pasan por alto la transformación cultural, son obstáculos comunes. En este artículo, exploraremos el modelo propuesto por Mobius Institute para desarrollar una estrategia integral hacia la construcción de una planta confiable.

## ¿Qué es el modelo ART?

Mobius Institute, institución líder en capacitación certificada bajo los estándares ISO, ha logrado identificar los factores comunes que llevan al fracaso en la mejora de la gestión de activos, así como los factores críticos de éxito que dis-

tinguen a las organizaciones exitosas. La razón es obvia: muchas personas en ambos grupos han pasado por las aulas de Jason Tranter (su fundador) o las de sus “Training Partners”. Durante más de tres décadas, esta entidad ha investigado, documentado y contrastado las claves para mejorar significativamente los indicadores de producción y servicio, y en última instancia, los resultados financieros.

El modelo ART (Asset Reliability Transformation), desarrollado a partir de esta amplia investigación, se ha convertido en un componente esencial en la planificación estratégica de la transformación hacia una gestión de activos sostenible, eficiente y centrada en el valor. ART no solo aborda la transformación cultural y tecnológica, sino que también considera los aspectos metodológicos necesarios para construir una planta confiable.

## Aspectos destacados del modelo ART

Algunas de las características sobresalientes que hacen de esta modelización un insumo de primer orden para la planificación de una iniciativa son:

- **Diseño adaptable:** ART propone un plan que se ajusta a los objetivos y la realidad del negocio en su contexto. Se justifica técnicamente como una iniciativa estratégica y se presenta a todo el personal para fomentar la participación y el compromiso, destacando los incentivos para lograr los objetivos propuestos y los beneficios a largo plazo de los que todo el personal podrá beneficiarse.
- **Enfoque integral:** La estrategia de ART involucra a todas las áreas de la organización que gestionan activos. Además, de las buenas prácticas de mantenimiento indispensable,

se evalúan las actividades de todos los departamentos que pueden influir en el rendimiento de los activos a lo largo de todas las etapas de su vida útil: conceptualización, diseño, procura, instalación, prueba, puesta en marcha, operación, mantenimiento y disposición final.

- **Gestión centrada en las personas:** ART reconoce la importancia fundamental de las personas en la mejora de la confiabilidad. Numerosos estudios han demostrado que muchos fallos en los activos están relacionados con sistemas de gestión deficientes, falta de capacitación y un entorno de trabajo desorganizado, provocando el error humano. Las personas son el factor diferenciador.
- **Estrategia detallada:** ART no se basa en un solo método o software, sino que es una estrategia integral que consta de 10 fases, 64 pasos y 365 prácticas recomendadas. Va más allá de un simple modelo, proporcionando un plan detallado que incluye las herramientas obligadas como RCM, FMEA, RCA y monitoreo de condición entre muchas otras actividades de analítica, además de múltiples prácticas recomendadas por ejecutar por las diversas áreas y departamentos que toman parte de la gestión del activo.

### Fases del modelo ART

El modelo ART se compone de dos macro fases: una fase transformacional (Valor, estrategia, personas y control) y un círculo virtuoso de confiabilidad (Adquisición, disciplina, cuidado, analítica, fin de vida útil y optimización). Veamos en qué consiste cada una de ellas.

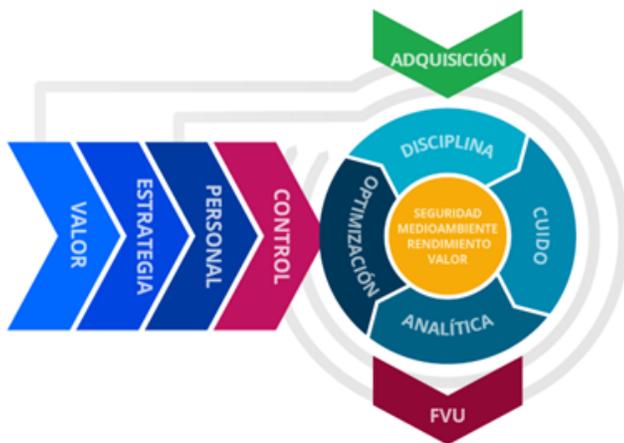


Figura No. 1. Modelo ART (Asset Reliability Transformation) desarrollado por Mobius Institute, alineado con ISO 55001

- **“Descubrir” el valor de la confiabilidad.** Iniciar un programa de mejora de la confiabilidad implica la identificación y estimación de los costos asociados con la baja confiabilidad. Esto se logra al visibilizar las consecuencias y riesgos ligados a fallos de activos. El apoyo de la alta dirección es crucial, ya que el técnico o ingeniero, por más competente que sea, necesita respaldo. Para obtener este apoyo, el gerente requiere visualizar la oportunidad que la organización tiene ante sí, debido a una gestión profesional de la confiabilidad.
- **Definir una estrategia.** Aunque cualquier esfuerzo suma, una iniciativa seria requiere una estrategia sólida dirigida por expertos calificados. La planificación detallada y anticipación de desafíos aumentan las probabilidades de éxito. Es probable que tenga que recurrir a un asesor externo a su organización, pero si encuentra la persona correcta, la inversión valdrá la pena.
- **Obtener el compromiso de las personas.** Lograr una “cultura confiable” depende de convencer a las personas de los beneficios. La capacitación, la sensibilización y el seguimiento son esenciales. El asesor externo puede ayudar a identificar líderes y afrontar resistencias. Todos tienen que familiarizarse con la gestión de confiabilidad. La mejora no es un asunto solamente para ingenieros, todos tienen un rol que cumplir.
- **Recuperar el control del Mantenimiento.** Restaurar el control del mantenimiento es vital para reducir las emergencias que drenan los recursos y dificulta enfocarse en planificación, análisis y mejora. El departamento de Mantenimiento tiene aquí una participación clave: crear el entorno adecuado para implementar la iniciativa, un entorno en el que las emergencias y trabajos no planificados son mínimos. Esto implica implementar condiciones fundamentales como un CMMS básico, documentación actualizada, gestión de repuestos y planificación de trabajos basada en procedimientos estandarizados y adecuada gestión de los recursos.
- **Optimizar el Proceso de Adquisiciones e incorporación de nuevos activos.** Las decisiones tomadas en las etapas iniciales del ciclo de vida del activo tienen un gran impacto. Ingeniería y proyectos debe asegurarse de decisiones confiables desde el diseño hasta la instalación y puesta en marcha
- **Disciplina en las labores.** Tanto Mantenimiento como Operaciones deben seguir procedimientos detallados y documentados para garantizar la confiabilidad en todas las etapas del activo. Identificar e implementar las mejores prácticas con un enfoque de “cero tolerancia a los defectos” es esencial en esta etapa.
- **Cuido proactivo de activo.** Mantenimiento y Operaciones deben colaborar para mantener los activos operativos al máximo. Esto implica estrategias de lubricación de precisión, mantenimiento dirigido por el operador, rutinas de limpieza y adecuadas prácticas operativas.
- **Desarrollar Analítica de Confiabilidad.** La analítica es fundamental para descubrir riesgos y oportunidades. Un grupo de confiabilidad independiente asegura el enfoque necesario. Métodos estructurados y tecnologías de análisis serán las herramientas para procesar la información disponible y convertirla en estrategias de gestión de fallos y eliminación de causas raíz. Tal es el enfoque de esta fase.
- **Optimizar lo que ya es bueno.** Esta fase, liderada por el grupo de confiabilidad, visualiza la ejecución de proyectos

de mejora y ajusta planes en función de los resultados obtenidos. Toma los resultados de la analítica y los traduce en acciones concretas cuyos resultados deben ser monitorizados, documentados y divulgados.

- **Fin de vida útil.** Documentar aprendizajes y fallas catastróficas, analizar los actuales procesos de gestión, estrategias, controles y capas de protección que pudieron haber sido vulnerados por el evento de fallo y garantizar la disposición responsable de activos que concluyen el ciclo de mejora de confiabilidad.

### Implementación de la estrategia

La implementación debe seguir un cronograma detallado con hitos, responsables y fechas. Nada debe ser dejado al azar, o para ser ejecutado “a la primer oportunidad disponible”. La supervisión y el soporte de la Alta Dirección son esenciales. La construcción de la estrategia debe considerar aspectos específicos y complejos de cada tipo de activo. Un enfoque multidisciplinario y un liderazgo efectivo son esenciales para abordar obstáculos y desafíos.

La coordinación entre todas las áreas es fundamental. Todas deben revisar sus procesos y determinar en donde deben hacerse las mejoras. El Ingeniero de confiabilidad puede dar soporte a Ingeniería y Proyectos, Mantenimiento, Almacenes y Operaciones, para identificar esas mejoras y facilitarlas, pero definitivamente cada área debe empoderarse de su propia transformación. A continuación, un resumen de algunas mejoras que podrían requerirse como parte de esta iniciativa, por cada área o proceso de gestión:

Área	Mejora
Ingeniería y Proyectos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de los procesos de definición de especificaciones de confiabilidad y mantenibilidad de nuevos activos</li> <li>• Revisión de los requisitos solicitados a fabricantes y contratistas durante los procesos de nuevas adquisiciones.</li> <li>• Revisión de la inclusión de pruebas de aceptación y aseguramiento de calidad</li> <li>• Enfoque de eliminación de defectos</li> <li>• Análisis RAMS y FMEA de activos por incorporar</li> <li>• Procedimientos documentados de disposición responsable de activos</li> </ul>
Almacenes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de sistemas de información y manejo de bases de datos de repuestos</li> <li>• Implementación de sistema “First in – First out”</li> <li>• Rutinas de Cuido proactivo de repuestos</li> <li>• Mejora del Almacén de lubricantes</li> <li>• Procedimientos de aseguramiento de calidad</li> <li>• Implementación de 5S’s u Lugar de Trabajo Visual</li> </ul>
Compras o Adquisiciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calificación de proveedores y contratistas</li> <li>• Respeto a especificaciones de compra</li> <li>• Capacitación básica sobre confiabilidad</li> </ul>

Tabla No. 1. Revisión sobre los procesos de negocio como parte de una iniciativa de mejora de confiabilidad.

Área	Mejora
Operaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementa procedimientos operativos estándar</li> <li>• Ventanas operativas de integridad</li> <li>• Rutinas de cuidado proactivo</li> <li>• Actitud de vigilancia proactiva</li> <li>• Implementación de confiabilidad dirigida por el operador</li> <li>• Implementación de 5S's y Lugar de Trabajo Visual en piso de producción</li> <li>• Participar de análisis de confiabilidad, proponer mejoras, gestionar mejoras</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actualización y ordenamiento de documentación y sistemas de información</li> <li>• Implementación de Procedimientos estándar de Mantenimiento</li> <li>• Revisión y optimización del proceso de planificación/ programación de trabajos</li> </ul>
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementación del procedimiento de gestión de cambios</li> <li>• Revisión y optimización del proceso de gestión de repuestos en coordinación con almacenes</li> <li>• Promover la transformación cultural: mantenimiento de precisión, eliminación de defectos y registro preciso de datos de fallo, lubricación de precisión</li> <li>• Implementación de 5S's y Lugar de Trabajo Visual en talleres de mantenimiento</li> <li>• Participar de análisis de confiabilidad, proponer mejoras, gestionar mejoras</li> </ul>
Confiabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar procesos periódicos de revisión del contexto del negocio, y jerarquización por criticidad, malos actores, oportunidades y salud</li> <li>• Implementar procesos de análisis FMECA/RCM</li> <li>• Implementar analítica estadística y análisis de KPI's</li> <li>• Implementar y optimizar el monitoreo de condición</li> <li>• Implementar y optimizar procesos de lubricación por condición</li> <li>• Implementar procesos de análisis de causa raíz</li> <li>• Dar soporte a todas las áreas para el cumplimiento de los requisitos y objetivos de la confiabilidad, mantenibilidad y seguridad.</li> </ul>

Tabla No.2. (Continuación) Revisión sobre los procesos de negocio como parte de una iniciativa de mejora de confiabilidad.

Dejarse asesorar y acompañar por consultores competentes siempre es una opción interesante. Se requerirá de mucho criterio y “mente fría” para abordar muchos de los desafíos que podrían aparecer. Una persona con dotes de liderazgo y externa a la organización podría estar en una posición inmejorable para disuadir, incentivar y motivar a los actores clave. Además, una tremenda dosis de capacitación profesional será requerida con toda seguridad, asesores externos debidamente capacitados y certificados están en la mejor posición para proporcionar la dosis de formación de competencias que la iniciativa requiere.

### Conclusiones

La mejora de la confiabilidad de los activos es un desafío complejo que requiere una combinación de enfoques culturales, técnicos y metodológicos. El modelo ART proporciona una hoja de ruta sólida para implementar una estrategia integral que conduzca a una gestión de activos confiable y eficiente. Sin embargo, es crucial recordar que el éxito en esta iniciativa depende en última instancia del compromiso de todas las áreas de la organización y del reconocimiento del valor humano en este proceso.



María Alejandra Martínez y  
Juan Camilo Urango

# Transformando el Monitoreo de Turbomáquinas, nuevas perspectivas desde la Gestión de Activos

**E**n este artículo se invita a una discusión en relación a la estrategia que históricamente se ha usado para el monitoreo de turbomáquinas y como la toma de decisiones en la gestión de este tipo de activos nos invita a replantear aspectos claves en la búsqueda de disminuir la incertidumbre en estos activos, desde su concepción hasta su desincorporación, a partir de la generación de información basada en la captura de datos mediante diferentes técnicas de monitoreo y diagnóstico.

Antes debemos analizar donde radica la criticidad de este tipo de activos y hay 2 factores fundamentales, el primero el impacto sobre la calidad de vida del ser humano y el desarrollo de la sociedad, ya que este tipo de máquinas son muy usadas para la generación de energía eléctrica, como mecanismo de propulsión y para trasegar fluidos, el segundo su costo elevado en sus cuatro etapas del ciclo de vida: adquisición, montaje y comisionamiento, mantenimiento y

operación, renovación o disposición.

Los casos prácticos que serán citados en este espacio se enfocan en aplicaciones para la generación de energía eléctrica, ya que en las últimas dos décadas se ha presentado un aumento de más del 100% en la generación mundial, figura 1, en donde un porcentaje importante de la generación proviene de fuentes que involucran turbomáquinas en su proceso, figura 2.

Volviendo a la historia del monitoreo de las turbomáquinas, debemos ir al año 1965 cuando se implementó por primera vez de manera exitosa la tecnología de corrientes de Eddy en sensores de desplazamiento sin contacto, los cuales están diseñados para medir distancias diminutas, entre la punta del sensor y una superficie conductora, como un eje rotativo, que permite cuantificar desplazamientos sumamente pequeños, generalmente del orden de unos pocos micrones.

Este hecho genera un gran impacto, ya que permite a las industrias con turbomáquinas implementar sensores para medir de manera directa el desplazamiento del eje, el cual suele ser el componente hacia donde se transmiten las cargas dinámicas producto de la operación; y de medirse solo la vibración en carcasa, se perdería información relevante, ya que al ser máquinas que usualmente trabajan con cojinetes hidrodinámicos, las características de la película de lubricación amortiguan y no transmiten de manera adecuada la vibración del eje a la carcasa. Como resultado, se establece la medición con sensores de proximidad como un método más preciso para determinar el estado de este tipo de máquinas e inicia la era de los sistemas de protección.

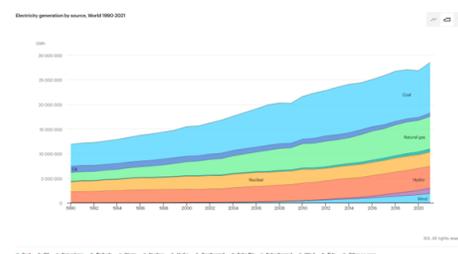


Figura 1. Tendencia de la generación mundial durante 1990 - 2021 - GWh. Tomado IEA data1.

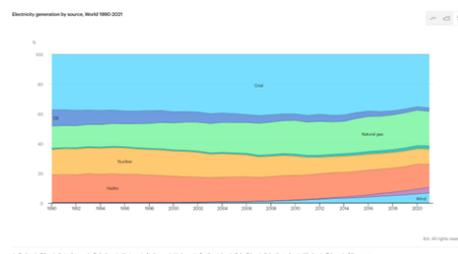


Figura 2. Tendencia de la distribución de la generación mundial durante 1990 - 2021 - GWh. Tomado IEA data1

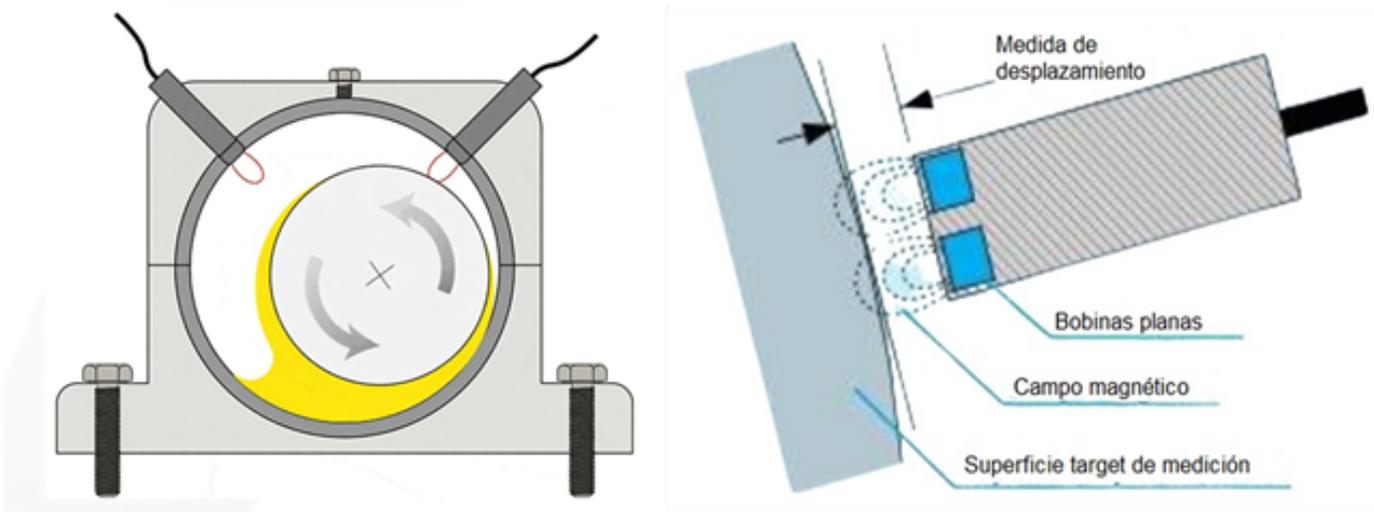


Figura 3. Sonda de proximidad.

En 1970, el American Petroleum Institute definió la sonda de proximidad como el dispositivo de medición para evaluar la vibración aceptable del eje y en 1976 publicó la primera versión del estándar API 670 - Machinery Protection Systems, como una guía para el diseño, instalación, configuración y mantenimiento de sistemas de protección de maquinaria utilizados en la industria.

En definitiva, el desarrollo para la medición de la vibración del eje, utilizando sondas de proximidad, se convirtió en el estándar de la industria para las pruebas de aceptación de turbo maquinaria y su protección en etapa de operación, consolidando este método como el idóneo para evaluar la vibración y la condición mecánica general en maquinaria rotativa crítica como turbinas, compresores, bombas, motores eléctricos, generadores y otros equipos rotativos<sup>2</sup>.

Sin embargo, en las últimas décadas este se ha convertido casi en el único

método aplicado en turbo maquinaria para determinar su condición y solo las organizaciones con un mayor nivel de madurez en la gestión de activos, involucran elementos claves como medición de vibración sobre carcasa, herramientas de diagnóstico especiales como son los estudios de análisis rotodinámico y de Operational Deflection Shape (ODS); así como la integración de variables de proceso.

La experiencia nos ha mostrado que cuando la estrategia de monitoreo solo está basada en sistemas de medición y protección por sondas de proximidad, se vuelve insuficiente para una gestión de activos idónea, ya que desde la concepción del proyecto no se involucran aspectos relevantes que luego serán claves en la puesta en marcha, operación y mantenimiento, impactando en la confiabilidad, los costos, la gestión del inventario de repuestos y el nivel de incertidumbre en la toma de decisiones, por eso enunciaremos 3 casos que nos ayudarán a comprender lo expuesto.

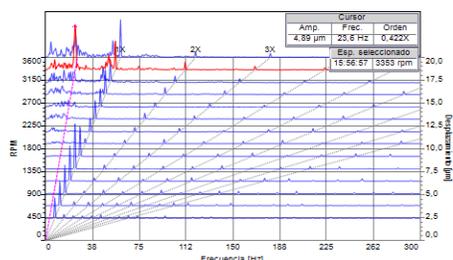
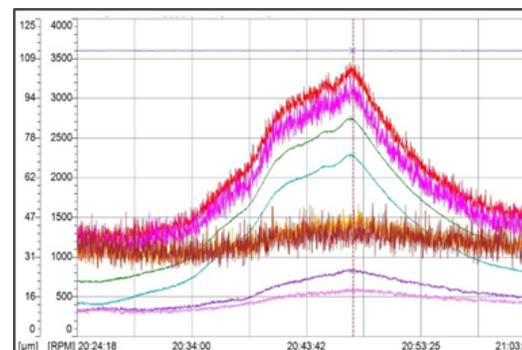
## CASO 1

## Turbogenerador de Condensación de 62 MW con eventos repetitivos de inestabilidad dinámica no determinística



Este caso se trata de un turbogenerador cuya dificultad radicaba en la ocurrencia de eventos, aparentemente aleatorios, en los que había incrementos de vibración hasta niveles de alarma del sistema de protección; que luego disminuían y se regresaba a una relativa estabilidad operativa sin que hubiese una causa aparente. El personal de operación sostenía que tales eventos eran más probables ante cambios de carga; pero que ello no era determinístico. Ante tal panorama, se plantearon pruebas diagnóstico apuntando a identificar la causa de los eventos y en general a describir la condición de salud de la máquina a partir de sus señales de vibración. Esto, con el objetivo de dar luces para una asertiva planeación, programación y ejecución de las intervenciones de mantenimiento mayor que se tenían previstas para dentro de 4 meses. En ese sentido, se adquirieron señales de vibración relativa de los proximidores del sistema de protección, durante reducción de carga, parada y arranque de la turbina, la sincronización y el incremento de carga a su valor nominal.

A partir del análisis de órbitas, formas de onda y firmas espectrales, se logró identificar un fenómeno de remolino de aceite (Oil whirl), que en este caso consistía en inestabilidad de la película lubricante que soporta la rotación del eje dentro de los cojinetes, atribuido a altas holguras radiales como producto de desgaste. Así, ante cambios de carga o alguna variación en las fuerzas operativas, la película hidrodinámica de aceite en ciertos casos no lograba mantener su estabilidad y se generaban desplazamientos erráticos del eje, que eran registrados como altas vibraciones. Luego, una vez la película lograba estabilizarse, se reducían las vibraciones a niveles normales de operación. A partir de esta conclusión, se recomendó al personal operador establecer la práctica de solo realizar variaciones suaves cuando se requiriera cambiar carga de generación para gestionar el riesgo y mantener la máquina operativa hasta el mantenimiento mayor. Por otro lado, también lograron gestionar la adquisición oportuna de repuestos y realizar una correcta planificación de la intervención de cambio de cojinetes; de manera que se optimizaron tiempos de ejecución, la máquina regresó a generación en el tiempo planeado y con una operación con mayor confiabilidad.



Este caso pone en evidencia que el enfoque de registro de amplitudes de vibraciones a través del sistema de protección, es insuficiente a la hora de brindar información valiosa para la adecuada gestión de la operación y la toma de decisiones asertivas de mantenimiento, que busquen la operación confiable y segura de la turbomaquinaria.

## CASO 2

## Turbogenerador de extracción de 46 MW con dos eventos recientes de falla en álabes



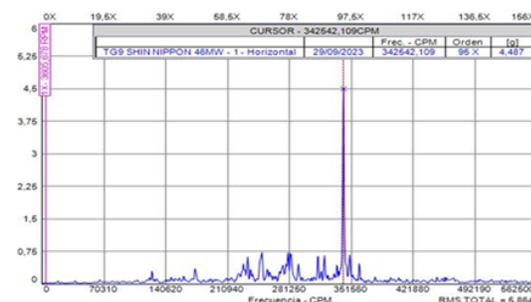
Este caso obedece a una turbina de vapor de cogeneración de un Ingenio azucarero, cuya situación problema obedece la ocurrencia de fallas por desprendimiento de álabe en una de las ruedas de la turbina. Con estas fallas, no solo se generaron indisponibilidades, con las implicaciones técnicas y económicas que ello conlleva, sino que también se hizo evidente la nula efectividad del sistema de protección por vibraciones ante este tipo de fallas. Toda vez que previo a la ocurrencia, no se registró ningún tipo de señal de alerta; e incluso, solo unos segundos después del desprendimiento del álabe, se alcanzó el disparo por vibraciones debido al efecto de desbalance.

Posterior a la reparación del primer evento de falla, se acompañó el arranque de la máquina con un análisis integral de vibraciones, que incluyó vibraciones relativas desde los proximatores del sistema de protección y vibraciones absolutas registradas a través de acelerómetros instalados temporalmente sobre carcasa de los cojinetes. Esto, con el objetivo de tener una mirada amplia sobre la condición de la máquina, que incluyera las vibraciones en bajas y medias frecuencias en las variables desplazamiento y velocidad; y vibraciones en alta frecuencia en la variable aceleración. En la medición se identificó una excitación espectral de alta frecuencia del pico de 95 veces la frecuencia rotacional (95X), que

corresponde a la frecuencia de paso de álabes (BPF) de una rueda de la turbina; su amplitud en ese momento era de 1.5 G's-rms. Ante ello, se reportó a personal a cargo sobre posible irregularidad del flujo de vapor a través de los álabes; y se recomendó monitoreo.

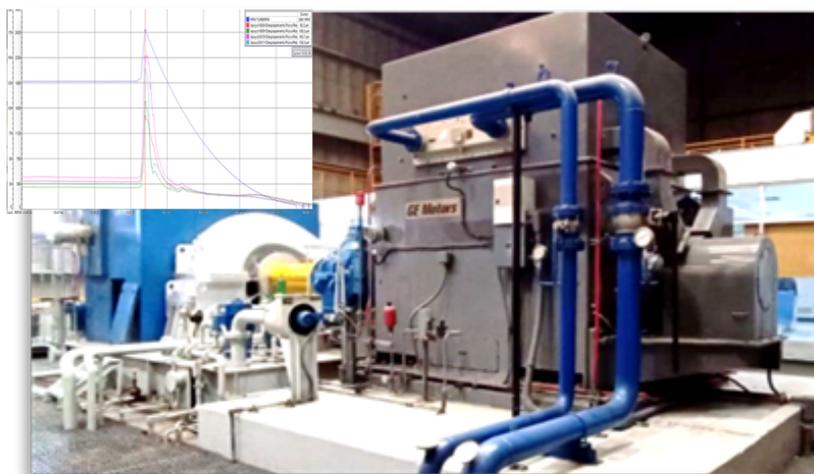
Con lo anterior, la máquina continuó la operación durante alrededor de 10 meses, cuando se realizó un nuevo análisis de vibraciones. En este se identificó que persistía la excitación de alta frecuencia, con incremento significativo en su amplitud, del orden del 193%, alcanzando niveles de 4.4 G's-rms. Esa vez se generó una alerta al personal a cargo, sobre el incremento en el riesgo que significaba este importante cambio en las vibraciones de alta frecuencia. El operador de la máquina transfirió esta inquietud al fabricante, si hubiese una respuesta de alarma o que indicase la necesidad de alguna intervención. Alrededor de dos meses después de generada la alarma, se presentó un nuevo evento de desprendimiento de álabe, con la misma secuencia de eventos presenciada en la primera falla. Posterior a la reparación, se hizo un nuevo acompañamiento en el arranque; en el cual, se identificó que se mantenía la presencia del pico de frecuencia de paso de álabes con una amplitud que se había reducido en un 75%, alcanzando 1.1 G's-rms. Lo anterior plantea que existiría una relación directa entre la amplitud de este pico, con la degradación de la condición de integridad y el riesgo de falla en los álabes. Este caso evidencia que para protección ante eventos potenciales de falla o que comprometan la integridad en turbomáquinas, las vibraciones relativas no son suficientes, como señales que generen una alarma o detonen una parada de protección. Además, sus registros no generan información suficiente, al momento de construir diagnósticos predictivos y/o un eventual análisis de causa-raíz.

Así, este caso presenta solo un ejemplo de todos los que pudiese haber, en donde la integración entre vibraciones absolutas con relativas son un requisito para el diagnóstico oportuno de patologías de falla y una mejora sustancial del esquema de protección de la turbomáquina.



## CASO 3

## Turbogenerador de contrapresión de 27 MW con inestabilidad dinámica al paso por la velocidad crítica en arranque posterior a intervención de mantenimiento mayor

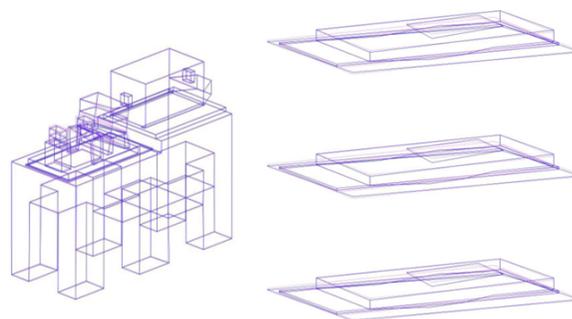


Este caso corresponde a un conjunto turbina, caja reductora y generador, que conforman la unidad de cogeneración de un Ingenio azucarero y cuya dificultad obedeció a la imposibilidad de arrancarlo y ponerlo en operación luego de una intervención mayor de mantenimiento. Esta imposibilidad se debía a que las vibraciones en la turbina alcanzaban niveles de disparo al acercarse a su primera velocidad crítica. Esto supuso un problema importante para el personal a cargo; toda vez que se venía de un tiempo de indisponibilidad relativamente largo y las expectativas estaban en lograr una mejor condición operativa.

En este caso, se realizó acompañamiento con análisis integral de vibraciones, relativas y absolutas, durante un intento de arranque de la máquina; encontrando que efectivamente ocurrían altos niveles vibratorios con excitación fundamental de la frecuencia de giro de la turbina, lo cual contrastaba con el hecho de que se había garantizado un adecuado balance rotacional del rotor; por lo que se planteó integrar herramientas de diagnóstico especiales como un estudio ODS (Operational Deflection Shape). A través del cual se buscó entender el patrón de vibraciones de todo el conjunto, no solo los apoyos de la máquina, sino también del sistema de sujeción, incluyendo la base civil, el grouting y el sistema de anclaje.

A través del estudio de ODS se logró identificar un patrón de deflexiones del Grouting con diferencias de fase significativas y sin que se siguiese una secuencia específica; sino que éstas eran de cierto carácter errático. Este patrón indicaba que la sujeción no estaba absorbiendo adecuadamente las cargas dinámicas de operación que se transfieren a través de los elementos de anclaje a base. Ello se produce, sea por un inadecuado anclaje o rigidez insuficiente en la sujeción. Al revisar las condiciones que habían cambiado en la sujeción durante el mantenimiento y verificar que los elementos de anclaje estaban en buen estado; se señaló el proceso de fraguado como la causa potencial de una disminución en la rigidez del grouting. Al verificar la consistencia, se logró identificar la existencia de burbujas de aire en el Grouting, como producto de un fraguado inefectivo del material; con lo cual se generaron discontinuidades que se traducían en insuficiente rigidez estructural para la absorción de las cargas dinámicas y su correspondiente transmisión a base.

Ello se produce, sea por un inadecuado anclaje o rigidez insuficiente en la sujeción. Al revisar las condiciones que habían cambiado en la sujeción durante el mantenimiento y verificar que los elementos de anclaje estaban en buen estado; se señaló el proceso de fraguado como la causa potencial de una disminución en la rigidez del grouting. Al verificar la consistencia, se logró identificar la existencia de burbujas de aire en el Grouting, como producto de un fraguado inefectivo del material; con lo cual se generaron discontinuidades que se traducían en insuficiente rigidez estructural para la absorción de las cargas dinámicas y su correspondiente transmisión a base.



Por lo anterior es fundamental partir desde tres definiciones que serán claves para las Conclusiones de este artículo y que están estrechamente ligados con la definición de la estrategia para gestionar activos:



### Medición (ISO 55000:2015)

Proceso para determinar un valor.



### Monitoreo (ISO 55000:2015)

Determinar el estado de un sistema, de un proceso o de una actividad.

Nota 1. Para determinar el estado podría necesitarse revisar, supervisar u observar con sentido crítico.

Nota 2. Para los propósitos de la gestión de activos, el seguimiento también puede referirse a determinar el estado de un activo. Esto generalmente se menciona como "seguimiento de condición" o "seguimiento de desempeño".



### Diagnóstico (ISO 9000:2015)

Evaluación sistemática de un sistema o componente para determinar el estado de las condiciones existentes y prever futuros problemas.

Si nos remitimos nuevamente a los casos expuestos, está claro que una estrategia basada en medición y protección con sensores de proximidad, no fue suficiente para determinar el estado de los sistemas y sus componentes, lo que exigió involucrar otras herramientas que al integrarse permitieron llegar a un diagnóstico consolidado y asertivo, lo que conllevó a una toma de decisiones informada por parte de la organización.

Las conclusiones acá presentadas, figura 4, nacen de nuestra experiencia en múltiples análisis complejos de turbomaquinaria, que normalmente son solicitados como consecuencia de operaciones atípicas, afectaciones en la capacidad de generación y como condición más crítica por impacto en la disponibilidad del activo, es por esto que buscamos que la estrategia de monitoreo de condición sea alineada desde la concepción de la turbomáquina, ya que esto permitirá identificar de manera oportuna aspectos relevantes que impactaran en como los datos adquiridos desembocan en decisiones oportunas e informadas.



Aunque muchos de los conceptos acá tratados, no son nuevos y su desarrollo se remonta a varias décadas atrás, la realidad es que aún tenemos oportunidades de mejora que nos acerquen a una estrategia más sólida, involucrando aspectos técnicos, tecnológicos, normativos y culturales, que soporten la generación de conocimiento sobre activos tan críticos como las turbomáquinas, que conlleve a la toma de decisiones que soporten al negocio.

“ *El centro de una sociedad, economía y comunidad moderna, no es la tecnología, es la información.* ”

### Bibliografía

- <https://www.iea.org/>
- <https://www.dmc.pt/>
- UNE-ISO 5500 Gestión de activos - Aspectos generales, principios y terminología
- ISO 9000:2015, Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario
- ISO 17359, Condition monitoring and diagnostics of machines. General guidelines
- API STANDARD 670, Machinery Protection Systems

### Autores

#### MARIA ALEJANDRA MARTÍNEZ DELGADO, CMRP, CGMC, IAM CERTIFICATE

Ingeniera Mecánica, emprendedora y apasionada por la confiabilidad, certificada como Líder AMP Strategic ISO 55000, profesional IAM, Profesional CMRP y Gestor de Mantenimiento y Confiabilidad ACIEM – CGMC, miembro y Chair del comité SMRP LATAM, con más de 10 años de experiencia en el sector industrial en diferentes países de Latinoamérica, fundadora de la compañía IDC Ingeniería de Confiabilidad, conferencista, docente y consultora en proyectos de comisionamiento y puesta en marcha de plantas industriales, implementación de estrategias mantenimiento, confiabilidad y gestión de activos alineados a los fundamentos de la Industria 4.0.

#### JUAN CAMILO URANGO PERÉZ

Ingeniero Mecánico de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, cursando maestría en Ingeniería Mecánica de esta misma facultad, analista de vibraciones ISO CAT II, con amplia formación en mantenimiento industrial, confiabilidad y gestión de activos. Liderazgo en implementación de estrategias de monitoreo de condición integrando elementos de la industria 4.0, análisis rotodinámicos en turbomáquina y análisis de causa raíz en eventos de alta complejidad, en países de centro américa y Colombia.



# Entrevista con Carlos Villegas Morán: Ingeniería, proyectos y pasión

 Carlos Villegas Morán

Especialista en Confiabilidad de Sistemas Industriales

**Carlos ha trabajado en diversas ubicaciones como Venezuela, Colombia, República Dominicana, Trinidad y Tobago, Puerto Rico, España, EE. UU. y México. ¿Cómo ha sido la adaptación a entornos laborales tan diversos y qué aprendizajes destacas de estas experiencias internacionales?**

*Carlos Villegas* - En general, me he adaptado muy bien a cualquier entorno laboral y creo que el aprendizaje más valioso de estas experiencias está relacionado con la cultura de cada uno de los sitios que he visitado. Estoy convencido de que gran parte del éxito alcanzado en los diferentes proyectos en los que he participado se debió precisamente al aprender sobre la cultura de cada lugar en el que estuve y actuar frente a los demás de acuerdo con sus usos y costumbres. Por ejemplo, en los países latinos, somos más efusivos al momento de saludar, mientras que en España y EE.UU son más serios.

“**Estoy convencido de que gran parte del éxito alcanzado [...] se debió al aprender sobre la cultura de cada lugar..”**

Algo que me que definitivamente me ha ayudado a crear un ambiente de empatía con el personal con el que trabajo, es la comida. Cuando me toca comer junto a personal de mis clientes, siempre pido algún platillo típico de la región donde estoy y casi siempre solicito ayuda a los oriundos del sitio. Esa es una manera de decirles que me gusta estar en ese lugar y que me siento como uno de ellos.

Otro detalle que siempre he guardado cuando me desempeño como consultor es que en ningún momento me muestro como alguien que llegó a corregir la forma de trabajar, o a decir que todo lo que está haciendo el cliente está mal. Por el contrario, comienzo mostrando como debe ser una adecuada gestión de mantenimiento y confiabilidad e involucro a las personas en la búsqueda de oportunidades para trabajar junto a ellos aplicando las acciones dirigidas a mejorar los procesos.

*Entrevista por Lisset Chávez*



Equipo de Ingeniería Predictiva21

**En tu cargo actual como Gerente de Proyectos en Predictiva21, ¿puedes compartirnos sobre el proyecto actual en el que están trabajando y los desafíos que has enfrentado en su implementación?**

*Carlos Villegas* - El proyecto en el que estamos trabajando ahora se relaciona con crear las bases fundacionales del sistema de gestión de mantenimiento y confiabilidad para equipos de producción de superficie de 2 unidades de negocio pertenecientes a una empresa de Oil & Gas ubicada en el Sur de Texas. Específicamente, estamos creando el registro de activos para más de 6 mil ítems, sus planes de mantenimiento y los listados de materiales para equipos críticos y para los listados de tareas de mantenimiento que lo requieren.

El principal desafío de este proyecto ha sido la gestión de la comunicación y el trabajo colaborativo. EN lo que se refiere a la comunicación, el gerente de este proyecto, Cesar Morales, está ubicado en España, con una diferencia de 7 horas respecto a la que tenemos en Querétaro. Además, tuvimos que coordinar las tareas de recolección y captura de datos, ya que estas se efectuaron en paralelo, por 2 equipos de personas, que estaban ubicadas en diferentes sitios, un equipo en el Sur de Texas y el otro en Querétaro. En este caso, las reuniones de planeación y seguimiento diarias fueron muy importantes, ya que durante las mismas podíamos generar alertas respecto a problemas detectados ya fuese en la recolección de datos o en la captura de estos. Estas reuniones también nos sirvieron para unificar criterios respecto a cómo debíamos capturar o cargar datos, por ejemplo: Fabricante, Modelo y Serial de los equipos, información muy importante del registro de activos que facilita al personal de compras la labor de procura de equipos y refacciones.

En lo que se refiere al trabajo colaborativo, otro gran desafío de este proyecto ha sido la organización de toda la informa-

ción que se ha generado, de manera que podamos tenerla a la mano en el momento que se requiera. Estamos hablando de más 300 mil registros de información que incluyen datos de fabricante, modelo y número de serial de cada equipo, sus datos técnicos, como capacidad, dimensiones, potencia y muchos otros, que dependen de la clase del equipo, su ubicación en el diagrama de tuberías e instrumentación, fotos del equipo, relación jerárquica con ubicaciones técnicas y con otros equipos. En fin, se trata de una cantidad inmensa de información que se debe capturar en paralelo por varias personas y manejar de manera adecuada para poder tener acceso a ella y utilizarla con diferentes fines, en nuestro caso: generar estrategias, planes de mantenimiento y listados de materiales.

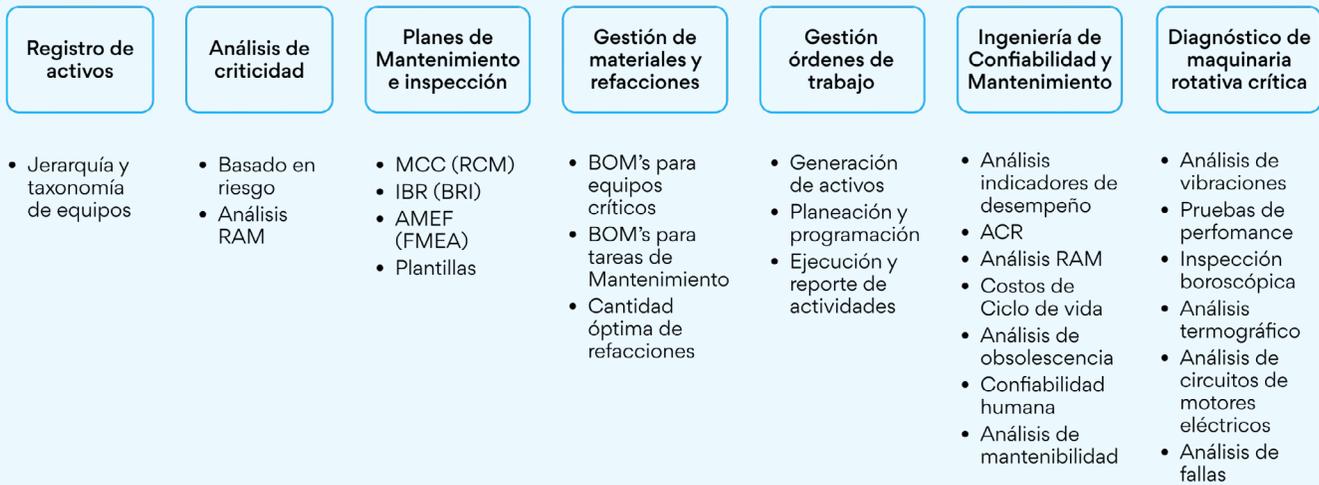
**Sabemos que utilizas la aplicación "Asset Register App" desarrollada por Predictiva21. ¿Cómo ha impactado esta herramienta en la calidad y eficacia del trabajo relacionado con el registro de activos y planes de mantenimiento?**

*Carlos Villegas* - La "Asset Register App" se ha convertido en nuestra solución ideal de herramienta para el trabajo colaborativo, ya que nos ha permitido trabajar de manera simultánea a varias personas en la captura y consulta de información asociada a los activos, todo esto en un mismo ambiente de trabajo.

Parte de la información que podemos capturar y consultar mediante esta aplicación está relacionada con: la jerarquía de los equipos, siguiendo las pautas de la ISO 14224, información básica como fabricante, modelo y serial, así como información adicional (Datos Maestros ó Technical Master Data), compuesta por campos de información diferentes, dependiendo de la familia de equipo. Así mismo, tenemos a la mano fotos de los equipos y sus placas de identificación, con las que podemos confirmar o revisar cualquier dato de

## Diagnóstico y mejoramiento de la Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad

- Evaluación / Identificación de oportunidades
- Caso de negocio
- Hoja de ruta de implementación



interés. Además, podemos ver la ubicación de cada equipo en el Diagrama de Tuberías e Instrumentación.

Adicionalmente, podemos exportar datos para generar listados Excel con los campos de información necesarios, de acuerdo con los requerimientos del archivo plano que utiliza el cliente para transferir datos a su CMMS, en este caso específico, el módulo PM de SAP.

Lo mejor de todo, es que hemos tenido a nuestro lado al equipo de programación de Predictiva21, siempre a disposición para efectuar adecuaciones a la aplicación a medida que identificábamos una necesidad.

**Dentro de Predictiva21, ¿puedes compartirnos sobre las direcciones que el equipo de confiabilidad puede explorar? ¿Hay otros proyectos o áreas específicas en las que planean expandirse o aplicar sus conocimientos en el futuro cercano?**

*Carlos Villegas* - El equipo de confiabilidad de Predictiva21 está conformado por profesionales con muchísima experiencia, principalmente en Oil & Gas y Generación de Energía Eléctrica, pero nuestro objetivo para este año es incursionar en otras verticales como Minería, Manufactura y Alimentos y Bebidas.

Respecto a los servicios que podemos prestar, podemos abarcar todas las etapas del ciclo de vida de un activo físico, haciendo confiabilidad desde el diseño, pasando por la mejora del mantenimiento y confiabilidad en la etapa de operación y estudios de vida útil remanente y obsolescencia cuando el activo se encuentra cercano a su etapa de desincorporación.

Una frase con la que estoy totalmente de acuerdo es la siguiente: “una imagen dice más que mil palabras”, por lo que la figura mostrada a continuación ilustra de manera general todo lo que podemos hacer.

Los recuadros enmarcan los servicios que prestamos, mientras que en “bullets” o viñetas se indican las metodologías empleadas y/o los productos generados.

Mención especial merece el servicio de Diagnóstico de Maquinaria Rotativa. Con este servicio, queremos convertirnos, como dice mi amigo y socio Enrique González, en una especie de “Equipo SWAT”, a quien llamen nuestros clientes cuando tengan un problema grave con alguno de sus equipos rotativos críticos. Para estos casos, disponemos de equipos y personal para recabar los datos necesarios, interpretarlos y diagnosticar de forma acertada el problema que presenta el equipo, y por supuesto, también indicar lo que debe hacerse para corregirlo. Incluso podemos trabajar mano a mano con el cliente implementando las soluciones propuestas.

El servicio de Diagnóstico y Mejoramiento de la Gestión de Mantenimiento y Confiabilidad lo hemos colocado arriba de todo, ya que se trata precisamente de evaluar las prácticas de mantenimiento y confiabilidad del cliente, para compararlas mediante Benchmark con las mejores prácticas, identificar oportunidades de mejora, diseñar un plan de mejoramiento y de ser requerido, acompañar en su implementación.

Todos estos servicios se complementan con los cursos y talleres presenciales y en línea que ofrece el departamento de capacitación de Predictiva21.

## En tu experiencia como Gerente Regional de Soluciones de Confiabilidad en ETM Servicios Industriales, manejaste clientes en la industria de petróleo y gas en el sureste de México. ¿Qué estrategias implementaste para gestionar eficientemente a estos clientes y satisfacer sus necesidades?

*Carlos Villegas* - Lo que voy a mencionar no es ningún secreto. El personal de la industria de Oil & Gas en México es, en general, gente con mucha experiencia en trabajo de campo. Han visto y vivido muchas situaciones adversas y han solucionado problemas de diversa índole. Por tanto, cuando hablas con ellos, no puedes inventar soluciones que no puedas probar que funcionan, porque pierdes tu credibilidad.

Estoy convencido de que todos esos años que pasé en la industria petrolera venezolana fueron vitales para mi formación como consultor. Mi experiencia como Ingeniero de Mantenimiento y Confiabilidad en PDVSA fue muy importante, porque me ha permitido hacer analogía de situaciones que experimenté

en aquellos días, con los problemas que los clientes me plantean ahora.

Otro detalle con los clientes de petróleo y gas en México es que siempre te van a preguntar: y esa solución que propones, ¿ya la implementaron en la industria petrolera mexicana? Por eso, siempre me preparo con información referente a la implementación de las soluciones propuestas, por supuesto, poniendo en primer lugar los casos de la industria petrolera mexicana.

En resumen, la clave ha sido estar siempre preparado para las preguntas o cuestionamientos que sabes que te van a hacer, y respaldar con aplicaciones prácticas reales, las soluciones que propones.

## Durante tu tiempo en E&M Solutions S.A de C.V, administraste contratos de servicio con empresas prominentes como Emerson y Halliburton. ¿Puedes compartir algunos logros destacados y desafíos enfrentados en la gestión de estos contratos?

*Carlos Villegas* - Pienso que el mayor logro fue convencer al personal gerencial de ambas empresas que podían contar con un socio comercial confiable. Para ello, nos presentamos como la mejor opción para complementar los servicios prestados por ambas empresas. En el caso de Emerson, aplicar metodologías y mejores prácticas de mantenimiento y confiabilidad como complemento del hardware y software utilizado para monitoreo de condición de equipos dinámicos e instrumentación, y en el caso de Halliburton, los estudios de optimización de procesos en instalaciones de superficie como complemento de los estudios de subsuelo enfocados al aumento de la productividad de pozos.

“ **El mayor logro es el convencer al personal gerencial de las empresas para así contar con un socio comercial confiable...**”

Para ello, tuvimos que aprobar una serie de evaluaciones de tipo técnico y financiero antes de firmar los respectivos contratos de servicio, y ya formalizada la relación comercial, tuvimos que demostrar con hechos que éramos capaces de ejecutar en tiempo y forma los proyectos que se nos encomendaban, lo cual demostramos con creces, ya que ambas relaciones comerciales duraron alrededor de 4 años, hasta que la pandemia de Covid-19 impidió continuar con las mismas.

Uno de los proyectos que recuerdo con mayor orgullo fue la evaluación técnico-económica del presupuesto de mantenimiento de una de las Gerencias de Pemex en la Región Sur. En ese caso, personalmente escuche el requerimiento del cliente, preparé la presentación para demostrarle que podíamos hacer el trabajo, diseñé el plan de ejecución, preparé la oferta técnico-económica y supervise la ejecución del proyecto, el cual culminó de forma satisfactoria, ya que el cliente pudo justificar su presupuesto y el mismo le fue asignado íntegramente.

Recientemente me encontré, después de varios años, en un congreso petrolero, con quién fue el Gerente de esa dependencia en aquellos días y con quien trabajé directamente en la concepción y desarrollo del proyecto. Dentro de los temas de nuestra conversación estuvo por supuesto el mencionado proyecto y ambos recordamos con mucha satisfacción ese logro que construimos trabajando juntos.

## Habiendo trabajado en Petróleos de Venezuela S.A durante varios años, ¿cómo influyeron tus roles en esa empresa en tu desarrollo profesional y enfoque hacia la industria?

*Carlos Villegas* - Ya lo mencioné anteriormente, estoy convencido de que mis años en PDVSA fueron la base para formarme como el profesionalista que soy actualmente.

Comencé como Ingeniero de Confiabilidad, de hecho, fui el primer Ingeniero de Confiabilidad de la División de Oriente de Lagoven, que en aquellos años era una de las filiales de PDVSA. En aquel tiempo, aunque se tenía la conciencia sobre la necesidad de aplicar ingeniería de confiabilidad, pocos tenían claro el cómo hacerlo. Así que me tocó aprender forma autodidacta y apoyándome en mi supervisor de entonces, el Ingeniero José Miguel Acosta, a quien envió un afectuoso saludo, si es que está leyendo estas líneas.

Recuerdo que comencé realizando análisis causa raíz de fallas y con el paso del tiempo me tocó desempeñar diferentes funciones. Por ejemplo, en algún momento supervisé trabajos de mantenimiento mayor a turbomáquinas y también fui remplazo del supervisor de mantenimiento predictivo en el distrito Morichal.

El punto de inflexión en mi desarrollo como Ingeniero de Confiabilidad fue la fusión de las filiales en una sola PDVSA. A partir de ese momento, se inició un programa de formación integral de ingenieros de confiabilidad y yo fui parte de este. En dicho programa fuimos entrenados por algunos de los mejores consultores internacionales de la época. Por ejemplo, en Mantenimiento Centrado en Confiabilidad fuimos entrenados por una de las empresas de John Moubray (QEPD), en Análisis Causa Raíz nos entrenó personal del Reliability Center de Bob Latino y en las diversas aplicaciones del análisis costo riesgo nos entrenó personal de Woodhose Partnership y hasta el mismo John Woodhouse.

En todos estos casos fuimos entrenados como facilitadores y líderes de equipos multidisciplinarios para aplicar estas metodologías. Este entrenamiento se complementó con la aplicación en casos reales, lo que me ayudó muchísimo a desarrollar mis competencias como facilitador, ya que tuve que interactuar con personal de diversas disciplinas, aprendiendo a escuchar a la gente, a involucrarla en los análisis y en la identificación de soluciones, lo cual fue vital para lograr el posterior compromiso en su implementación.

Mi formación se completó con la especialización en confiabilidad de sistemas industriales en la que complementé mis conocimientos con temas como confiabilidad humana y finanzas para ingenieros. Este último me ha resultado de gran utilidad a la hora de justificar económicamente opciones de proyectos.

## En tu carrera, has liderado equipos y gestionados proyectos de mejora en la industria de petróleo y gas. ¿Cuál consideras que es tu habilidad más fuerte como líder de proyectos y cómo impacta en los resultados finales?

*Carlos Villegas* - Considero que mi mayor habilidad para liderar proyectos es la correcta planeación y administración de los recursos físicos, humanos y financieros. Sin embargo, no se puede tener una correcta planeación si antes no tienes identificadas las necesidades y expectativas reales del cliente.

Muchas veces han llegado clientes a mí solicitando un determinado servicio, pero resulta que después de hacer dos o tres preguntas y obtener las respectivas respuestas, me doy cuenta de que su necesidad real es muy diferente de lo que él pensaba.

Una vez aclaradas y acordadas estas necesidades, entonces pasamos a identificar cuáles son sus expectativas, o lo que él espera como resultado del servicio.

Tener claras estas necesidades y expectativas es muy importante, es la clave para planear las actividades o tareas que necesitas hacer, incluyendo la prelación o dependencia entre ellas, el tiempo que te tomará realizarlas, los recursos humanos, físicos y financieros requeridos y finalmente, los productos o entregables que debes proveer. Si alguno de estos aspectos no está considerado en la planeación, seguramente aparecerán problemas en algún punto del proyecto. Personalmente, nunca arranco la ejecución de un proyecto sin antes revisar cuidadosamente su flujo de caja proyectado y verificar que el mismo está alineado con la planeación del resto de los recursos involucrados.

Si a la correcta planeación le sumas un equipo de trabajo de alto desempeño y el estricto seguimiento al avance del proyecto para identificar de forma temprana “banderas rojas” que te permitan tomar acciones oportunas, estás destinado al éxito.

**En un ámbito más relajado, ¿puedes contarnos alguna anécdota divertida o curiosa relacionada con tu gran trayectoria que te haya dejado una lección invaluable o simplemente te haya sacado una sonrisa en el camino?**

*Carlos Villegas* - Siempre recuerdo la primera vez que llegué a México como consultor en mantenimiento y confiabilidad. En el año 2004 me tocó trabajar en el plan piloto de implementación del SAM (Sistema de Administración del Mantenimiento) en Pemex Exploración y Producción. En mi primera visita al Activo de Producción Muspac, después de las actividades de la mañana, salí a comer con mis compañeros consultores y con el Coordinador de Mantenimiento del activo.

Ya comenté que siempre he practicado el aprender sobre la cultura del lugar que visito y que una de las mejores vías de este aprendizaje es mediante la comida. Esa vez no fue la excepción. Al llegar al restaurant, que en realidad era una Palapa al aire libre, pregunte cual era la comida típica del lugar, y resultó que todo el menú era de comida típica. Entonces, pregunte a mis acompañantes que me recomendaban y con base en las recomendaciones que recibí, decidí pedir de entrada un caldo de camarón. Ese caldo de camarón, que yo pensaba iba a ser una porción pequeña, venía servido en un plato hondo muy grande y aparte estaba hirviendo. En esos días estábamos en julio, y en Villahermosa y alrededores hacia un calor infernal. Yo ya tenía mi camisa con las mangas recogidas y sudaba a raudales, tanto por el calor como por la porción monumental de caldo que estaba consumiendo. Cuando iba a la mitad del plato, me preguntaron si quería una mojarrita, y yo, pensando que se trataba de una especie de tortilla o tostada para "remojarse" en el caldo, por supuesto que dije que sí. Peor aún, cuando me preguntaron si quería la mojarra mediana o grande, elegí la grande.

Ya con  $\frac{3}{4}$  de caldo consumido, llega la mojarra grande y me doy cuenta de que es un pescado inmenso. Al ver semejante plato de comida frente a mí pensé: Tú lo pediste, tú te lo comes. Y allí comenzó una de mis grandes proezas culinarias.

“Comenzó una de mis grandes proezas culinarias [...] Todos quedaron asombrados al final ...”

**Carlos Villegas Morán**  
Especialista en Confiabilidad  
de Sistemas Industriales



Todos se quedaron asombrados de que al final, me comí todo. Estaba riquísimo, no lo puedo negar, pero esa tarde prácticamente no podía moverme de lo lleno que estaba mi estómago. De hecho, mi trabajo con el cliente esa tarde fue muy limitado, ya que casi no podía moverme.

A partir de esa experiencia, siempre investigo en detalle cómo es la comida típica que voy a pedir en cualquier sitio y cuido de que las porciones no sean exageradas.

**Fuera del ámbito laboral, ¿qué actividades o pasatiempos disfrutas para relajarte y recargar energías? ¿Hay alguna pasión o hobby que te apasione y te gustaría compartir con los lectores?**

*Carlos Villegas* - Mi gran pasión siempre han sido los deportes. Mi Papá (QEPD) trabajó en la industria petrolera venezolana y de niño crecí en casas de fraccionamientos construidos por Creole Petroleum Corporation para sus trabajadores en el Occidente de Venezuela. Están casas se caracterizaban por tener unos patios muy grandes y la casa donde viví a la edad de 5 a 14 años, tenía un estadio de usos múltiples justo atrás de su patio trasero.

Eso para mí era el Paraíso, allí jugaba beisbol y futbol. Aparte, en la escuela jugaba basketbol y voleibol. Allí también fui miembro del equipo de atletismo, corriendo los 100 metros planos y el relevo 4x100.

Después, como adolescente, jugué tenis, aparte de beisbol, que siempre fue mi pasión y que continué jugando en la Universidad Simón Bolívar, mi Alma Mater, donde formé parte del equipo Clase A de esa institución. Entonces fui también promotor deportivo, y junto a compañeros estudiantes organizábamos los campeonatos internos de beisbol en los cuales participaban equipos internos conformados por alumnos de la universidad, y equipos externos, integrados por habitantes de las comunidades vecinas a nuestra casa de estudios.

Con el paso de los años, pasé a jugar softball y actualmente juego golf, que pasó a ser mi gran pasión y razón de celos de mi esposa desde hace unos 8 años.

Pienso que lo seguiré practicando el golf hasta que tenga fuerzas para hacerlo, con la misma pasión con la que practico la Ingeniería de Confiabilidad.



Nifersa  
Information  
Technology

Experiencia  
**+25**  
Años

# ¿Eres usuario de HxGN EAM?

(Antes Infor EAM)

Conoce los **beneficios** de nuestro  
**Servicio de soporte:**

- 1** Plataforma de gestión de incidentes
- 2** Metodología de atención
- 3** Con 3 niveles de soporte

#Somos**EAM**LATAM

Hexagon Certified

HxGN EAM Technical Implementor  
2023

Hexagon Certified

HxGN EAM Functional Implementor  
2023

CONOCE MÁS EN

[www.nifersa.com.mx](http://www.nifersa.com.mx)





# Revisión del estándar ISO 12669 para establecer el nivel requerido de limpieza (RCL) de aceites hidráulicos

**in Autor:** José Páramo

Presidente y Fundador de Grupo Techgnosis (MLT I, MLA III, RCT I, RCT II, RCT III, RCT IV y RCTV)

**D**e acuerdo a OEM's de Clase Mundial, en el sector hidráulico, como Parker, Rexroth, Vickers, Caterpillar, etc., se menciona en su literatura, que las partículas en el aceite, es decir, su contaminación con sólidos, representan entre el 80 % y hasta el 85 % de las causas raíz de falla de los sistemas hidráulicos. Y no es para menos... sólo imaginemos aceite con partículas sólidas a las altas presiones que se manejan como 2000, 3000, 5000 o hasta 10000 psi... son como balas -por su masa-velocidad- que, al impactar en las diferentes partes del sistema, como válvulas direccionales, proporcionales o servo-válvulas, por ejemplo, implican un alta desgaste erosivo de las mismas, con el consecuente daño a la operación del sistema. Dicho lo anterior, resulta entonces, de suma relevancia establecer el nivel adecuado de limpieza en términos de ISO 4406 (partículas mayores a 4, 6 y 14 micrones por cm<sup>3</sup>) para un fluido hidráulico.

Muchas empresas y organizaciones han publicado en base a su experiencia y conocimiento, guías de limpieza de los aceites hidráulicos pero, si las comparamos entre sí, no hay una coincidencia de criterios; así una empresa "X" de lubricantes sugiere un valor ISO 4406, una empresa "Y" de filtros -para el mismo sistema hidráulico- sugiere otro valor y otra empresa "Z" consultora en lubricación y/o hidráulica indica otro valor diferente... ¿A qué obvia conclusión nos lleva ello? Pues que, en los casos mencionados, no hay un criterio estándar comúnmente aceptado por todos y es aquí, donde ISO (la Organización Internacional para la Estandarización) entra a escena a través de la publicación de un estándar cuyo objetivo es unificar esos criterios y poder determinar

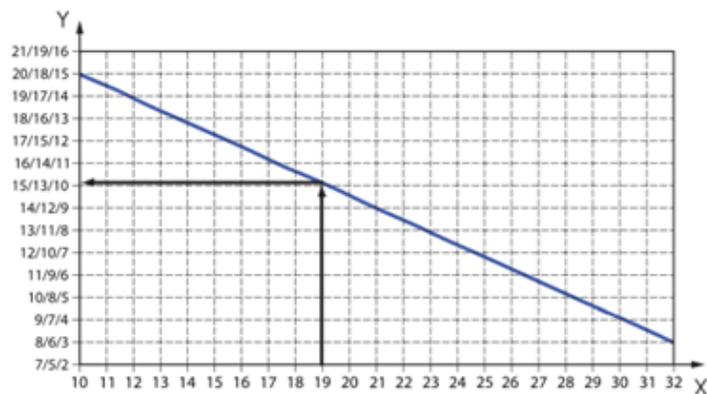
el nivel requerido de limpieza (RCL - Required Cleanliness Level, por sus siglas en inglés) de un sistema hidráulico.

En este estándar (ISO 12669) se consideran varios FACTORES DE PONDERACION (FP) que, al sumarse, determinan el RCL. En general, si las condiciones de operación no son severas, en cuanto a presiones, ciclos de operación, tipo de componentes poco sensibles a la contaminación, etc., el RCL podrá ser un valor bajo, lo cual implicará un código ISO 4406 más alto, o sea, aceite menos limpio. En tanto que si las condiciones de operación son muy críticas (variaciones de presión desde cero a la máxima posible, en ciclos muy variables, altas presiones, la presencia de elementos del sistema muy sensibles a la contaminación -como servoválvulas- por ejemplo), el valor del RCL será muy alto, lo que significa que el código ISO 4406 será muy bajo, es decir, el aceite deberá de tener un alto grado de limpieza

Revisemos cuáles son esos factores de ponderación:

1. Presión y ciclos de trabajo
2. Grado de "sensibilidad" de los diferentes componentes del sistema hidráulico (bombas de engranes, de paletas, de pistón, válvulas direccionales, proporcionales, etc.) a la contaminación con partículas
3. Expectativa de vida del sistema
4. Costo total de reemplazo de partes del sistema
5. Costo de paro
6. Riesgo de seguridad

Estos diferentes factores de ponderación se suman y, en base a ello, como se mostrará más adelante, se determina el RCL en términos del código ISO 4406. Ejemplo: Factor de ponderación (FP) de presión y ciclo de trabajo = 5, FP del grado de “sensibilidad” de los diferentes componentes = 4, FP de la expectativa de vida del sistema = 2, FP del costo de reemplazo = 3, FP del costo de paro = 4 y FP del riesgo de seguridad = 1, la suma de todos los FP es: 19. Entonces, con este valor se va a la gráfica del estándar y de ahí, se define la meta ISO 4406:



En este caso, como se observa, la meta sería 15/13/10

### Comentarios:

1. Cuando hay discrepancia o una amplia variedad de criterios, justamente ISO entra en acción y propone estándares universales. Este es el caso en lo que respecta a la limpieza de los fluidos hidráulicos, permitiendo así, que todas las empresas de lubricantes, de filtros, de consultoría, etc., “hablen el mismo idioma” y unifiquen criterios. Actualmente, en Techgnosis hemos incluido esta metodología en los entrenamientos y en las consultorías que realizamos con nuestros clientes en el mundo.
2. Este breve artículo busca difundir mejores prácticas de control de la contaminación desde un marco de referencia ya estandarizado, así como motivar a que se consulte y se use este estándar de ISO. Por razones de copyright está prohibido compartirlo, por ello, la sugerencia a nuestros lectores de que lo adquieran, pues es una excelente herramienta para incrementar la confiabilidad de los sistemas hidráulicos y el ciclo de vida de los mismos, dado que la contaminación con partículas representa, como hemos mencionado antes hasta el 85 % de las causas de falla de estos sistemas.

Una vez que se ha establecido el RCL, será necesario preguntarle al proveedor de filtros con qué filtro (de qué tamaño de poro -micraje-, de qué Tasa Beta o Eficiencia) es posible obtener el grado de limpieza objetivo y aparte, claro está, deberá también de haberse rediseñado el sistema hidráulico para evitar el ingreso de partículas sólidas al sistema, con acciones como las siguientes: sustituyendo el tapón de respiración por un filtro respirador con desecante, eliminando fugas (una fuga no es sólo un punto de salida del aceite, es también una puerta de ingreso a la contaminación), instalando fuelles en pistones, etc.

*“La estrategia de control de la contaminación implica acciones tácticas muy sencillas y es, sin duda, una estrategia de éxito... ganadora... ya que significa una muy baja inversión con un muy alto retorno para la organización”*

José Páramo obtuvo el Premio Nacional en Ingeniería Química con el Proyecto Re-refinación de Aceites Lubricantes y el Premio Nacional Lince de Oro en la Maestría de Administración de Negocios (MBA) con Especialidad en Ingeniería Financiera, ha sido Gerente Técnico, Gerente de Ventas Industriales y Gerente de Operaciones tanto de Shell México, como de Esso México. También ha ocupado los puestos de Director de Ventas Industriales de Mobil México, Director de Operaciones de Mobil de México, Caribe y Centroamérica y ha trabajado en el desarrollo de lubricantes en Shell, Esso y ExxonMobil (en este caso, en el Corporativo Mundial en Washington, D.C., USA), estas empresas le han publicado libros de lubricación y ha creado/desarrollado los programas de análisis de aceite para Shell y Esso durante el tiempo en el que laboró en tales organizaciones. Actualmente tiene 10 libros publicados y es el Presidente y Fundador del Grupo Techgnosis (Techgnosis International, Asset Tribological Management y Applitechgnosis), con operaciones de entrenamiento y consultoría en más de 20 países en Asia, Medio Oriente, Estados Unidos, Europa y América Latina. Recientemente ha recibido el título honorífico por parte de UPADI en el Congreso de Ipeman de: “Embajador Internacional de la Tribología”

### Bibliografía:

- José Páramo, “RCT I – Experto en Lubricación y Control de la Contaminación BoK ISO 18436-4 CAT I” publicado por Asset Tribological Management, S.A. de C.V., México, 2024
- Estándar ISO 12669

# TRACTIAN

## Logra una disponibilidad de +90% con un software de Gestión de Mantenimiento diseñado para gerentes

Descubre las ventajas de ser un socio estratégico de TRACTIAN.

Descubre más

Disponibilidad Total Mensual:

98,2% ▲

Agenda una demostración



# Evitar los errores humanos en los procesos productivos con el Análisis de Causa Raíz (ACR)

 **Autor: Augusto Constantino**

Especialista en Análisis Causa Raíz ACR y Resolución de Problemas Complejos CPS



**E**l error es parte del ser humano, continuamente está presente. Pero si se mantienen ocultos será una pérdida de oportunidades de aprendizaje y con ello de mejora de los procesos. Se necesita crear una cultura en la que las personas no teman reconocer los errores.

Reconocer los errores llega a ser difícil. La sociedad trata a los errores desfavorablemente, en las organizaciones la primera reacción después de cometerlo es averiguar si alguien más conoce del error o quién fue el culpable. Pero ¿se puede ocultar para que nadie se entere?

Los errores tienen impactos negativos muchas veces significativos. Por ejemplo, ¿qué sucede cuando un piloto elige la acción equivocada durante una crisis en vuelo? ¿O cuando un trabajador sin protección en una planta química se precipita a un espacio confinado?

Cuando la causa de un problema se identifica como un error humano y la acción disciplinaria es la solución elegida, no mejora la tasa de error a largo plazo, sino que aumenta el riesgo y los intentos de encubrimiento. Al proporcionar a las personas una forma más sólida de identificar las causas, es más probable que se identifiquen soluciones que resuelvan el problema de forma permanente y reduzcan el riesgo.

Al capacitar y preparar a los empleados con anticipación las organizaciones estarán bien preparadas para prevenir y responder de manera efectiva a los errores.

¿Es “más formación” la solución al error humano? Cuando algo sale mal en la organización, ¿es a menudo el error humano la causa identificada?

La capacitación en métodos efectivos de Análisis de Causa Raíz y la implementación de un Programa de ACR resuelven los problemas recurrentes atribuidos a errores humanos.

Para lograr una cultura de trabajo que haga que los errores se acepten y formen parte de un aprendizaje es necesario tratar al error humano como causas dentro de un evento, preguntar dos veces más porque sucedió y llegar a las causas sistémicas que son aquellas que están insertadas en la organización desde tiempo atrás.

El ACR y sus prácticas hacen que los errores no sean el problema, sino que formen parte del aprendizaje.

Se presenta así, como el ACR debe formar parte de la Cultura de Resolución de Problemas de la organización, con personas entrenadas en las prácticas y formando parte de la estructura de la organización.

## ¿Qué es el error humano?

Todos cometemos errores, así es como la gente no hace lo que hay que hacer por diferentes motivos. Puede ser por no saber qué hacer, conocimientos limitados, falta de formación específica, decisiones propias, negligencia y podemos seguir enumerando situaciones.

Es así como no se puede lograr el objetivo definido, por la desviación de una persona de la tarea, involuntaria o no. La mayoría de los incidentes son causados por errores humanos, en los que la participación de la persona que produce las situaciones que dan lugar a los problemas es la más significativa y la que se centra con mayor énfasis.

El objetivo no es realizar un estudio en profundidad del error humano, sino que forma parte de las causas que configuran un evento y por tanto sus desviaciones.

Es necesario considerar que el error humano produce la mayoría de las desviaciones en las tareas planificadas, sin embargo, pueden ser estudiados y prevenidos. Hay muchos estudios sobre el error humano, pero ha sido James Reason quien los ha estudiado en profundidad y ha aportado más conocimientos sobre este tema. Así, todo ello lo ha transmitido en su libro *El error humano* (1).

## Cómo suceden o se presentan en la organización

El error se presenta cuando se realiza cierta actividad y el resultado no es el esperado, cuando se quiere apretar un tornillo para hacer un ajuste, esto se hace sin el torque necesario y luego se sueltan las piezas, también cuando se quiere inflar se sabe que un neumático y no un equipo funciona y se usa incorrectamente.

Para comenzar a entender más sobre el error humano, es necesario entender cómo ocurre, cuándo y en qué condiciones. Existen diferentes casos en los que se produce un error, estableciéndose el grado de responsabilidad de la persona.

La razón menciona que los conceptos de intención y error son inseparables, por lo que analiza las variedades de cómo aparece la intención y lo hace con tres preguntas que establecen tres instancias de su aparición:

\* *¿Estaban las acciones basadas en alguna intención previa?*

\* *¿Se llevaron a cabo las acciones según lo previsto?*

\* *¿Lograron el fin deseado?*

La primera pregunta analiza si existe alguna intención de realizar una actividad. La segunda pregunta indaga si existe un plan para llevar a cabo la actividad. La tercera pregunta analiza si el objetivo se cumplió según lo previsto.

Partiendo de la primera pregunta, es posible que, si hay una intención previa, deba haber una planificación de la acción, pero si no hay una intención previa, se dice que hubo intención en acción, la acción se realiza automáticamente, como muchas actividades que hacemos.

Las acciones sin intención previa pueden o no tener intención en acción, por lo que se dividen en dos clases: las acciones intencionales sin intención en acción son acciones no intencionales o involuntarias y las acciones con intención en acción son acciones espontáneas o subsidiarias.

Acciones involuntarias o no intencionales: en este caso la persona realiza una tarea automáticamente y no tiene intención de cometer un error o dañar a otra persona o proceso. Esta es una situación que se trata mucho en el ámbito penal para demostrar que la persona no estaba al tanto de sus actos. En este caso los errores se cometen inconscientemente.

Acciones espontáneas o subsidiarias: en este caso, la persona no tiene una intención previa de hacer algo y lo hace, como cuando una persona golpea a otra sin pensar, así como realizar tareas repetitivas casi sin pensar.

Hay errores comunes que se deben a acciones sistemáticas y que ocurren cuando no hay una planificación específica, por lo que salir todos los días de casa para ir al trabajo se hace de forma automática. Los movimientos que se producen al salir, abrir y cerrar la puerta, asomarse, ir al coche, abrir la puerta, subir al coche, cerrar la puerta, etc. Son muy automáticos, se cometen errores no planificados. Un error en este caso es espontáneo, hay una acción, pero no una intención previa o planificada.

Para entender mejor la aplicación de las tres preguntas, tomemos un diagrama hecho por Reason expresado en la Figura 1:

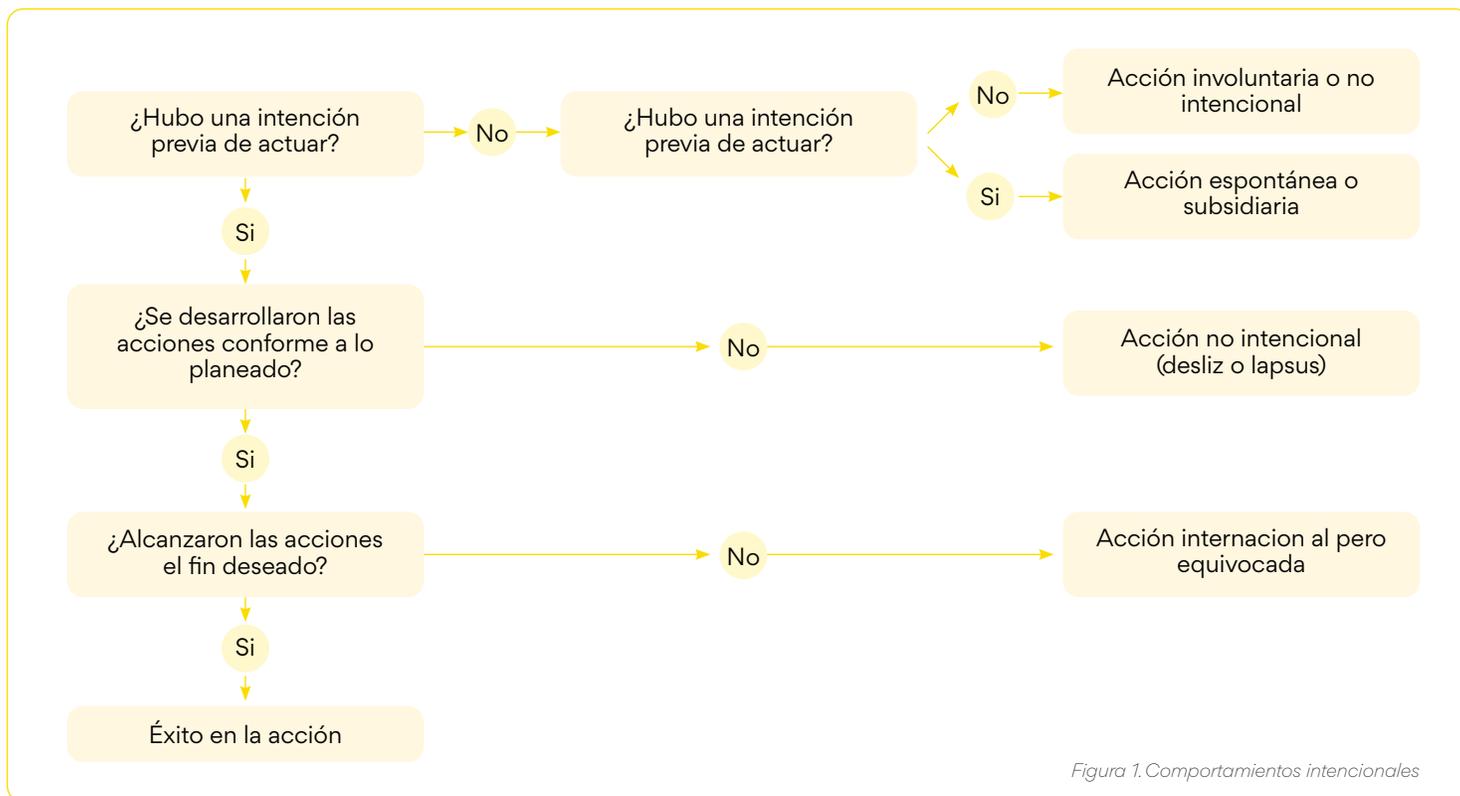


Figura 1. Comportamientos intencionales

Siguiendo con el análisis, el término error sólo puede aplicarse a acciones intencionales. Carece de sentido en relación con la conducta no intencionada porque los tipos de errores dependen especialmente de dos clases de fallos: el fallo que impide el desarrollo de la acción como se pretendía: los deslices y lapsus, y el fallo que impide su realización, las equivocaciones. Para llegar a estas formas básicas de error, se estudia la distinción entre acciones deliberadas y no deliberadas.

**Acciones no deliberadas:** son aquellas que no se desvían de la intención. Es posible que una persona tenga la intención de realizar una tarea y en momentos de distracción las acciones se desvíen de lo planeado. Esto puede ocurrir en actividades altamente automatizadas o en aquellas con pérdida de atención por algo ajeno a la tarea. También es posible que se cumpla el objetivo, pero esto sucede en un mínimo de casos.

**Acciones deliberadas:** si la tarea se realiza según lo planeado, pero no se logra la meta, se conoce como equivocaciones. En este caso, el problema reside en la adecuación del plan más que en la conformidad de las acciones que lo componen con alguna intención previa.

La distinción entre errores y deslices (lapsos): "si la intención no es la adecuada, es una equivocación. Si la acción no es la esperada, es un desliz. Las equivocaciones implican un desajuste entre la intención previa y las consecuencias deseadas. Sin embargo, en el caso de los deslices, la dis-

crepancia se produce entre las acciones que se pretendía realizar y las que efectivamente se realizaron.

Se puede decir que los errores que mayormente se estudian se basan en la planificación y sus resultados. La desviación de los procedimientos establecidos produce situaciones que son estudiadas y analizadas a partir de la actitud de la persona, por lo que es posible analizar el nivel de error humano a partir de sus conocimientos y habilidades.

### Errores, deslices y equivocaciones

Luego del análisis realizado en base a los tipos de errores, es posible tomar una definición de error en un sentido práctico relacionado con el trabajo, por lo que podemos resumir lo que es un error de la siguiente manera: Error será el término genérico utilizado para englobar todas aquellas ocasiones en que una secuencia planificada de actividades mentales o físicas no logra el resultado deseado, y cuando este fracaso no puede ser atribuido a la intervención del azar.

Cuando sucede que las acciones realizadas conducen a errores mientras están planificadas o con una planificación inadecuada, se da lugar a lo que se denomina deslices o lapsus. Los deslices son potencialmente observables como acciones que obviamente no están planificadas, mientras que los lapsus generalmente se reservan para formas de error más encubiertas, especialmente si no involucran lapsos de memoria, que no necesariamente se manifiestan en el comportamiento real y pueden ser solo obvios. por la persona que los experimenta.

Los deslices y lapsus son errores derivados de un fallo en la fase de ejecución y/o almacenamiento de una secuencia de acciones, independientemente de que el plan que las oriente sea o no adecuado para lograr su objetivo.

Las equivocaciones pueden definirse como deficiencias o fallos en los procesos críticos y/o inferenciales involucrados en la selección de un objetivo o en la especificación de los medios para alcanzarlo, independientemente de que las acciones realizadas bajo este esquema de decisión funcionen según lo planeado.

Las equivocaciones serán más sutiles y complejas y menos fáciles de entender que los deslices. En consecuencia, son, en general, un peligro mucho mayor. Por su naturaleza, los errores también son mucho más difíciles de detectar. La conciencia está específicamente entrenada para identificar cualquier desviación de la acción de la intención, pero los errores pueden pasar desapercibidos durante mucho tiempo, e incluso después de ser detectados, a veces siguen siendo objeto de debate.

A modo de resumen podemos clasificar los errores de la siguiente manera:

Fase cognitiva	Tipo de error principal
Planificación	Equivocaciones
Almacenamiento	Lapsus
Ejecución	Deslices

Tabla 1: clasificación de los principales tipos de errores

## Tipos de errores

En el marco de la funcionalidad de los errores, Rasmussen desarrolló un concepto de clasificación de errores basado en los niveles de operación. Así definió tres tipos de errores:

- Error basado en habilidades:** este tipo de error se rige por el almacenamiento de patrones de instrucciones preprogramadas. Estos están relacionados con las rutinas; un trabajo se define por una rutina que en algún momento se desvía de lo programado. Están relacionados con los deslices y lapsus. Falta de atención, que hace que se desvíe de lo planificado como práctica habitual, y atención excesiva, realizando controles de atención en un momento inadecuado durante una secuencia de acciones rutinarias.
- Error basado en reglas:** aquí el error ocurre cuando se aplica un conjunto de reglas de la forma "si, entonces" cuando ocurre un problema, el error está asociado

a la aplicación de la regla incorrecta o a la memoria incorrecta de los procedimientos. Estos errores están relacionados con errores.

- Error basado en el conocimiento:** Estos errores resultan de recursos limitados y conocimiento incompleto o incorrecto. Cada uno de nosotros tiene un conocimiento limitado, es probable que cometamos un error debido a la naturaleza única del evento. Estos errores están relacionados con errores.

En la Tabla 2 se muestra la relación entre los tres tipos de errores básicos con los tres niveles de funcionamiento de Rasmussen:

Nivel de funcionamiento	Tipo de error
Error basado en habilidades	Deslices y lapsus
Error basado en reglas	Equivocaciones basadas en reglas
Error basado en conocimiento	Equivocaciones basadas en conocimiento

## Los errores en la organización

Toda organización sea de cualquier índole está formada por personas y las personas se equivocan. Es el principio a que todos debemos atenernos, nadie es infalible, los errores estuvieron, están y estarán. Según como los acepte o no la organización serán una oportunidad de mejora o generarán nuevos conflictos.

En todos los niveles de jerarquía de la organización hay errores y ellos tendrán mayor o menor consecuencia según el riesgo que impliquen. Así si un director se equivoca puede generar que la organización desaparezca o se desvíe de sus objetivos principales y estratégicos. Si un operario se equivoca puede tener consecuencias en el producto final y, como resultado, clientes que reclamen y se pierdan.

Quizás la forma de resolverlos o el impacto que producen no es el mismo, de todas formas, ambos tendrán consecuencias negativas para la organización. No importe donde el error se produzca este debe ser analizado para que no vuelva a producirse y así tomarlo como una oportunidad de mejora.

Es importante también conocer cuáles son aquellos rubros y sectores que estudian con mayor profundidad los errores. Así el sector aeronáutico, la investigación espacial, la energía nuclear, analizan en forma sistemáticas sus errores. Es así como estos han mejorado y mejoran sus productos y procesos a límites increíbles, los resultados en la confiabilidad de sus productos y procesos lo demuestran. Los indicadores de incidentes, accidentes, paradas de operaciones y riesgo han mejorado notablemente para bien.

Por el contrario, sectores donde los errores no se solucionan sistemáticamente, ni aún se analizan, han generado mayores deficiencias en sus resultados operativos, en los productos y así el riesgo se ha elevado notoriamente.

Un error es la desviación de la intención, así si la intención es pedir 500 transistores a un proveedor y la acción es pedir 500 cajas de transistores a un proveedor, o si la intención es una casa pintada de color azul y blanca como adorno y la acción es una casa pintada de color blanco como principal y azul como adorno, o si la intención es desarmar la bomba y reemplazar el sello mecánico y la acción es desarmar el sello mecánico y reemplazar la bomba, la lista continúa. La siguiente figura puede ser útil para visualizar el mecanismo de desviación:

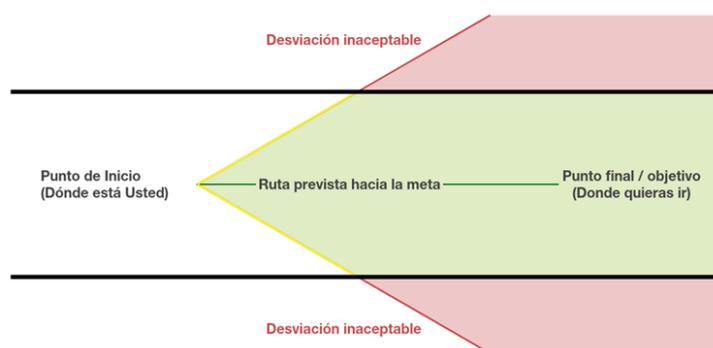


Figura 2: Diagrama de error y desviación

Este diagrama muestra el camino deseado hacia la meta junto con las desviaciones. Una vez que la desviación cruza un límite superior o inferior (lea: "Se vuelve lo suficientemente malo") se convierte en un problema.

Cualquier desviación significativa de su ruta prevista hacia su meta representa un "problema". Muchos problemas tienen al menos un componente de error humano. Si se quiere lograr los objetivos, se debe mejorar la gestión de los errores<sup>3</sup>.

## Conceptos equivocados de errores comunes

### • Los errores son defectos personales:

Este no es el caso en absoluto: todos cometen errores. Y ningún error por sí solo es suficiente para causar un resultado indeseable: requiere un sistema de causas (incluido el error) para que eso ocurra.

Los errores son siempre malos: no, no siempre. A veces los errores conducen a resultados positivos e imprevistos. Los mejores sistemas protegen a las personas de las desventajas de los errores y maximizan las oportunidades de potencial alcista.

El castigo evita que la gente cometa errores: casi nunca es así, y solo en ciertas circunstancias. La gran mayoría de las personas tienen la intención de que sus acciones den resultados positivos. Castigarlos por cometer un error a menudo

no es efectivo porque no hace nada para abordar las causas subyacentes del error. El castigo que se percibe como injusto causará que los eventos adversos no se denuncien y hará que las personas retengan información para protegerse y proteger a las personas con quienes trabajan. En realidad, esto aumenta el riesgo porque los problemas no se pueden abordar de manera efectiva cuando permanecen ocultos. Los errores, sin importar el resultado, siempre son oportunidades de aprendizaje. Muestran dónde son vulnerables los sistemas. Y si se hace un buen trabajo descubriendo las valiosas lecciones que cada error tiene, es posible crear sistemas más resistentes que sean menos riesgosos, más predecibles, que produzcan menos errores y que sean más propensos a ayudar a lograr los resultados deseados.

## La culpabilidad

Es posible que todas las organizaciones investiguen los eventos no deseados pero muy pocas abordan el error humano en forma adecuada en estos estudios. Consideran que el error humano es la causa raíz de un evento. Es así como se deja de investigar y se enfoca el problema en buscar al culpable.

La búsqueda del culpable produce un cierre del proceso de investigación, pues se considera que la persona es la causa básica del evento. Una oportunidad de mejora es seguir investigando las causas del error humano, es así como el culpable desaparece de la escena y aparece el sistema, entorno o proceso no adecuado como foco de la investigación.

Es importante tener en cuenta que la búsqueda del culpable y el castigo es contraproducente, si la cultura es culpar, lo más probable es que los errores humanos se escondan. Si sucede esto será difícil tenerlos en cuenta para abordarlos y darles solución para que no vuelvan a suceder. La persona que comete un error sentirá culpa si así se lo hace ver y será difícil que pueda aportar información para evitarlo, es más los esconderá o no brindará la información suficiente para analizarlo.

## Medidas disciplinarias

Si bien el miedo puede gobernar nuestras acciones en el corto plazo, es un ejemplo para que los demás "sean diligentes" y "no lo arruinen", ¿con qué frecuencia los errores son el resultado de la intención de hacer daño? Si bien hay situaciones apropiadas para la acción disciplinaria, la mayoría de las veces es ineficaz en comparación con cursos de acción alternativos.

Las culturas altamente punitivas hacen que las personas tengan miedo inherente al fracaso. Esto crea un clima donde los empleados evitan tomar decisiones. ¿Y por qué deberían hacerlo? Si las cosas van mal, la pena por error es más severa que por no hacer nada. Esta carga adicional de miedo en

realidad aumenta la probabilidad de que cometan errores. Y cuando lo hacen, aumenta la probabilidad de que estas oportunidades no se denuncien. Se gasta energía cubriendo errores y protegiendo a nuestros colegas en lugar de examinarlos abiertamente para buscar oportunidades de mejora sistémica.

¿Por qué cree que algunas personas eligen manejar el error humano a través del castigo? Tal vez surgieron en un sistema así y lo ven como la única manera. Quizás piensen que el miedo es un motivador constante y positivo. Es posible que quieran demostrar una acción decisiva ante el fracaso. O tal vez simplemente no saben otra manera.

La acción disciplinaria se usa para castigar a quienes toman decisiones que no son congruentes con las normas aceptables y para advertir a otros que no sigan el mismo camino. Muchos líderes no saben que más hacer. Sin embargo, la disciplina tiene un éxito limitado porque la mayoría de los errores en el lugar de trabajo no son intencionales, son causados por brechas en la atención, el conocimiento, las habilidades o los procedimientos. Cuando una investigación se centra en encontrar a la persona que cometió el error, la solución probablemente se centrará en una acción disciplinaria. Esto tendrá un impacto a largo plazo insignificante en la tasa de error. En cambio, aumentará el riesgo de que se cometan errores en el futuro. También animará a las personas a encubrir errores.

Por el contrario, al proporcionar a las personas una forma más sólida de identificar las causas condicionales, es más probable que se identifiquen soluciones que solucionen el problema de forma permanente y reduzcan el riesgo. Cuando la disciplina se quita de la mesa, el resultado es una mayor participación de quienes tienen conocimiento directo del error<sup>4</sup>.

### El error humano en el proceso de investigación

Cuando se hace una investigación de un evento al inicio del proceso se hace un relevamiento de causas, de tal forma de poder comenzar con el análisis. Existen cuatro ítems donde podemos encontrar causas y que nos permiten hacer este relevamiento: Personas, Documentos, Equipos y Ambiente, si observamos estos uno solo se refiere a la persona los demás se orientan hacia la existencia de elementos, el proceso y el entorno de trabajo.

**Un caso real:** un operario estaba realizando trabajos de mantenimiento en una caja eléctrica y para ello debía cortar la energía. Lo hace, etiqueta y bloque el equipo, pero no hace la verificación, como consecuencia cuando desconecta unos cables internos se produce un arco eléctrico que le quema la mano. La representación en el gráfico de causa y efecto es la siguiente:

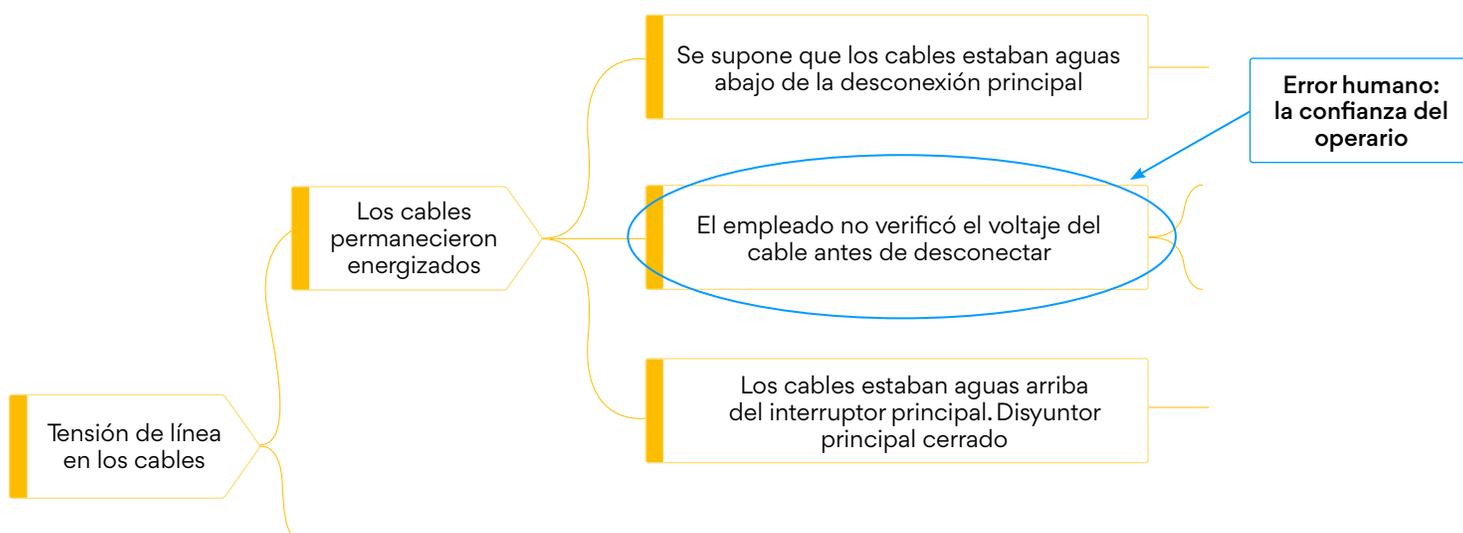


Figura 3. Gráfico de causa y efecto con el incidente

El operario siguió un procedimiento, pero no en forma completa porque debió hacer una comprobación de existencia de energía. De modo que puede ver que las personas, los procedimientos y el hardware se unen para dar lugar a una situación de existencia de energía, nunca es solo un factor. De hecho, dados todos estos factores diferentes este resultado fue casi inevitable.

Demasiadas personas dejan de investigar una vez que encuentran un error humano lo que agrava el problema. Se necesita identificar las causas que llevaron al error y aplicarles soluciones. Centrarse únicamente en el error deja sus causas en su lugar para aparecer en futuros errores.

Al detenerse en el error y usar un lenguaje crítico como "incorrecto", nos quedan pocas opciones buenas para comprender cómo ocurrió el error y, lo que es más importante, cómo resolver realmente el problema. También establece un entorno de "culpa". Tenemos que ir más allá del error para obtener una comprensión más profunda. La estrategia "Causa +2" sugiere ir al menos dos causas más allá del error, preguntar dos veces por qué.

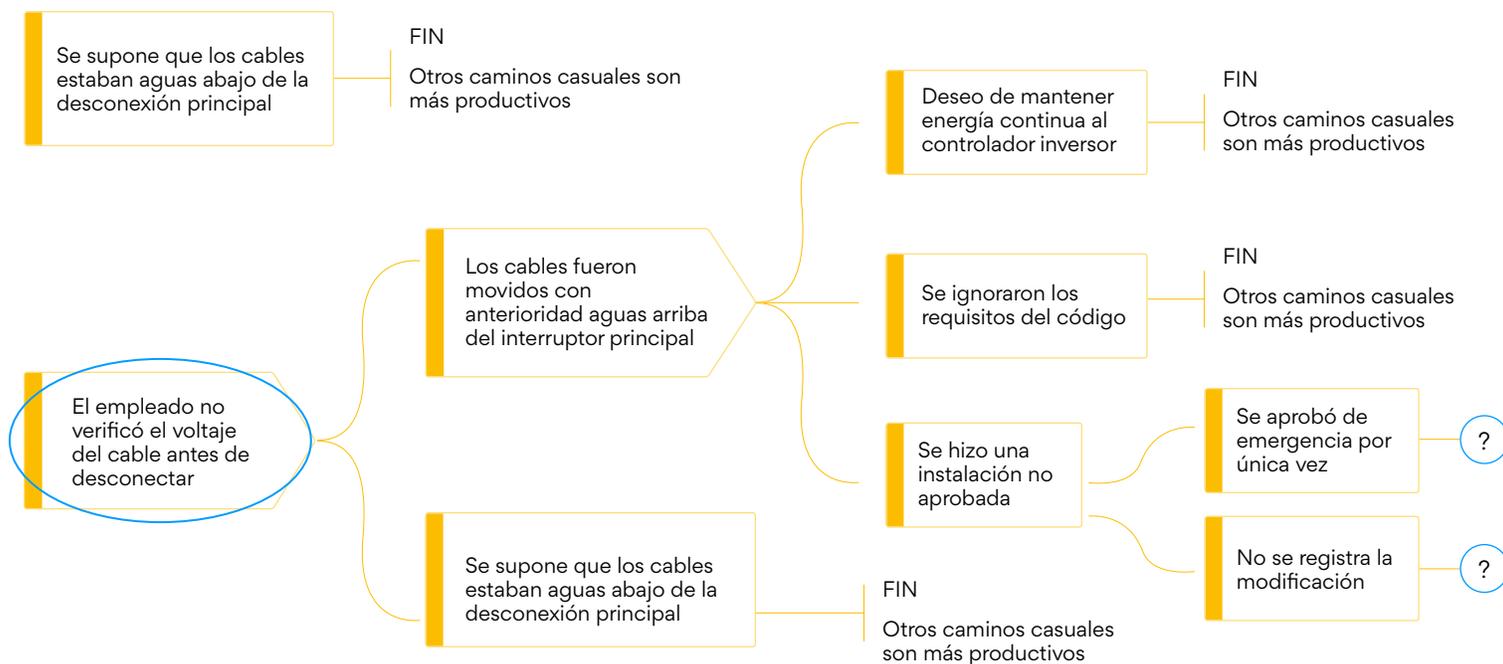


Figura 5. Continuación de la investigación preguntando por qué

Ahora se sabe más de lo que pasó y hay más opciones para evitar que vuelva a ocurrir, si la investigación se detiene en el "error" se enfocaría en la culpabilidad.

Un resultado indeseable puede considerarse como el resultado de un plan ineficaz o de una ejecución ineficaz del plan, o algunas veces de ambas. En el ejemplo anterior, el operario planeaba cortar la energía, pero el plan era el que él pensó no el que estaba definido en los procedimientos, era informal. Faltaban ciertos pasos importantes que habrían sido fundamentales. Sin embargo, la ejecución fue bien hecha, el operario logró cortar la energía.

A veces lo contrario es cierto. Una persona puede tener un plan completo y validado, pero no ejecuta el plan de manera efectiva. Vemos esto a menudo en los deportes cuando el personal de seguridad indica los pasos preventivos y los operarios lo cumplen en forma incompleta. Si alguna vez ha escuchado a alguien decir con frustración: "¡Sé lo que debo hacer, solo estoy teniendo dificultades para hacerlo!", sabrá que el resultado es el resultado de fallas en la ejecución.

Estos dos tipos de errores son los mencionados anteriormente: errores de planificación y ejecución, pero estos errores no se hacen con una intención de generar daño, sino que son intencionales en el sentido de hacer lo planificado.

En la relación causal de la figura anterior, vemos que el "operario actuó" fue una parte crítica del error. De hecho, no es posible que una persona cometa un error sin decidir actuar. ¿Pero cuáles son los componentes subyacentes de tal decisión?<sup>3</sup>.

- Medios para actuar: no puedes actuar si no eres capaz de actuar.
- Motivo para actuar: no actuarás sin motivación.
- Oportunidad de actuar: no puede actuar si no tiene la oportunidad.
- No hay una buena razón para no actuar: si una persona tiene una razón suficiente para no actuar, no lo hará.

### Llegando a las soluciones

Una vez que tenga una comprensión profunda del error se puede resolver. La única forma de evitar que un problema vuelva a ocurrir es controlar, cambiar o eliminar una o más de sus causas que lo componen. Si ha hecho un buen trabajo con su análisis causal, tiene una base excelente para desarrollar un conjunto de soluciones. Nada dice que tiene que limitar tus esfuerzos a una sola causa. De hecho, la mejor manera de resolver un problema es identificando una lista de acciones a corto plazo junto a un grupo de soluciones a largo plazo que pueden requerir una mayor inversión de tiempo

y dinero. Solo asegúrese de no recomendar soluciones que cuestan más de lo que vale el problema en sí, haciendo que el retorno de la inversión sea bajo.

Los ejemplos de soluciones a corto plazo incluyen cambios en los procedimientos, capacitación, auditoría y supervisión. Estas soluciones a menudo proporcionan un medio inmediato y rentable para reducir el riesgo de que vuelva a ocurrir el mismo error. Sin embargo, si desea desarrollar resiliencia en sus sistemas, debe encontrar soluciones que gestionen el sistema de riesgo.

Por ejemplo, volviendo al error de quemadura de la mano del operario, podríamos capacitar de inmediato al operario sobre la necesidad de completar el proceso de bloqueo, etiquetado y comprobación y asegurarnos de que lo haga en todos los casos. Podríamos proporcionar una ayuda laboral que él podría tener presente en forma diaria. Incluso podríamos hacerle demostrar la habilidad para hacerlo. Todas estas acciones ayudarán a reducir el riesgo de que esto vuelva a suceder.

Pero, ¿hasta dónde llegarán esas acciones limitadas para eliminar el riesgo de errores futuros similares? Una alternativa es una doble verificación por parte de un supervisor o de otro operario, un check-list adicional y una doble comprobación, todo eso junto.

## Hacia el futuro

En que enfocarse en el futuro y tener en cuenta a modo de resumen:

1. Asegúrese de comprender los conceptos erróneos comunes sobre el error humano.
  - Todos cometen errores
  - No todos los errores son malos
  - Castigar a las personas por errores rara vez es efectivo
2. Los errores tienen causas, al igual que cualquier otro evento. Se puede controlar mejor los errores cuando se controlan las causas del error.
3. La gente puede sentirse incómoda al hablar de los errores. Pero esto generalmente desaparece cuando ven que su error fue solo una de las causas en el sistema.
4. Asegúrese de ir al menos dos causas más allá del error para identificar sus precursores
5. Buscar errores en la planificación y ejecución.
6. Busque errores basados en habilidades, reglas y/o conocimientos.
7. Es mejor encontrar múltiples soluciones para cualquier problema.

8. Las soluciones que solo se centran en las personas tendrán un impacto limitado.
9. Las soluciones que diseñen el riesgo serán mucho más sostenibles y resistentes.

## Causas sistémicas que integran al error humano

Un párrafo aparte requiere las causas sistémicas, aquellas que se repiten en la organización y también forma parte del error humano, las equivocaciones frecuentes debido a hacer las cosas siempre de la misma forma.

Muchos de los errores se deben a acciones repetitivas y con falta de control, por confianza, acostumbamiento, falta de atención. Estas causas de error son la que perduran en el tiempo y, que de alguna forma, permanecen instaladas en la organización.

Dentro de un gráfico de causa y efecto se encuentran al final del gráfico, a la derecha, en el pasado, por eso son sistémicas. Son causas que están presente desde hace mucho tiempo, por eso aparecen allí.

La forma de detectar estas causas es seguir avanzando con el gráfico hacia el pasado, seguir preguntando aún después del error humano o de causas que nos parecen como las principales del evento. Es posible seguir preguntando hasta que se decida parar, pero parar tendrá que ver con que lo que se pregunta está fuera de lo que se está analizando o puede pertenecer a otra investigación.

Estas causas que están instaladas en la organización forman parte de la Cultura de la organización y esto hará que se deba emprender una nueva tarea: la de cambiar la Cultura Organizacional.

## Cultura organizacional

La cultura de una organización se define con la creación de esa organización y se continua en el tiempo manifestada por la forma de actuar, comunicarse y operar cuya identidad está arraigada en las personas que la componen. Es así como toda persona que se incorpora a una organización tendrá la necesidad de entender y aceptar su cultura.

La cultura es una identidad propia de los países, ciudades y de la sociedad en general, esto también incluye a la cultura dentro de una organización lo que hace que la caracterice en su forma de actuar y desempeñarse en un sector, rubro, segmento, o donde esta desarrolle su actividad.

La Cultura Organizacional se puede definir como el conjunto de creencias y valores manifestados en normas, procesos, actitudes, comportamientos que orientan la conducta de los miembros y les permiten percibir, juzgar, sentir y actuar en las diferentes situaciones y relaciones de forma estable y coherente dentro de un ambiente organizacional.

La Cultura Organizacional es la médula de la organización que está presente en todas las funciones, niveles y acciones que realizan todos sus integrantes, nace en la sociedad, se administra mediante los recursos que la sociedad le proporciona y representa un activo factor que fomenta el desenvolvimiento de esa sociedad. Es difícil evaluarla de manera objetiva porque ésta se asienta sobre las suposiciones compartidas de los sujetos y se expresa a través del lenguaje, normas, historias y tradiciones de sus líderes.

Así, considerando a una organización como aquella cuyas actividades se desarrollan dentro lo público o privado, con o sin fines de lucro, entregando productos en forma de bienes o servicios, es la organización como se manifiesta en base a sus creencias y definiciones particulares identificadas en sus Propósitos particulares que la identifican: Visión, Misión, Valores y Políticas.

Un cambio cultural trae aparejados movimientos internos que forjan cambios en la estructura interna de la organización, en las operaciones, en las relaciones personales, en la forma de entender a la organización y, posiblemente, en las formas de actuar dentro del espacio de negocios donde se desempeña. La consecuencia final es un cambio de paradigmas que trae innovaciones en sus productos y servicios, generar nuevos negocios, posicionamiento en el mercado y cambios en la visión, misión y objetivos a futuro.

### Cultura de Análisis de Causa Raíz

Muchas organizaciones tienen y aplican procesos de resolución de problemas. Frecuentemente estas prácticas no son eficaces porque los métodos no son los adecuados, las prácticas no son suficientemente efectivas o no adecuadas para los casos que se investigan, los tiempos necesarios para las investigaciones son cortos, la necesidad de acortar tiempos para la toma de las decisiones y otros motivos que hacen que los problemas se repitan y no se puedan solucionar.

La forma que las organizaciones resuelven sus problemas y toman decisiones también le son propias, lo hacen a su manera y crean una cultura en las formas de resolver de problemas, a través de ella abordan los problemas, los analizan y toman acciones con el objetivo de que no vuelvan a repetirse. Es decir, una cultura de resolución de problemas, basados en prácticas conocidas como de Análisis de Causa Raíz, especial, propia, que deriva en procesos internos establecidos y aplicados por las personas que la integran.

Ante la situación planteada, se entiende como la necesidad de resolver problemas no es solo un tema práctico sino también cultural. Esto se observa por la combinación de algunos factores que caracterizan a la resolución de problemas: la necesidad de resolverlo, el tiempo dedicado y la forma de hacerlo.

La organización que en mejor forma define estos factores y los aplica es aquella que tendrá una Cultura de Análisis de causa Raíz que la identifica, que la hace propia y que lo demuestra permanentemente. Así es como definirá un proceso efectivo y lo desarrollará en forma de gestión transversal implicando a las líneas de responsabilidad vertical establecidas, similar a cualquier sistema de gestión aplicado.

La Cultura de Análisis de Causa Raíz permite entender que el error humano forma parte de las causas de todo evento y que no son las causas que produce un evento, sino que pueden estar integrando un lote de causas que son necesarias tratar para que no vuelvan a ocurrir. Donde la culpabilidad no tiene lugar, dando así espacio para que las personas investiguen los errores propios o ajenos, sin temor a represalias o sanciones.

La forma de instalar esto en la organización es produciendo un cambio organizacional y tomando a la investigación de eventos como un proceso de mejora continua más dentro de la organización. La instalación de un Programa de Análisis de Causa Raíz es una forma de hacerlo estructuradamente y en forma eficiente.

### Programa de Análisis Causa Raíz

La organización que en mejor forma resuelva los tres factores mencionados anteriormente será aquella que tendrá una Cultura de Resolución de Problemas que la identifica, que la hace propia y que lo demuestra permanentemente. Así es como definirá un proceso efectivo y lo desarrollará en forma de gestión transversal implicando a las líneas de responsabilidad vertical establecidas, similar a cualquier sistema de gestión existente.

Desarrollar, instalar y aplicar un Programa de Análisis de Causa Raíz permite crear una cultura orientada a enfocarse en los problemas, llevándola a resolverlos en forma efectiva y transformándolos en una oportunidad de mejora.

El Programa ACR está completamente alineado con los desafíos únicos de resolución de problemas de una organización y los objetivos comerciales en constante evolución. Ofrece prácticas de ACR estructuradas, adoptadas en todos los departamentos y sectores, que permite que las lecciones aprendidas se compartan claramente entre los equipos y la alta gerencia en tiempo real.

Las organizaciones que incorporan una Cultura de ACR a través del Programa ACR, proporcionarán a su personal un conjunto de habilidades que transforma la participación, la retención y el rendimiento de los empleados.

Para una efectiva implementación del Programa de ACR es necesario establecer las acciones a realizar, los responsables y el tiempo para el desarrollo integral. Por ello es necesario que cada etapa sea definida con anterioridad dando lugar a un plan integral que asegure el éxito.

## Contenido del Programa de ACR

Para una efectiva implementación del Programa de ACR es necesario establecer las acciones a realizar, los responsables y el tiempo para el desarrollo integral. Por ello es necesario que cada etapa sea definida con anterioridad dando lugar a un plan integral que asegure el éxito. El contenido de un Programa de ACR se desarrolla a continuación:

### 1. Liderazgo

En todo proyecto es necesario establecer quienes son los impulsores y los que llevarán a cabo la gestión principal dentro de la organización. Como todo proyecto es necesario que se establezcan estas posiciones para comenzar con un liderazgo definido que asuma la responsabilidad y coordine las actividades en forma integral.

### 2. Metas y Objetivos

Un Programa ACR apoya las metas y los objetivos más amplios de la organización, así las personas que apoyan y financian el programa comprenden completamente el valor que el Programa ACR proporciona para ayudar a alcanzar estos objetivos. De hecho, el Programa ACR no debe ser percibido como un obstáculo o burocracia que dificulta el trabajo. Toda organización tiene problemas que resultan en costosas desviaciones del plan, reconocer y manejar estos problemas ayuda a reducir el riesgo y aumenta la probabilidad de que se alcancen los objetivos.

Las metas se pueden dividir en dos áreas: Globales e Individuales. Los objetivos globales son los mismos para todos en la organización. Los objetivos globales clásicos están dentro de la gestión de seguridad, medio ambiente y calidad, mantenimiento, operación, logística, TI y otros. Los objetivos individuales son específicos para la unidad de negocio, sector o área específica de responsabilidad.

La forma de evaluar y mejorar todo plan de trabajo es definiendo metas y objetivos alineados con los estratégicos y particulares de la organización y midiendo su evolución para tomar acciones que hagan al éxito del proyecto.

### 3. Disparadores de ACR

Para determinar cuándo se debe investigar un evento es necesario medir el riesgo de los procesos de la organización, lo cual permitirá determinar aquellos que son más propensos a generar desviaciones en las metas y objetivos. La forma de la evaluación es definida por la organización en función de la criticidad de los procesos, el mercado en que actúa y los que defina por algún otro requisito del sector sea privado o gubernamental.

También, en base a las metas y objetivos, los KPI y las métricas del programa, serán establecidos los criterios umbrales o disparadores, que establecen los valores reales de cada uno de ellos.

### 4. Método de ACR:

Esta etapa es la central del desarrollo del programa, es la que se entrena y se aplica el proceso de investigación en toda su magnitud, por esto se compone del desarrollo del entrenamiento definido con los objetivos del programa y de la ejecución para aquellos casos donde es necesario investigar los eventos que se presentan, derivados de los disparadores.

### 5. Software de ACR:

El software es un apoyo inmejorable para aplicar las Prácticas de ACR y realizar la gestión de todas las investigaciones. La utilización de software de apoyo para una gestión completa y efectiva es hoy una necesidad indiscutible, se seleccionará el software adecuado a la gestión.

### 6. Mejora continua

El proyecto debe ser evaluado en conjunto por el Liderazgo y los participantes, dentro del plan debe establecerse cuando se realizarán actividades de evaluación estratégica del proyecto, aportando los resultados de los indicadores y las metas y objetivos del plan. A medida que el Programa ACR madura, deben aportarse ideas de mejora e implementarlas. Estas ideas pueden provenir del Liderazgo, de la Dirección o de quienes realizan los ACR.

### 7. Comunicación

Todo proyecto en la organización debe ser comunicado y entendido por todos sus integrantes, en este caso también será necesario hacerlo. La Cultura de ACR se instala en la organización dentro de sus raíces y es así como deben asumirla todos los integrantes, será la forma de resolver problemas y tomar decisiones que permanezca y no como un elemento adicional.

## Conclusiones

Partiendo del desafío que presenta el presente análisis enfocado en los errores humanos, comencé por analizar el error humano y cómo este se presenta en la realidad. Reason ayudó en este camino de análisis y entendimiento de las diferentes alternativas en que se presenta, enfocado en la planificación y la ejecución.

He analizado como se presenta y continué haciéndolo con un caso de la realidad donde se pudo observar las causas asociadas al error humano. Luego como se tratan y como es posible no quedarse detenido en el error y la culpabilidad para avanzar con el análisis hacia los procesos y sistemas. Es así como dejé de lado que la causa de los problemas son las personas y sus errores y me enfoqué en controlar el proceso a través de causas relacionada con las existencias de elementos, cambios en las instalaciones, ambientes y equipos.

De esta forma se pueden encontrar más causas luego de superar a aquellas que contienen errores humanos, también entender la existencia de causas sistémicas, como las que está dese hace mucho tiempo en la organización y son muy difíciles de eliminar, principalmente porque está arraigadas a la Cultura de la organización.

Recorrí los conceptos de Cultura Organizacional y como es posible cambiarla y mejorarla en la organización, también abordando lo que se llama Cultura de Análisis de Causa Raíz. Esto es fundamental para que los problemas se solucionen, tomar a los problemas como eventos que hay que solucionar sin culpabilidad y haciéndolo con un proceso efectivo de Análisis de Causa Raíz me llevó a definir lo que es un Programa de Análisis de Causa Raíz.

Quise describir esta secuencia como cierre y conclusión, demostrando que la relación entre el Error Humano y el Programa de Análisis de Causa Raíz tiene una lógica, una secuencia.

Saber que las organizaciones tienen problemas y que estos seguirán existiendo, que la forma de abordarlos es con un proceso efectivo de resolución de problemas, que no se debe enfocar hacia la culpabilidad es fundamental para una organización que aprende y se orienta hacia la mejora continua.

Esto trae aparejados cambios en la cultura y la necesidad de una planificación efectiva de la resolución de problemas, lo que lleva a concluir que la resolución de problemas es una actividad como cualquier otra en la organización, de la misma forma que existen personas dedicadas a la calidad, las operaciones, la logística debe haber personas que resuelva problemas.

Estas deben ser entrenadas específicamente y liderarán a los grupos de investigación. Las soluciones a los problemas como resultados de las investigaciones con un alto retorno de la inversión, serán plenamente justificantes de su existencia. Todo ello acompañado de una cultura moderna de enfoque en la gestión y un programa estructurado para abordar los problemas.

La resolución de problemas complejos es y será una actividad del futuro.

## Bibliografía

1. J. Reason, El Error Humano, p.30-40, Ed. Modus Laborandi, SL, 1era. Edición, Madrid, España, Enero 2009
2. J. Reason, El Error Humano, p.93-94, Ed. Modus Laborandi, SL, 1era. Edición, Madrid, España, Enero 2009
3. Ebook, El error humano, Sologic, 2015.
4. B. Hughes, Reducir los riesgos sistémicos del error humano, Conferencia ASSE "Safety 2010" <https://www.sologic.com/es-mx/recursos/articulos>

# Calendario de cursos Predictiva21

**PREDICTIVA21**

## Año 2024

**MAR**  
**05**

Diplomado de  
Confiability

**ABR**  
**13**

Gestión y Optimización  
de Inventarios para  
Mantenimiento

**JUN**  
**04**

Gestión de Activos ISO  
55001 e ISO 14224 en  
ambiente SAP ERP

**JUL**  
**13**

Técnicas de Análisis de  
Fallas y Solución de  
Problemas a través del  
Análisis Causa Raíz (RCA)

**AGO**  
**17**

Análisis de Confiability,  
Disponibilidad y  
Mantenibilidad (RAM)

**OCT**  
**12**

Diplomado de  
Mantenimiento

**NOV**  
**16**

Planificación,  
Programación y Costos  
de Mantenimiento

 +52 993 287 2551

 [ventas@predictiva21.com](mailto:ventas@predictiva21.com)  [predictiva21.com](http://predictiva21.com)

# Gestión Energética Eficiente: Clave para evitar multas en México



**in Autor: Leonardo Vieira**  
Co-Founder & CEO TRACTIAN México

## La Importancia de la Gestión Energética en México

La gestión eficiente de la energía no es solo una medida para reducir costos operativos, también es un **requisito crucial para cumplir con regulaciones estrictas y evitar sanciones**. En México, actualmente la pauta empresarial está marcada por un enfoque creciente en la eficiencia y sostenibilidad energética, así como en la responsabilidad social. Las empresas están descubriendo que una estrategia proactiva en la gestión energética puede marcar la diferencia entre prosperar y enfrentar desafíos financieros y regulatorios significativos.

Esta práctica también **mejora la eficiencia operativa de las empresas**. A medida que el país avanza hacia una economía más consciente del impacto ambiental y de la posibilidad de **reducir costos operativos con una buena gestión de la energía, la adopción de soluciones innovadoras se vuelve crucial** para mantener la competitividad y sustentabilidad de las organizaciones.



## ¿Qué es la Gestión Energética y por qué es crucial?

La gestión energética es fundamental en el ámbito empresarial y organizacional debido a su impacto directo en la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental. Este proceso implica **no solo el monitoreo y control del consumo energético, sino también su optimización para asegurar un uso responsable y efectivo**. En el contexto de México, donde las regulaciones sobre el Factor de Potencia –por ejemplo– son particularmente

estrictas, una gestión energética adecuada tiene aún mayor relevancia. **El incumplimiento de estas normativas puede ocasionar sanciones financieras significativas**, haciendo imprescindible una estrategia proactiva y bien estructurada para la gestión energética.

Las empresas deben considerar la gestión energética como un pilar clave para su éxito y sustentabilidad a largo plazo. No solo se trata de cumplir con las leyes y evitar multas, sino también de adoptar una visión estratégica que abarque la reducción del consumo energético, la mejora de la eficiencia de los procesos y la disminución del impacto ambiental. Al implementar prácticas de gestión energética efectivas, las organizaciones se benefician económicamente, contribuyen a un futuro más verde y sostenible, e incluso pueden incrementar su valor de marca al recibir certificaciones medioambientales, lo cual es esencial en el panorama actual de responsabilidad corporativa y conciencia ambiental.

## Principales objetivos de la Gestión Energética

 <p><b>Incrementar la Eficiencia Energética</b></p>	<p>Al mejorar la eficiencia energética, las empresas pueden lograr un <b>rendimiento superior con menos recursos</b>, lo que se traduce en una reducción significativa de costos operativos.</p>
 <p><b>Cumplir con las Regulaciones</b></p>	<p>Las empresas que se adelantan a estas regulaciones <b>evitan sanciones y multas</b>, y también se posicionan como líderes responsables en sus respectivos sectores.</p>
 <p><b>Reducir el Impacto Ecológico</b></p>	<p>La reducción de la huella de carbono es un imperativo en la lucha contra el cambio climático. Este compromiso puede abrir <b>nuevas oportunidades de mercado</b> y <b>mejorar las relaciones</b> con los stakeholders.</p>
 <p><b>Disminuir el Consumo de Energía</b></p>	<p>Adoptar tecnologías innovadoras y prácticas eficientes para reducir el consumo total de energía es un objetivo crucial. Las <b>energías renovables</b> y <b>soluciones de eficiencia energética</b> pueden ser clave en este proceso.</p>

## 4 Beneficios de una Gestión Energética Efectiva

La gestión energética efectiva no es simplemente una estrategia operativa; representa una transformación fundamental en la interacción de las empresas con el medio ambiente y la sociedad. Al implementar prácticas energéticas eficientes, las organizaciones logran mucho más que una simple reducción en el consumo de recursos y costos. Se convierten en líderes de un tiempo de producción sostenible y responsable.

### 1 | Conservación de Recursos y Ahorro Económico:

Al optimizar el uso de la energía, las empresas logran una reducción significativa en su consumo, lo que se traduce directamente en ahorros en las facturas de energía y de recursos naturales, algo que más y más clientes exigen.

### 2 | Liderazgo en Energía Limpia:

La adopción de tecnologías y prácticas de energía limpia coloca a las empresas a la vanguardia de la innovación, con lo que establecen nuevos estándares para sus industrias, mostrando el camino hacia un futuro energético más sostenible.

### 3 | Reducción de Emisiones de CO2 y Combate al Cambio Climático:

Cada paso hacia una gestión energética más eficiente es un paso en la reducción de las emisiones de CO2, el cumplimiento de regulaciones ambientales más estrictas y en la lucha contra el cambio climático.

### 4 | Mejora de la Imagen Corporativa:

En un mundo donde los consumidores y stakeholders valoran cada vez más la sostenibilidad, las empresas que practican una gestión energética eficiente mejoran su imagen y reputación. Esta responsabilidad ambiental se traduce en una ventaja competitiva, atrayendo a clientes, inversores y talentos que comparten estos valores.

## Implementación de un Sistema de Gestión Energética en tu empresa

La implementación de un Sistema de Gestión Energética (EMS por sus siglas en inglés) basado en **la norma ISO 50001 es como embarcarse en un viaje hacia la excelencia operativa**. Comienza con la planificación meticulosa de acciones específicas, seguida de la ejecución precisa de medidas energéticas. Pero no termina allí. La verdadera magia ocurre en la fase de verificación, donde se mide el impacto de estas acciones, y finalmente, en la adaptación y mejora continua. Este ciclo constante de evaluación y ajuste garantiza que tu empresa no solo alcance, sino que mantenga y mejore su eficiencia energética, marcando el camino hacia un futuro más sostenible y rentable.

## Energy Trac: La solución innovadora de TRACTIAN para la Gestión Energética

En TRACTIAN, reconocemos que cada planta industrial tiene su propia identidad y conjunto de desafíos energéticos. Por ello, hemos diseñado **Energy Trac**, una solución de vanguardia para la gestión energética, combinando tecnología IoT avanzada y análisis de datos precisos para proporcionar una experiencia de monitoreo energético personalizada y adaptable.

### Tecnología Avanzada y Personalización

Energy Trac se distingue por su tecnología IoT de medición no invasiva, que se instala en menos de 10 minutos y mide **hasta 5000A y 480V** entre fases. Su capacidad para conectarse a través de **3G/4G** sin depender de Wi-Fi hace que la integración con tus sistemas existentes sea sin esfuerzo y escalable.

### Aplicaciones Versátiles de Energy Trac

Desde cuadros eléctricos hasta motores de baja rotación, Energy Trac está equipado para mejorar la gestión de energía en una amplia gama de activos. **Identifica problemas** directamente en la estructura de potencia, encuentra fallos en la red eléctrica, y **analiza la eficiencia y calidad** energética de tus operaciones.

### Optimización Continua y Monitoreo en Tiempo Real

Con Energy Trac, la optimización del Factor de Potencia es una tarea continua. Evita multas por incumplimiento y reduce el desgaste innecesario de tus equipos gracias a su **monitoreo en tiempo real**, que te permite una reacción rápida y eficaz ante cualquier desviación del FP ideal.

### Monitoreo y Alertas Proactivas

Con un monitoreo 24/7, Energy Trac ofrece visibilidad completa de los indicadores eléctricos clave y la salud de tus activos. La capacidad de recibir **notificaciones en tiempo real** te posiciona un paso adelante en la **prevención de fallas y la mejora de la sostenibilidad energética**.

### Toma de Decisiones Informadas

La plataforma proporciona **análisis detallados y alertas** para prescribir acciones correctivas a la menor señal de anomalía eléctrica o mecánica. Esto permite tomar decisiones basadas en datos, reduciendo riesgos y maximizando la eficiencia y la productividad de tus operaciones.



Figura 1. Sensor de Monitoreo de corriente Energy Trac



## Conclusiones

En un tiempo crucial de innovación y sostenibilidad, la gestión energética efectiva representa un punto clave en el desarrollo empresarial de México. Más que una mera práctica para la eficiencia operativa, se ha convertido en un símbolo de progreso, responsabilidad y liderazgo en la era moderna. Las empresas que adoptan y perfeccionan sus estrategias de gestión energética están forjando un camino hacia un futuro más verde y sostenible, liderando con el ejemplo en la lucha contra el cambio climático.

Las soluciones innovadoras como Energy Trac de TRACTIAN son testimonios de cómo la tecnología y la visión pueden transformar la gestión energética, ofreciendo a las empresas las herramientas para navegar con éxito en este panorama cambiante. Al adoptar tales soluciones, los líderes empresariales aseguran su cumplimiento normativo, eficiencia operativa, y elevan su posición en el mercado como pioneros en una era de conciencia ambiental y eficiencia energética.

Este es un momento emocionante para las empresas en México, donde la gestión energética se convierte en un símbolo de crecimiento e innovación.

TRACTIAN

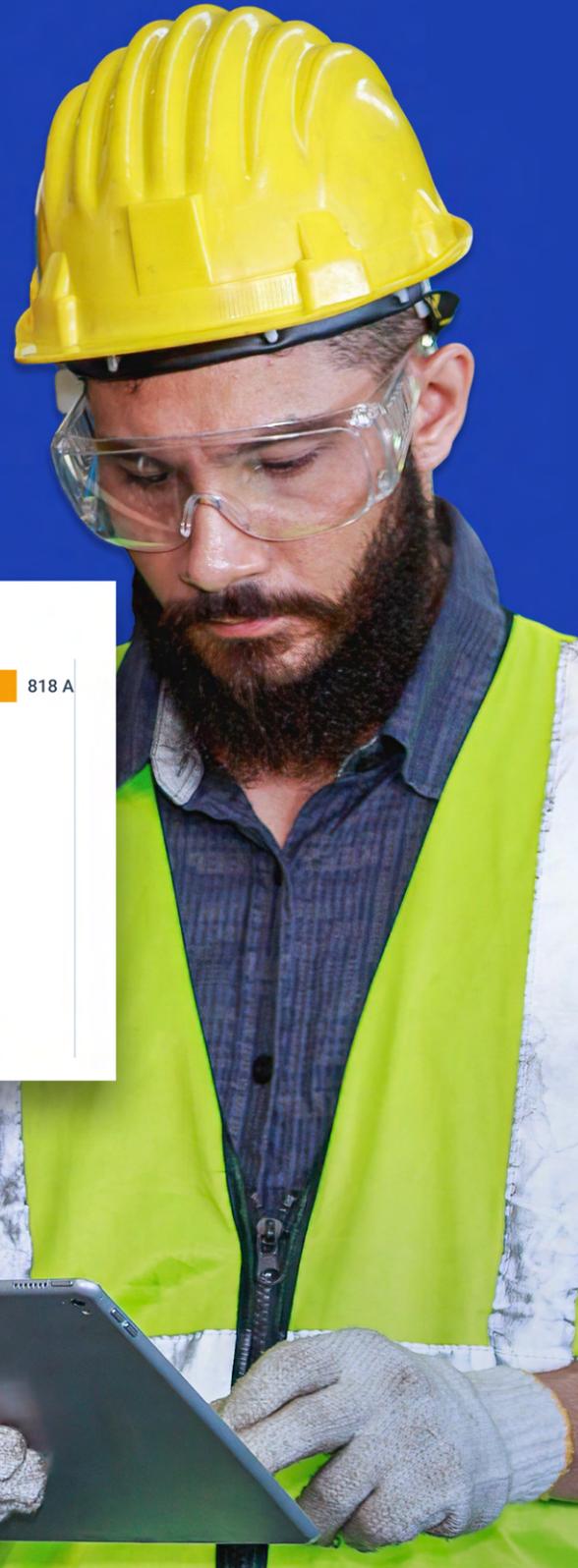
# Diseña una estrategia para lograr eficiencia energética en tu planta.

Reduce el consumo eléctrico de tus máquinas con nuestro sistema de monitoreo.

Da el siguiente paso



Escanea y conoce más



# Aumento de la carga dinámica en rodamientos por causa del desbalance



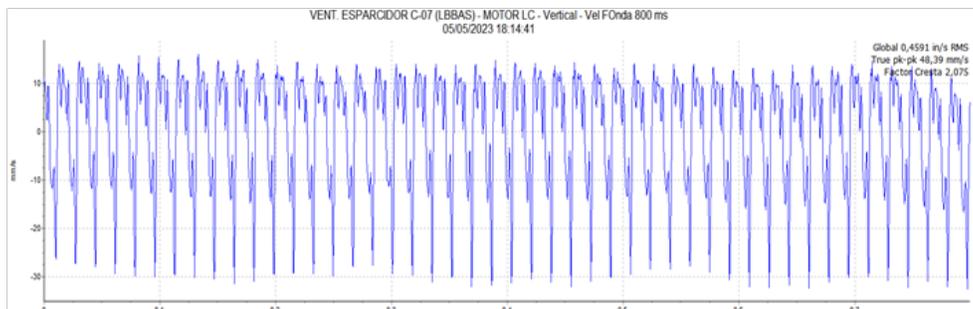
**in Autor:** José Daniel Acosta Robles  
Superintendente de Mantenimiento Predictivo  
en Grupo Zucarmex

A continuación, se presenta un caso de estudio, con la finalidad de entender la influencia que tiene el efecto de desbalance en los rotores dinámicos, y como este fenómeno afecta directamente en la vida útil de los rodamientos.

Se da seguimiento a los valores de vibración al ventilador esparcidor de una caldera, donde a lo largo de las rutinas se pudo observar aumento de la vibración debido al incrustante de bagacillo en el ventilador (0.7 in/s Rms), provocando desbalance en varias ocasiones, el mayor efecto de la vibración es resentido por los rodamientos del motor presentando impactos de alta frecuencia modulados a la velocidad del motor (3600 CPM).



En análisis de forma de onda se puede observar la limitación de la vibración, principal indicativo de holgura mecánica tipo C en el motor es probable exista una combinación de desbalance y holguras principalmente en los alojamientos o rodamientos del motor. Por lo cual se recomienda una vez se corrija el desajuste del alojamiento y rodamientos del motor, realizar un balanceo dinámico del ventilador.



*Vibración limitada a una sola dirección producida por holgura excesiva*

En el estudio de la forma de onda se puede observar el comportamiento de la vibración en función del tiempo, cuando la naturaleza de la vibración es limitada en su recorrido por la aparición de holguras, muestra un dominio del sentido en amplitud en este caso es negativo.

Después del análisis realizado se programa la intervención del motor, obteniendo hallazgos importantes, en los cuales se puede observar la holgura o falta de ajuste en las cajas del rodamiento del motor, acompañado de un desajuste interno de los rodamientos, posiblemente causado por el aumento de la carga dinámica en los rodamientos provocado por el desbalance del rotor.



Rodamiento 6311. Se pudo detectar ajuste fuera de lo normal (holgura) en la caja de los rodamientos, provocando la ralladura de la pista exterior del rodamiento

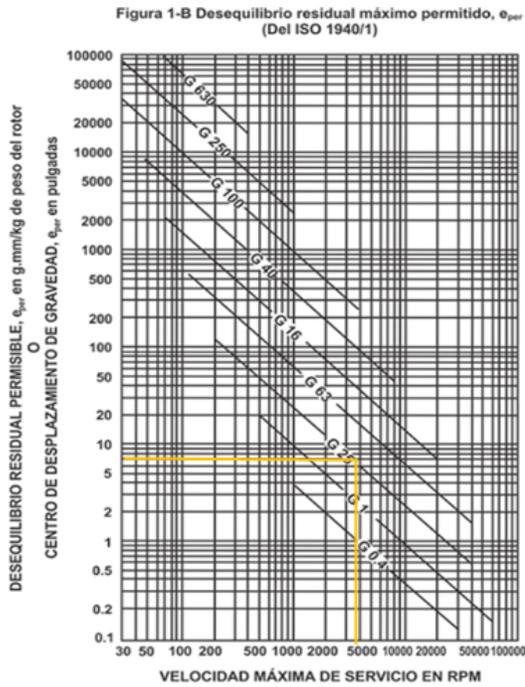
BASIC NUMBER	TOLERANCE CLASS	BORE mm	BORE		OD mm	HOUSING BORE (inches)		OD mm	HOUSING BORE (inches)	
			MAXIMUM	MINIMUM		MINIMUM	MAXIMUM		MINIMUM	MAXIMUM
00	m5	10	0.3942	0.3939	30	1.1811	1.1816	35	1.3780	1.3786
01	m5	12	0.4730	0.4727	32	1.2598	1.2604	37	1.4567	1.4573
02	m5	15	0.5912	0.5909	35	1.3780	1.3786	42	1.6535	1.6541
03	m5	17	0.6699	0.6696	40	1.5748	1.5754	47	1.8504	1.8510
04	m5	20	0.7881	0.7877	47	1.8504	1.8510	52	2.0472	2.0479
05	m5	25	0.9850	0.9846	52	2.0472	2.0479	62	2.4409	2.4416
06	m5	30	1.1818	1.1814	62	2.4409	2.4416	72	2.8346	2.8353
07	m5	35	1.3788	1.3784	72	2.8346	2.8353	80	3.1496	3.1503
08	m5	40	1.5756	1.5752	80	3.1496	3.1503	90	3.5433	3.5442
09	m6	45	1.7727	1.7721	85	3.3465	3.3474	100	3.9370	3.9379
10	m6	50	1.9695	1.9689	90	3.5433	3.5442	110	4.3307	4.3316
11	m6	55	2.1666	2.1658	100	3.9370	3.9379	120	4.7244	4.7253

Tabla 11. Ajuste de rodamientos, EA SA STANDART AR100-2011

Después de realizar el mantenimiento requerido al motor se realiza prueba con el ventilador acoplado teniendo como resultado un espectro con amplitud alta (0.85 in/s Rms), con 1X dominante.



El peso del ventilador es de 45 kg, para realizar el balanceo se estima una masa residual permisible considerando la norma ISO 1940/1, con calidad G 2.5 el cual será de 9.54 g.



CALIDAD DE BALANCEO G 2.5  
Velocidad de operación = 3600 CPM  
Diámetro rotor = 0.66 M  
Peso Rotor = 45 kg  
 $e_{per} = (7 \text{ g.mm/Kg})(45 \text{ kg}) = 315 \text{ g.mm}$   
 $E_{per} = 315 \text{ g.mm} / 33 \text{ mm} = 9.54 \text{ g}$

Después de realizar la corrección se pudo observar que la amplitud de la vibración fue disminuida 5 veces, (0.85 in/s Rms a 0.17 in/s Rms), básicamente la carga dinámica ejercida sobre el rodamiento será 5 veces menor, teniendo como beneficio la operación óptima del equipo, prolongando la vida útil de los rodamientos, y disminución de las pérdidas de potencia aprovechable del equipo.



## Bibliografía:

Aumento de la carga dinámica en rodamientos, por causa del desbalance.

- EASAAR100-2001 RECOMMENDED PRACTICE.
  - \* For the repair of rotating electrical apparatus.
  - \* Ajuste de rodamientos
- Norma ISO 1940/1
  - \* Desequilibrio residual permisible
  - \* Tabla de aplicación

# DMYVPFA - CALENDARIO CURSOS RCT 2024



**EXPERTO EN LUBRICACION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION BOK ISO 18436-4 CAT I, TICD-ED-1910/90 Y MLT I Y MLA I DEL ICML**

**CON ESTE CURSO SE PUEDE PRESENTAR EXAMEN DE CERTIFICACION MLT I Y MLA I DEL ICML**

FECHA	EXAMEN
ENERO 22-25	26 ENERO
FEBRERO 19-22	23 FEBRERO
ABRIL 22-25	26 ABRIL
MAYO 27-30	31 MAYO
JULIO 29-1 AGO	2 AGOSTO
AGOSTO 26-29	30 AGOSTO
NOVIEMBRE 25-28	29 NOVIEMBRE



**EXPERTO EN LUBRICACION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION AVANZADO BOK MLT II DEL ICML**

**CON ESTE CURSO SE PUEDE PRESENTAR EXAMEN DE CERTIFICACION MLT II DEL ICML**

FECHA	EXAMEN
FEBRERO 26-29	1 MARZO



**EXPERTO EN ANALISIS DE ACEITE CON METODOLOGIA ABCDE (ADITIVOS-BASICO-CONTAMINACION-DESGASTE-ELIMINACION DE CAUSAS RAIZ DE FALLA) BOK ISO 18436-4 CAT II, TICD-CF-1809/95 Y MLA II DEL ICML. INCLUYE LOS LIMITES DE ANALISIS DE ACEITE EN BASE A ISO 14830:2019 Y ASTM D 7720 Y EL CALCULO DE LAS FRECUENCIAS DE MUESTREO CON LA DISTRIBUCION DE POISSON CONSIDERANDO EL MTBF**

**CON ESTE CURSO SE PUEDE PRESENTAR EXAMEN DE CERTIFICACION MLA II DEL ICML**

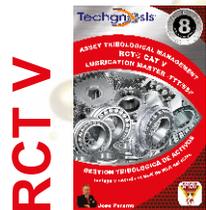
FECHA	EXAMEN
MARZO 11-14	15 MARZO
JUNIO 24-27	28 JUNIO
SEPTIEMBRE 23-26	27 SEPTIEMBRE



**EXPERTO EN EVALUACION ECONOMICA-FINANCIERA DE LOS BENEFICIOS DE LA LUBRICACION DE EXCELENCIA**

**CON ESTE CURSO SE PUEDE PRESENTAR EXAMEN DE CERTIFICACION RCT III DE TICD. NI ISO NI EL ICML TIENEN**

FECHA	EXAMEN
MAYO 20-23	24 MAYO
AGOSTO 19-22	23 AGOSTO
NOVIEMBRE 11-14	15 NOVIEMBRE



**LUBRICACION MASTER 55 BOK TICD-MT-3012/55 Y MLE DEL ICML**

**CON ESTE CURSO SE PUEDE PRESENTAR EXAMEN DE CERTIFICACION MLE DEL ICML**

FECHA	EXAMEN
DECEMBER 2-6	9 DECEMBER



**Congreso Internacional de Mantenimiento Predictivo, Confiabilidad y Lubricación de Clase Mundial**

**PRECONLUB MÉXICO** 20 Y 21 DE JUNIO

**PRECONLUB CENTROAMERICA** 18 Y 19 DE JULIO

**CONTACTO**  
**José Páramo**

joseparamo@grupo-techgnosis.com  
joseparamo@techgnosis5.com  
jose\_paramo@hotmail.com  
jacriado@applittechgnosis.com  
comercial1@grupo-techgnosis.com  
comercial2@grupo-techgnosis.com  
jacriado@applittechgnosis.com

**Teléfonos y Whatsapp de contacto:**  
+52 462 1398684  
+52 477 2306910



# "El conocimiento, un activo que crece cuando se comparte"

## Entrevista con Robinson Medina

“*Para mí la motivación ha sido una combinación única de intereses y valores personales sumadas a mis habilidades...*”

Robinson Medina



¿Qué te motivó a dedicar tu carrera profesional al estudio y la mejora de la productividad en el Mantenimiento y la Confiabilidad.

*Robinson Medina* - Para mí la motivación ha sido una combinación única de intereses y valores personales sumadas a mis habilidades, entre algunas motivaciones más importantes puedo mencionar:

### Desafío Técnico y Analítico:

La complejidad técnica y analítica involucrada en la gestión de activos y la mejora de la confiabilidad y productividad es un imán para mí, de verdad disfruto los desafíos intelectuales, resolver problemas complejos y optimizar sistemas que permitan aportar valor a los negocios, esa sin duda es, ha sido y será mi mayor motivación

### Impacto en la rentabilidad de las empresas:

Reconocer la importancia directa de la productividad y la confiabilidad en la rentabilidad de las empresas ha sido un factor motivador en extremo. Contribuir al éxito financiero de las organizaciones a través de mejoras operativas es una meta constante en mi diario quehacer

### Aprendizaje continuo:

No hay nada que me motive más que aprender cosas nuevas y salir de la rutina. Gracias la versatilidad de mi carrera, en cada uno de los meses de mis 30 años de ejercicio, pude tener diversas experiencias

que atesoro hasta el día de hoy, desde capacitaciones en distintas universidades del mundo, locución en programas de radio, pasando por la creación de mi canal de youtube: Asset TV, y hasta ser pionero en la generación de contenido en las áreas de mantenimiento y confiabilidad, mejora de procesos productivos, diseño de planes de mantenimiento, aplicación de las diferentes metodologías de confiabilidad y dando como resultado el desarrollo de al menos tres libros.

Estos últimos los desarrollé como manuales para el ingeniero de la actualidad donde comparto numerosos aprendizajes de mis años en esta industria y guía para su camino profesional.

Relacionarme con otras figuras de la ingeniería ha aportado valioso conocimiento a mi vida, principalmente, no tener miedo a afrontar nuevos retos, entender que siempre debemos seguir aprendiendo y el deber de mantenerse actualizado en el tiempo, lo que me conduce a una evolución constante en mi área de trabajo.

Entrevista por Lisset Chávez

## Con más de 30 años de experiencia en implementación de proyectos de mejora de productividad, ¿cuáles son los cambios más significativos que has observado en este campo a lo largo de los años?

*Robinson Medina* - En mi vida profesional, he sido testigo de constantes cambios en la tecnología y en la manera de hacer las cosas, sin embargo, en mis inicios, todo era muy diferente.

Tengo una anécdota del primer día que trabajé para la industria petrolera venezolana, dentro de mi inocencia, pregunté: “¿Por qué estas plantas de gas se inspeccionan cada 5 años?” y la respuesta que obtuve ejemplificó perfectamente la manera de abordar la ingeniería de aquel entonces, pues no hubo más comentario que un simple “Siempre se ha hecho así”.

Esto despertó la curiosidad del Robinson de 24 años que iba comenzando y de alguna forma me incitó a buscar siempre el porqué de las cosas.

Algunos de los cambios más significativos que he vivido son los siguientes:

### Tecnología de la información y análisis de datos:

La introducción y avance de la tecnología de la información han revolucionado la forma en que recopilamos, almacenamos y analizamos datos. La implementación de sistemas avanzados de monitoreo y análisis de datos ha permitido un enfoque más proactivo hacia el mantenimiento y la gestión de activos.

### Mantenimiento Predictivo:

La evolución de las técnicas de mantenimiento ha pasado de un enfoque reactivo y basado en intervalos de tiempo a un mantenimiento predictivo. La capacidad para resolver problemas antes de que ocurran, utilizando sensores y análisis de datos, ha reducido significativamente los tiempos de inactividad no planificados.

### Colaboración global:

La globalización y normalización de todos los procesos de la ingeniería de mantenimiento ha permitido una mayor colaboración y transferencia de conocimientos entre profesionales de diferentes partes del mundo. Las soluciones y mejores prácticas se comparten más fácilmente, permitiendo un desarrollo más rápido y efectivo de proyectos.

### Desarrollo de habilidades del personal:

La importancia de las habilidades del personal se ha vuelto más evidente. La capacitación continua y el desarrollo de habilidades técnicas y analíticas son cruciales para adaptarse a las tecnologías emergentes y las demandas cambiantes del mercado.

Estos cambios anteriormente señalados reflejan la evolución constante del campo de la ingeniería mecánica y la gestión de activos. Adaptarse a estas tendencias emergentes y adoptar tecnologías innovadoras ha sido esencial para el éxito continuo en la mejora de la productividad en la industria.



## “ Pienso que la certificación CMRP [...] en la carrera de un profesional de la Ingeniería...”

Robinson Medina

### **Sobre la importancia de la certificación en Mantenimiento y Confiabilidad. ¿Cómo ha evolucionado esta percepción a lo largo del tiempo y cuál crees que es el impacto real de la certificación en la carrera de un profesional en la actualidad?**

*Robinson Medina* - En primera instancia deseo resaltar que no poseo ninguna relación con la SMRP, todo lo que hablo y digo es a título personal por considerarla una de las certificaciones disponibles que me generan más confianza y credibilidad.

La certificación en Mantenimiento y Confiabilidad (CMRP), otorgada por la Society for Maintenance & Reliability Professionals (SMRP), es un reconocimiento de competencia que demuestra que un profesional certificado posee un alto nivel de conocimiento en la gestión de activos físicos, mantenimiento y confiabilidad.

A lo largo del tiempo, la percepción mundial de la necesidad de certificarse bajo CMRP se ha incrementado a mi parecer por la confianza que te aporta al proceso de certificación, en ser la única certificación que cuenta con la acreditación del American National Standards Institute (ANSI) en el cumplimiento del estándar ISO 17024 (Conformity assessment — General requirements for bodies operating certification of persons).

Desde mi perspectiva, pienso que la certificación CMRP tiene un impacto significativo en la carrera de un profesional de la ingeniería de mantenimiento al proporcionar:

- » **Credibilidad profesional:** La certificación valida la experiencia y conocimientos del profesional, aumentando su credibilidad en el campo.
- » **Oportunidades de empleo:** Muchas ofertas de empleo en mantenimiento y confiabilidad especifican la preferencia por candidatos con certificación CMRP, brindando más oportunidades de empleo.
- » **Avance profesional:** La certificación puede ser un factor clave para ascensos y roles de liderazgo, ya que demuestra la capacidad del profesional para liderar en la gestión de activos.
- » **Contribución a organizaciones:** Los profesionales certificados están mejor equipados para implementar prácticas de mantenimiento y confiabilidad efectivas, lo que impacta positivamente en el rendimiento y la rentabilidad de la organización.

En resumen, la certificación CMRP ha evolucionado para convertirse en un estándar reconocido en la industria y tiene un impacto significativo en la carrera de los profesionales en términos de credibilidad, oportunidades y avance profesional. La percepción de su importancia ha crecido a medida que la gestión de activos y la confiabilidad se han vuelto fundamentales para el éxito operativo de las organizaciones.

## Destacas la necesidad de una estrategia efectiva de preparación para la certificación CMRP. ¿Cuáles son los elementos clave de esta estrategia y cómo deberían los profesionales abordar la preparación de manera efectiva?

*Robinson Medina* - El proceso de certificación como profesional de mantenimiento y confiabilidad propuesto por la SMRP es un hito importante para los profesionales de mantenimiento y confiabilidad hoy día. De acuerdo a mi experiencia, para lograr el éxito en este desafiante examen, es fundamental tener un compromiso personal con el objetivo de certificarse y seguir una estrategia efectiva de preparación.

Antes de embarcarse en la preparación, es esencial tener una comprensión clara de los requisitos de la certificación CMRP. Familiarizarse con el contenido del examen, los dominios de conocimiento y las competencias que se evaluarán. Esto ayuda a enfocar los esfuerzos de estudio de manera efectiva, acotando el gran volumen de información disponible en el área de mantenimiento y confiabilidad.

En nuestro exitoso programa de acompañamiento, hemos identificado seis estrategias que han demostrado ser muy efectivas, entre ellas:

### 1. Evaluar tus conocimientos y habilidades actuales:

Realizar una autoevaluación honesta de tus conocimientos y habilidades en relación con los dominios de conocimiento de la certificación CMRP. Identifica tus fortalezas y debilidades para establecer una base sólida sobre la cual construir tu estrategia de preparación y estudio.

### 2. Establecer metas claras y realistas:

Definir metas claras y alcanzables para tu proceso de preparación. Establecer plazos realistas y dividir tus objetivos en hitos más pequeños.

### 3. Crear un plan de estudio estructurado:

Desarrollar un plan de estudio detallado que abarque todos los dominios de conocimiento del examen CMRP. Divide tu tiempo de estudio de manera equilibrada para abordar cada área temática de manera adecuada.

### 4. Utilizar recursos de estudio adicionales:

Además de los recursos tradicionales, considera aprovechar otros recursos disponibles. Unirse a grupos de estudio en línea o comunidades de profesionales de mantenimiento y confiabilidad para intercambiar conocimientos y experiencias. Participa en seminarios web, talleres o conferencias relacionadas con la certificación CMRP.

### 5. Mantener una disciplina constante:

La preparación para el examen CMRP requiere una disciplina constante. Establece un horario de estudio y cumple con él.

### 6. Prepararte para una prueba contra el tiempo en el computador:

Un aspecto clave que muchos candidatos olvidan es la importancia de prepararse para realizar el examen CMRP en un entorno digital y bajo restricciones de tiempo.

La certificación CMRP se realiza en un formato de examen computarizado, donde debes responder una serie de preguntas en un tiempo limitado. Por lo tanto, es fundamental que practiques en un entorno similar al real y te familiarices con las condiciones de tiempo.

#### \* Simulaciones de examen en línea:

Busca recursos en línea que ofrezcan simulaciones de exámenes CMRP en formato computarizado. Estas simulaciones te permitirán experimentar la presión del tiempo y practicar la gestión efectiva del mismo. Realiza estas simulaciones regularmente para mejorar tu velocidad y precisión al responder las preguntas.

#### \* Práctica de gestión del tiempo:

La gestión adecuada del tiempo es crucial durante el examen CMRP. Practica resolver preguntas dentro de límites de tiempo específicos para acostumbrarte a trabajar de manera eficiente bajo presión.

**Nos has comentado que la preparación no se trata solo de conocimientos teóricos, sino también de habilidades prácticas y estrategias efectivas. ¿Puedes proporcionar ejemplos concretos de cómo abordas el desarrollo de habilidades prácticas en tu programa de acompañamiento?**

*Robinson Medina* - Desde mi perspectiva, la experiencia en las áreas de mantenimiento y confiabilidad es clave, sin ella la probabilidad de certificarte CMRP es bastante baja, ya que existen cuatro aspectos que suman a la hora de aprobar el examen, que son la experiencia en el área de mantenimiento y confiabilidad, el conocimiento del cuerpo del conocimiento de la SMRP, que es contra lo que medirán tu conocimiento, el estudio de bibliografía complementaria en el área y tus habilidades para desempeñarte frente a un examen en un entorno digital.

La estrategia para desarrollar las habilidades prácticas para presentar una prueba frente a un computador en un entorno de tiempo establecido puede ser la diferencia en aprobar o no, la experiencia nos ha demostrado que a pesar de tener la preparación adecuada muchos profesionales fallan debido a la famosa “parálisis por análisis” esto por su poca experiencia y el estrés de presentar un examen en el entorno digital. Para ello como parte de nuestro proceso de acompañamiento, hemos desarrollado un entorno de simulación digital, bajo la plataforma MOODLE que facilitará a lo largo del camino el buen desarrollo de esta importante competencia.



**Defiendes la idea de un compromiso sólido en el proceso de certificación. ¿Cuáles son algunos consejos prácticos que puedes ofrecer a aquellos que luchan por mantener ese compromiso a lo largo de su preparación?**

*Robinson Medina* - En base a esto hay una recomendación que me ha dado muy buenos resultados, es pagar el examen por adelantado fijar su fecha al final de 6 meses, eso te dará una motivación adicional para estudiar, ya que si no organizas e incluyes las horas de preparación en tu agenda, lo más seguro es que pierdas los 470 USD que vale la membresía más el examen de certificación.

Un aspecto psicológico que usamos es hacerles entender a los participantes, que no hay nada que perder y mucho que ganar, si fallas a la primera puedes volver a intentarlo no incluyas al ego en este proceso, lo que sí es seguro es que un profesional que estudie el cuerpo del conocimiento en profundidad gana una nueva visión sobre el papel de un profesional de mantenimiento y confiabilidad en una gestión moderna de mantenimiento.

En este sentido manejo por experiencia una estadística de todo mi programa, de un aproximado de 30 personas que tenemos en el programa solo siete de ellos atendieron la recomendación, y resulta que solo esos siete ya son CMRP el día de hoy, el resto de los participantes del programa siguen todavía esperando definir cuál es el mejor momento, hay personas con más de dos años en el programa y no se han decidido, definitivamente por falta de esa motivación extra que da pagar el examen por adelantado.

**¿Cómo puede un profesional evaluar de manera efectiva su nivel de conocimiento y determinar las áreas en las que necesita enfocarse más durante la preparación para la certificación CMRP?**

*Robinson Medina* - Responder la siguiente pregunta es un tema clave en todo este proceso: ¿cuánto sabes qué no sabes?

Un proceso de certificación consiste en el entendimiento de un cuerpo de conocimiento, este proceso busca asegurar que quienes lo aprueban son profesionales con una visión global del proceso de Mantenimiento y Confiabilidad.

Uno de los grandes obstáculos que se tiene cuando asumimos el reto de certificarnos en cualquier programa, es definir: ¿Dónde iniciar?, ¿Cómo estudiar?, ¿Cuándo presentar? y muy importante ¿Cuánto estudiar?

Otro aspecto importante es “saber de lo que sabemos” y más importante aún “¿cuánto sabemos que no sabemos?”, no tener estas respuestas, puede afectar tu objetivo de certificarte a la primera, estas son el elemento clave para direccionar nuestra estrategia de preparación.



Robinson Medina



CONOCIMIENTOS REQUERIDOS PARA UN PROFESIONAL DE M&C POR LA SMRP		NIVEL DE CONOCIMIENTO HOY			
AREA	SUB AREAS DE CONOCIMIENTO	CERO	BAJO	MEDIO	ALTO
1 Negocios y administración	1.- Crear una dirección estratégica y un plan para las operaciones de M&R				
	2.- Administrar el plan estratégico				
	3.- Medir el rendimiento				
	4.- Administración del riesgo				
	5.- Gestionar plan de la organización				
	6.- Comunicarse con los interesados				
	7.- Gestionar el riesgo Ambiental-Salud-Seguridad (ASS)				
2 Confiabilidad de Procesos de manufactura	1.- Entendimiento de los procesos aplicables				
	2.- Técnicas de mejora de procesos				
	3.- Administración de los efectos del cambio en los procesos y equipos				
	4.- Especificación y estándares de industrias y de procesos				
	1.- Determinación de expectativas de la confiabilidad de los equipos				
	2.- Evaluar la confiabilidad del equipo e identificar oportunidades de mejora				
	3.- Establecer un plan estratégico para asegurar la confiabilidad de los equipos existentes.				



Certificación CMRP

Robinson Medina - Una barrera muy alta que debemos saltar es el volumen de información que se tiene disponible en el área de Mantenimiento y Confiabilidad, tomando en cuenta que es una de las áreas del conocimiento más documentada y estandarizada a nivel mundial.

No hay un programa de capacitación que pueda proporcionar la experiencia y conocimiento necesarios para un profesional de confiabilidad y mantenimiento en un período breve, ya sea de un año, seis meses o incluso en un curso de 40 horas. Esto se debe a que la experiencia debe ser vivida y el estudio del cuerpo del conocimiento debe realizarse de manera clara y organizada.

Hemos creado un programa de acompañamiento basado en el cuerpo del conocimiento propuesto por la SMRP. Este programa te permite explorar cada aspecto de dicho cuerpo mediante herramientas de autodiagnóstico. Estas herramientas facilitan la identificación de fortalezas y debilidades frente al cuerpo de conocimiento, permitiendo establecer una dirección lógica en el proceso de preparación.

Nos enfocamos en fortalecer las áreas débiles y pulir las fortalezas, ya que el cuerpo de conocimiento consta de 5 pilares, y aunque es común conocer al menos dos o tres, siempre hay al menos un par de pilares que debemos fortalecer.

**Has creado un programa de acompañamiento para la certificación CMRP. ¿Puedes describir brevemente cómo se estructura este programa y qué beneficios específicos ofrece a los profesionales que participan en él?**

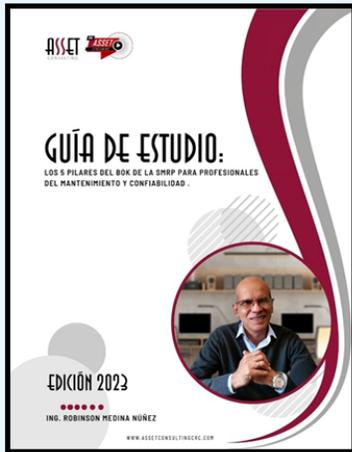
Robinson Medina - Hace muchos años viví la experiencia de prepararme para la certificación CMRP, puedo decir que puedo empatizar con muchos profesionales que hoy están en el proceso de preparación,

Recuerdo mi proceso de preparación como una experiencia traumática por el gran cúmulo de información que debí

manejar en tan corto tiempo 40 horas que consistía el curso de preparación que tomé a la fecha, 5 días de 8 horas que en vez de ayudarme me confundió muchos más debido a la gran cantidad de gigas de información que debimos manejar en una semana.

Como siempre digo, el conocimiento y la experiencia son dos activos que crecen cuando se comparte, tomando en cuenta todos estos aspectos hemos creado un programa de acompañamiento, en primera instancia que no tiene un tiempo establecido para su finalización, el final del acompañamiento lo pone el participante y contempla 6 grandes etapas que lo hacen único a nivel mundial.

- 1. Determinación:** Esta etapa es clave, porque definirá el compromiso a lo largo del proceso de preparación, la misma contempla la definición de la fecha del examen real de certificación, lo que decidas en esta etapa puede certificarse al menos en 6 meses o en varios años, ya que la fortaleza en la determinación, definirá si la decisión que tomas será un sueño a largo plazo o una realidad a corto plazo.
- 2. Autodiagnóstico:** Un largo viaje inicia siempre con un primer paso, eso significa el autodiagnóstico, conocer tus fortalezas y debilidades y en base a los resultados establecer el plan de preparación mensual que se debe desarrollar y que es parte del programa de acompañamiento que hemos desarrollado.
- 3. Alineación del conocimiento y la experiencia:** Podemos tener mucha experiencia, pero es clave alinearla a la propuesta del cuerpo del conocimiento, esto puede ser una gran ventaja ya que todo ese experiencia y conocimiento que a lo largo de tu carrera has logrado desarrollar, serán tu arma principal a la hora de enfrentarte al examen. Esto se logra mediante cualquiera de los tres programas que hemos desarrollado y que se adaptan a cualquier necesidad. En los siguientes enlaces podrán conocer en profundidad cada uno de ellos.



» **Guía de estudio:**

<https://youtu.be/r3jRDPf7L7g>

» **Programa de acompañamiento sincrónico:**

<https://youtu.be/rU9yPEpl9tU>

» **Programa de acompañamiento sincrónico:**

<https://youtu.be/2oJMzPhAPFo>

**4. Diagnóstico:** Este es el principal elemento diferenciador de nuestro programa y responsable del gran apoyo que significa a un mes de presentar el examen real de certificación, tener una retroalimentación personalizada del resultado de un examen de simulación de 110 preguntas y 2.5 horas de duración en un ambiente digital, a lo largo del programa están pautado desarrollar simulaciones por pilar y al final se cierra con la simulación real mencionada anteriormente.

**5. Cierre del ciclo de preparación:** Esta etapa me permite conocer tus fortalezas y debilidades, obtenidas como resultado del análisis de tu prueba en la simulación, allí un mes antes definiremos tus fortalezas y debilidades actuales, a esta altura del proceso, es decir 5 meses de estudio y preparación, lo que nos permitirá 4 semanas antes de tomar el examen real pulir los detalles. Para que puedas en esas 4 semanas cerrar el ciclo y tener al menos dos semanas de descanso previo al examen.

**6. Celebración del certificado CMRP:** Junto a todo el grupo de estudio te acompañaremos a celebrar, esto permitirá al mismo tiempo motivar al resto de compañeros que tienen tú mismo objetivo. La champaña está incluida en el programa.

**Fuera del ámbito profesional, ¿hay alguna actividad o pasatiempo que te apasione y que creas que ha contribuido de alguna manera a tu éxito en el campo de la Confiabilidad?**

*Robinson Medina* - Desde la infancia, los venezolanos hemos cultivado una profunda pasión por el béisbol, un deporte que considero un ejemplo clásico de gestión de activos, una pasión que comparto tanto en el ámbito profesional como personal. Como prueba de ello, he desarrollado un artículo titulado "La Gestión de Activos en el Diamante".

Hoy en día, el béisbol es uno de los deportes más seguidos y con mayor movimiento financiero en Estados Unidos y el Caribe. Al igual que cualquier empresa, este deporte, además de brindar entretenimiento social, busca generar riqueza para sus interesados y patrocinadores. Es en este punto donde establezco un paralelismo entre esta disciplina deportiva y la gestión de activos físicos.

La relación entre el béisbol y la industria es evidente. La estrategia de un equipo competitivo debe ser efectiva tanto en la defensa para evitar que el equipo contrario anote carreras como en la ofensiva para maximizar la anotación de carreras. Lograr un equilibrio eficiente en estas dos áreas es clave para el éxito económico en el negocio del béisbol. Los ingresos de un equipo están directamente vinculados a la aceptación de sus fanáticos, que representan el consumidor final del producto en este contexto.

# Transformación digital en el mantenimiento de fábricas: estrategias avanzadas para liderar en la era de la innovación



**in** Autor: Richard Zamora Yansi

Director de Proyectos Logísticos MATRIX Inventarios,  
CEO MATRIX Business School

## Introducción

**E**n la encrucijada de la globalización y la innovación tecnológica, la transformación digital en el mantenimiento de fábricas representa un pilar fundamental para cualquier organización que busque liderar en la era industrial moderna. Este artículo profundiza en estrategias avanzadas, tecnologías emergentes y prácticas de gestión vanguardistas que están redefiniendo el mantenimiento de fábricas, orientando a gerentes y líderes a través del complejo panorama de la digitalización industrial.

### 1. Innovación en la Industria 4.0: más allá del mantenimiento predictivo

La Industria 4.0 ha superado las expectativas iniciales, evolucionando hacia sistemas altamente autónomos e inteligentes. En este contexto, el mantenimiento predictivo es solo el comienzo.

Las fábricas están adoptando el mantenimiento prescriptivo, donde los sistemas no solo predicen fallos sino también recomiendan acciones específicas, optimizando continuamente los procesos a través del aprendizaje automático y la inteligencia artificial avanzada. Esta transición hacia operaciones autónomas reduce significativamente los riesgos y maximiza la eficiencia operativa.

### 2. Integración de Sistemas Ciberfísicos

Los Sistemas Ciberfísicos (CPS) representan una integración sin fisuras entre los entornos físicos y cibernéticos. En el mantenimiento de fábricas, los CPS permiten una monitorización y control en tiempo real de los activos físicos a través de redes de sensores inteligentes y actuadores.

Esta integración conduce a una adaptabilidad, autonomía y eficiencia sin precedentes, permitiendo que las fábricas respondan dinámicamente a las condiciones cambiantes y optimicen continuamente la producción y el mantenimiento.

### 3. Tecnologías de vanguardia: IoT, Big Data y Cloud Computing

La adopción de Internet de las Cosas (IoT), Big Data y Cloud Computing está revolucionando el mantenimiento de fábricas. Los dispositivos IoT permiten una recolección de datos omnipresente, proporcionando una visión detallada del estado de las máquinas y los procesos. Big Data y Analytics avanzados transforman estos datos en insights accionables, mientras que el Cloud Computing ofrece una infraestructura escalable y flexible para implementar soluciones de mantenimiento avanzadas. Juntas, estas tecnologías facilitan una toma de decisiones más informada, rápida y efectiva.

### 4. Realidad aumentada y gemelos digitales: La nueva frontera

La realidad aumentada (RA) y los gemelos digitales están emergiendo como herramientas clave en el mantenimiento avanzado. La RA proporciona a los técnicos visualizaciones interactivas y asistencia en tiempo real, mejorando la precisión y velocidad del mantenimiento.

Los gemelos digitales crean réplicas virtuales exactas de los activos físicos, permitiendo simulaciones y análisis detallados para predecir el comportamiento de las máquinas y optimizar su rendimiento.

### 5. Enfoque sostenible y consciente

Un enfoque sostenible y consciente es esencial en la transformación digital del mantenimiento. Esto significa no solo optimizar el uso de recursos y energía sino también adoptar prácticas que minimicen el impacto ambiental y mejoren la responsabilidad social corporativa. La sostenibilidad se convierte en un factor clave de éxito, con tecnologías digitales permitiendo un mantenimiento más ecológico y eficiente.

## Conclusión

La transformación digital del mantenimiento de fábricas no es una opción, sino una necesidad para las organizaciones que aspiran a liderar en el competitivo mercado industrial. Requiere una inversión estratégica en tecnologías avanzadas, un compromiso con la innovación continua y un enfoque en la sostenibilidad y eficiencia. Al adoptar estas estrategias avanzadas, las empresas no solo optimizarán sus operaciones sino que también contribuirán al desarrollo de una industria más resiliente, sostenible y orientada al futuro. El liderazgo en la era de la transformación digital depende de la capacidad para anticipar, adaptar y actuar decisivamente ante los rápidos cambios tecnológicos, marcando el camino hacia un futuro industrial más brillante y sostenible.

# De CMMS a EAM: Transformando la Gestión de Activos hacia el Futuro del Mantenimiento Predictivo Empresarial

 Autor: CTN Global

Un CMMS (Computarized Maintenance Management System) se centra únicamente en el mantenimiento, mientras que un EAM (Enterprise Asset Management) aborda la gestión completa del ciclo de vida del activo, una plataforma ágil, flexible, dinámica y lista para el futuro del mantenimiento, permitiendo a las empresas identificar y abordar problemas antes de que se conviertan en crisis, los cuales afectan al área de mantenimiento y a toda la organización.

Aquí presentamos cinco beneficios destacados de nuestro sistema Hexagon EAM que impulsan la eficiencia operativa y ayudan a las empresas a sobresalir en un entorno empresarial cada vez más competitivo.

- 1. Mayor visibilidad para la toma de decisiones:** ofrece una visibilidad integral en múltiples áreas operativas, mejorando notablemente la toma de decisiones estratégicas sobre su plan de mantenimiento y plan de inversión.
- 2. Ahorro:** reduce el costo total en comparación con las opciones CMMS locales, ya que no hay inversión en la propia infraestructura de TI, que requiere muchos recursos, ni en la fuerza laboral necesaria para mantener la infraestructura tecnológica.
- 3. Rendimiento y productividad:** La conectividad móvil perfecta significa que los usuarios de campo se vuelven más eficientes, ya que tienen acceso a toda la información que necesitan para realizar el trabajo y las personas en la oficina tendrán acceso en tiempo real a los datos que se actualizan.
- 4. Flexibilidad:** Las soluciones en la nube son por naturaleza más flexibles que las soluciones locales, simplemente porque se accede a ellas “como un servicio” para poder ampliar y reducir según sea necesario.
- 5. Sostenibilidad y cumplimiento normativo:** mientras monitorea su consumo de energía, puede monitorear el impacto ambiental de sus operaciones. Cuenta con una funcionalidad que permitirá cumplir con los requisitos de monitorear la huella de carbono y el consumo energético, contribuyendo a reducir las emisiones de carbono, mejorando los estándares ambientales de la organización con la comunidad.

Si usted aun utiliza un CMMS, ahora es el momento de pasar a una solución de gestión de activos empresariales, basada en la nube como Hexagon EAM. Explore las fortalezas estratégicas de EAM sobre un CMMS y cómo esta plataforma se convierte en la clave para superar los desafíos actuales en el mundo empresarial de 2024.



# Es hora de trasladar su CMMS a un EAM

## Beneficios:

- Amplia funcionalidad de gestión de activos
- Integración con otras soluciones
- Enfoque en la optimización y eficiencia
- Gestión de activos basada en datos
- Escalabilidad y flexibilidad
- Experiencia del usuario mejorada



Para saber como HxGN EAM puede ayudarle en su viaje de transformación digital, escanea nuestro QR.

# ¿Cómo lograr una carrera exitosa como ingeniero de confiabilidad?



**Autor:** Eduardo Calixto

ECC Founder & CEO - RAMS Expert

**L**a ingeniería de la confiabilidad ha estado en el camino durante años. Ahora, después de trabajar como ingeniero de confiabilidad durante muchos años, las mismas preguntas que muchos se hacen hoy son las mismas que me hacía hace 22 años cuando empecé. Por ejemplo: ¿Cuál es el objetivo de la ingeniería de confiabilidad? ¿Cuáles son las habilidades necesarias para convertirse en un ingeniero de confiabilidad exitoso? ¿En qué industrias se aplica la ingeniería de confiabilidad? ¿Dónde se puede adquirir este conocimiento?

Después de 22 años, la mayoría de estas preguntas han sido respondidas. Sin embargo, aún me intriga cuáles son las trampas que pueden retrasar o poner en peligro el éxito de un ingeniero de confiabilidad.

Hace 20 años, comencé a trabajar en la industria del petróleo y gas en Brasil. Mi equipo se dedicaba principalmente al análisis de riesgos de seguridad, pero también era responsable de entregar análisis de confiabilidad. Al comenzar en esta compañía, noté la disponibilidad de muchos programas de software, incluyendo aquellos relacionados con la confiabilidad. Mi primera acción fue instalar estos programas en mis computadoras y leer los manuales. Tuve suerte, ya que dos meses después, la empresa contrató a DNV para proporcionar una formación completa sobre el software MAROS/TARO, ampliamente utilizado en la industria del petróleo y gas. Además, asistí al curso de formación de Reliasoft en Sao Paulo.

Después de algunos meses, tuve la oportunidad de liderar mi primer proyecto de confiabilidad, que consistía en un centro de datos integrado. La solicitud era entregar un análisis de RAM para verificar si la configuración de diseño alcanzaría el 99.99% en 20 años. Logré este objetivo y entregué el análisis de RAM, demostrando no solo la disponibilidad operativa alcanzada, sino también que podríamos reducir \$1,400,000 en costos directos en el sistema redundante. Debido a estos resultados asombrosos, este análisis se volvió famoso, y tuve

la oportunidad de presentarlo en el segundo simposio de confiabilidad en Brasil. Desde entonces, me involucré cada vez más en el análisis de confiabilidad, presentando en diferentes proyectos y participando en conferencias nacionales como ABRAMAN y simposios internacionales como ES-REL, PSAM y ARS Europa. En 2006, obtuve mi certificación profesional de confiabilidad (CRP) de Reliasoft después de completar un proyecto de confiabilidad y presentarlo en una conferencia reconocida.

Después de 22 años en este camino, me pregunté si había logrado una carrera exitosa como ingeniero de confiabilidad. Sin embargo, para responder a esta pregunta, primero tenemos que entender qué significa una carrera exitosa.

**¿Qué es el éxito profesional?** El éxito se basa en el logro de sus objetivos, pero la carrera exitosa depende del significado que cada individuo le dé al éxito. Para muchos, el éxito se mide por cuánto dinero ganas, para otros, por cuánto reconocimiento recibes, y para algunos, es la posición de poder que alcanzas en una organización. Muchos entienden que es una combinación de algunos o todos estos factores juntos. De hecho, el éxito en la carrera se trata de cómo lograr sus objetivos profesionales, sin importar cuáles sean esos objetivos. Por lo tanto, un elemento importante del éxito son las metas y lo que es importante acerca de las metas es, en primer lugar, la necesidad de que sean sus metas, que tengan significado para usted, no para sus padres, amigos o vecinos.

El éxito tiene un precio, y necesitas estar dispuesto a pagarlo. Se requiere dedicación, tiempo y, lo más importante, paciencia. A pesar de cuánto esfuerzo, dedicación, tiempo y paciencia tengas, el éxito nunca está garantizado. Debes contar con tres factores esenciales: estar en el lugar correcto, estar con las personas adecuadas y estar en el momento adecuado. La pirámide del éxito depende de todos estos factores, como se muestra en la figura 1.

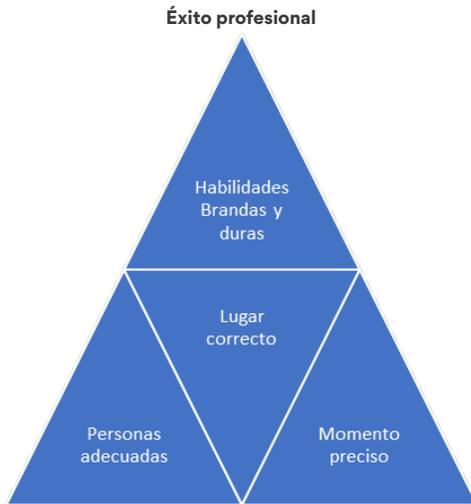


Figura 1 - La pirámide del éxito profesional

Estar en el lugar correcto implica trabajar en una industria competitiva, donde se valora el alto rendimiento. En este contexto, el programa de confiabilidad y los ingenieros especializados son fundamentales para respaldar los logros a lo largo del ciclo de vida de los productos.

Contar con las personas adecuadas implica tener gerentes que respalden un programa de fiabilidad basado en la mejora continua de productos y el rendimiento de los activos. Además, disponer del equipo adecuado es crucial, ya que trabajar con colegas que comparten la mentalidad de mejora constante facilita la implementación de métodos innovadores y soluciones, minimizando la resistencia.

Estar en el momento preciso se refiere a aprovechar períodos de crecimiento económico donde la inversión está disponible para implementar estrategias de confiabilidad. En última instancia, en cualquier organización, el factor financiero es crucial para la viabilidad de ideas, iniciativas y programas.

Por lo tanto, como ingeniero de confiabilidad, a pesar del tiempo, esfuerzo y paciencia invertidos, si no se logra el éxito en la carrera, es crucial recordar estos tres factores esenciales.

**Ahora, al explorar más a fondo los otros dos factores esenciales, comenzamos con "¿Cuál es el lugar y las personas adecuadas para los ingenieros de confiabilidad?"**

Hoy en día, se observa un fenómeno de migración internacional que atrae a personas a los Estados Unidos y países de Europa en busca de una carrera exitosa. Aunque muchos jóvenes asocian el éxito con una carrera internacional, es importante destacar que no es el único camino y que la influencia de los medios puede distorsionar la realidad. Trabajar en el extranjero puede ser una vía hacia el éxito, pero la falta de preparación puede llevar al fracaso.

Lamentablemente, muchos jóvenes profesionales desconocen los desafíos de vivir en el extranjero, especialmente aquellos que han vivido mayormente con sus padres. Con 12 años de experiencia en Alemania, Londres y trabajo a tiempo parcial en Kuwait, puedo afirmar que vivir en el extranjero implica adaptarse a la cultura, aprender un nuevo idioma, entender las leyes y regulaciones fiscales, enfrentar la incertidumbre en la visa, gestionar crisis y acostumbrarse a la comida local, entre otros aspectos.

Es crucial realizar un trabajo excepcional para destacarse en un entorno internacional. Por ende, es recomendable construir una exitosa carrera en el país de origen primero y considerar una carrera internacional si está debidamente preparado y tiene sentido para su desarrollo profesional.

En el caso de la ingeniería de confiabilidad, donde se requiere conocimiento en teoría estadística y experiencia en equipos, es aconsejable pasar tiempo en el país de origen para aprender rápidamente en el idioma nativo, siempre y cuando se encuentre en la organización adecuada.

**¿Cuál es el perfil del ingeniero de confiabilidad?** La ingeniería de confiabilidad busca respaldar el desarrollo de productos para lograr un alto rendimiento, robustez y durabilidad en un tiempo específico. Por lo tanto, el ingeniero de confiabilidad debe ser creativo e investigador, como se muestra en el hexágono de Holanda en la figura 2.



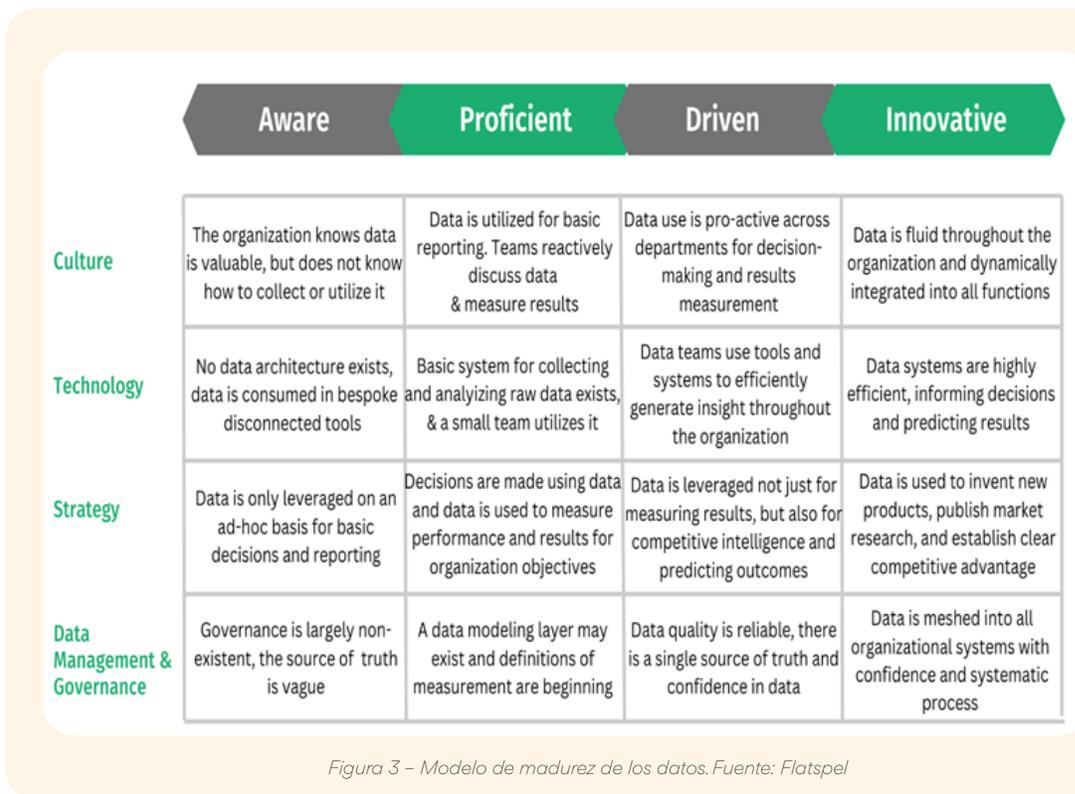
Figura 2 - Hexágono de Holanda

El factor creativo pertenece a la característica artística y es esencial para el profesional de confiabilidad ser creativo, ya que en muchos casos no existe una solución fácil o estándar para el desarrollo de productos o la recuperación de activos de alto rendimiento.

Otro aspecto importante del ingeniero de confiabilidad es el factor investigador. Lo que diferencia al ingeniero de confiabilidad son conocimientos en áreas como estadística, modelos matemáticos y software, así como un profundo entendimiento del equipo y del producto.

Es crucial comprender que, sin datos, no hay ingeniería de confiabilidad, ya que los datos son la base de la estadística y las matemáticas, que a su vez constituyen la base de la ingeniería de confiabilidad. Por lo tanto, es esencial que el ingeniero de confiabilidad recopile datos y cree una base de datos estructurada que permita convertir los datos en información para los tomadores de decisiones. La figura 3 a continuación muestra un ejemplo del nivel de madurez de una organización en relación con la utilización de los datos.

En cuanto al logro del éxito en la carrera de ingeniero de confiabilidad, la organización debe estar al menos en el nivel competente. De lo contrario, el ingeniero de confiabilidad se encuentra en el lugar equivocado y no alcanzará el éxito. En este caso, se pierde uno de los factores esenciales, que es estar en el lugar correcto.



Desafortunadamente, el perfil del ingeniero de confiabilidad no se ajusta a todos los tipos de organización. Esto explica por qué es tan difícil para los ingenieros de confiabilidad implementar y realizar análisis de ingeniería de confiabilidad en muchas organizaciones alrededor del mundo.

**¿Cuál es el perfil ideal de una organización para el ingeniero de confiabilidad?** Además de la madurez de los datos, la madurez organizativa es otro factor esencial para que el ingeniero de confiabilidad logre una carrera exitosa. En cuanto a la madurez organizacional, podemos definir cinco niveles, como se muestra en la figura 4.

Para el ingeniero de confiabilidad, es esencial trabajar en una organización que tenga al menos el nivel 3 de madurez. Es evidente que una organización que se encuentra en el nivel inicial de madurez no tomará decisiones basadas en datos y experimentará mejoras reactivas en el producto y el rendimiento de los activos. Este tipo de organización no utiliza eficientemente a los ingenieros de confiabilidad, convirtiéndose en una pérdida de tiempo para ellos.

Además, el nivel 2, definido, tampoco es apropiado para los ingenieros de confiabilidad. Las organizaciones fuertemente estructuradas en torno al enfoque de gestión de proyectos se centran en la entrega de documentos, actividades basadas en el costo de SAP y siguen estrictamente normas y procedimientos.

Por lo tanto, es necesario que la organización para el ingeniero de confiabilidad tenga al menos el nivel de madurez 3 para que el ingeniero de confiabilidad logre una carrera exitosa. Cuanto mayor sea el nivel de madurez de gestión de la organización y el nivel de madurez en la utilización de datos, mayor será la oportunidad para que el ingeniero de confiabilidad logre el éxito en esa organización.

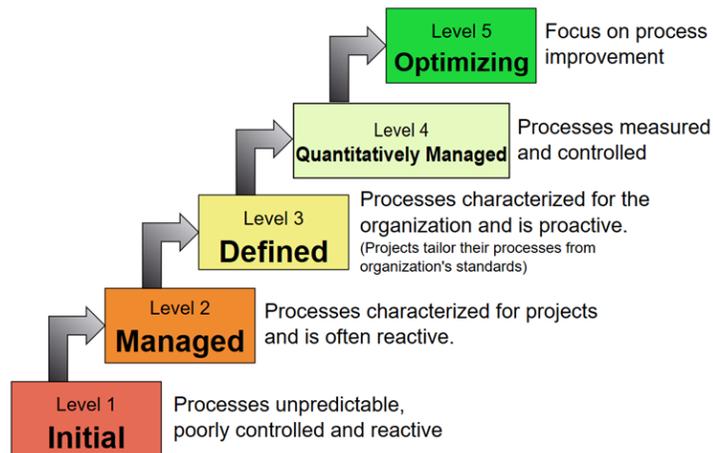


Figura 3 - Modelo de madurez de una organización

La mala noticia es que la mayoría de las organizaciones que buscan ingenieros de confiabilidad se encuentran en el nivel 1 o nivel 2, y necesitan contratar ingenieros de confiabilidad para entregar los documentos de confiabilidad del proyecto a un cliente, basándose en algún estándar específico, especialmente en Europa.

A pesar de la necesidad de tener un trabajo para vivir, es importante que los ingenieros de confiabilidad sean cons-

cientes del tipo de organización en la que están trabajando y en la que piensan trabajar, en relación con el nivel de madurez y utilización de datos. Esto será decisivo para su éxito o fracaso en una exitosa carrera como ingeniero de fiabilidad.

Desafortunadamente, muchas organizaciones no tienen una idea clara de qué trata la ingeniería de confiabilidad y confunden las actividades del ingeniero de confiabilidad con las actividades de la ingeniería de seguridad y de la ingeniería de mantenimiento, que son carreras completamente diferentes. En muchos casos, las organizaciones intentan contratar a un ingeniero que pueda realizar el trabajo de dos o tres ingenieros (seguridad y mantenimiento).

El ingeniero de seguridad se basa principalmente en normas y modelos matemáticos. Los ingenieros de mantenimiento se basan en métodos y procedimientos estándar que requieren un mayor conocimiento sobre el equipo en lugar de modelos matemáticos, estadísticas y software. Sin embargo, aún existe inteligencia en la ingeniería de seguridad y mantenimiento, pero nada comparable con la ingeniería de confiabilidad, que se basa en modelos estadísticos, matemáticos, software y conocimiento de equipos.

A pesar de la importancia de la madurez organizacional y la madurez en la utilización de los datos, es necesario que la organización tenga un programa de confiabilidad muy bien estructurado, con pilares bien establecidos como:

- Cultura de confiabilidad
- Liderazgo en confiabilidad
- Estructura organizativa de confiabilidad
- Recurso de confiabilidad
- Proceso de confiabilidad

La cultura de confiabilidad es la forma en que los equipos y líderes actúan de manera preventiva y proactiva en la base diaria para lograr un alto rendimiento de basado en sus creencias y valores.

El liderazgo en confiabilidad es la forma en que los diferentes líderes de la organización se comunican, refuerzan y apoyan la visión, misión, políticas y actividades de confiabilidad.

La estructura organizativa de confiabilidad es la forma en que el equipo se organiza formalmente interna y externamente en relación con la interfaz interna y externa para la implementación del programa de confiabilidad.

Los recursos de confiabilidad son todos los recursos humanos, tecnológicos y de tiempo dedicados al logro del desarrollo del producto y el requisito de confiabilidad basado en la implementación del programa de confiabilidad.

El proceso de gestión de confiabilidad tiene como objetivo planificar, implementar, controlar y mejorar las actividades de confiabilidad. El proceso de gestión se documentará en

procedimientos para una mejor identificación y aclaración de los diferentes métodos para la verificación, demostración y garantía de los requisitos de confiabilidad.

**¿Por qué la estrategia de carrera es necesaria para lograr el éxito?** Del mismo modo que las organizaciones establecen sus estrategias para ser más competitivas y lucrativas, y les permite tomar constantemente decisiones sobre qué hacer y en qué dirección ir, el ingeniero de confiabilidad también necesita ser claro acerca de qué hacer y qué dirección seguir en su carrera. Así, debe constantemente leer las condiciones ambientales, comprender las oportunidades y amenazas que enfrenta, y confrontar sus debilidades y competencias fuertes para lograr una exitosa carrera a corto, mediano y largo plazo.

En este sentido, la simple y conocida matriz SWOT, en la figura 5, ayudará al profesional a definir su estrategia de carrera y lograrla exitosamente.



Figure 4 – Análisis SWOT para logros del ingeniero de confiabilidad.

Es importante tener en cuenta que la estrategia de carrera depende del nivel de madurez en el que se encuentre en su trayectoria profesional. Por lo tanto, dicho nivel determinará si se requiere un mayor esfuerzo en el desarrollo de habilidades técnicas sólidas (dominio del lenguaje, estadísticas, métodos, software) o en habilidades blandas (comunicación, psicología, negociación, resolución de conflictos).

Podemos dividir el nivel de madurez en la carrera de confiabilidad en cinco etapas: junior, experiencia, senior/principal, experto e experto internacional, como se muestra en la figura 6.

El nivel de madurez junior, generalmente comprendido en los primeros dos a cinco años de la carrera de un ingeniero de confiabilidad, el profesional cuenta con mucha energía y una sólida formación teórica, pero posee poca experiencia práctica. Durante este período, tanto el desarrollo de habilidades técnicas como la adquisición de experiencia son cruciales. Resulta esencial obtener apoyo de especialistas/expertos para acelerar el crecimiento profesional. Además, es fundamental realizar un esfuerzo personal constante, como la lectura de libros, artículos y la participación en conferencias de ingeniería de confiabilidad.

En el nivel de madurez experiencia, que abarca aproximadamente entre cinco y diez años de carrera, se adquiere suficiente experiencia técnica y práctica en áreas específicas. El propio esfuerzo para ampliar los conocimientos técnicos sigue siendo importante, pero es crucial comenzar a desarrollar habilidades blandas. Durante esta fase, muchos ingenieros de confiabilidad optan por avanzar hacia roles gerenciales, aunque deben ser conscientes de que este cambio implica dejar de lado el análisis directo para coordinar a otros ingenieros en dichos análisis.

En el nivel de madurez senior/principal, generalmente alcanzado después de diez años, el profesional tiene suficiente experiencia técnica para llevar a cabo todas las tareas y brindar apoyo a ingenieros menos experimentados. Un error común en este nivel es la creencia de que se sabe todo, lo cual lleva a no buscar nuevas aplicaciones de métodos ni a considerar soluciones innovadoras. Esta actitud marca la diferencia entre el nivel senior/principal y el nivel de madurez especialista.

En el nivel de madurez especialista, generalmente logrado después de 10 años, tiene una profunda experiencia técnica y puede aplicar todos los métodos relacionados con la ingeniería de confiabilidad en una industria específica. Aquí, muchos ingenieros experimentados cometen el error de intentar convertirse en especialistas sin poseer conocimientos prácticos, ya que obtener certificaciones, realizar maestrías o doctorados proporciona conocimientos teóricos pero no prácticos.



Figure 6 - Nivel de madurez de los ingenieros de confiabilidad

En el nivel de madurez de experto, generalmente alcanzado después de 15 o 20 años como ingeniero de confiabilidad, el experto tiene una amplia experiencia técnica y puede aplicar todos los métodos relacionados con la ingeniería de confiabilidad en dos o más industrias diferentes. Los expertos son capaces de trabajar en distintos tipos de productos y proponer soluciones mejoradas al comparar diferentes prácticas. En este nivel, la experiencia internacional en proyectos es común.

En el nivel de madurez de experto Internacional, generalmente logrado después de 15 o 20 años como ingeniero de confiabilidad, se posee la misma experiencia técnica y habilidades blandas que el experto. La diferencia principal radica en que el experto internacional ha vivido en el extranjero, trabajando en diferentes proyectos internacionales y conociendo diversas culturas. Esto le permite asesorar sobre la mejor aplicación de la ingeniería de confiabilidad en relación con los factores culturales. Los expertos internacionales desempeñan un papel de entrenadores para ingenieros y gerentes, especialmente para aquellos que buscan una carrera internacional.

### ¿Cómo alcanzar el éxito en una carrera internacional como ingeniero de confiabilidad?

Tras reflexionar sobre los temas cruciales que influyen en el éxito de la carrera de un ingeniero de confiabilidad, como los tres factores esenciales, el perfil basado en las características principales del hexágono de Holland, el nivel de madurez en la utilización de datos de la organización, el nivel de madurez en la gestión organizacional, el análisis SWOT para el desarrollo de la estrategia de carrera y la identificación del nivel de madurez técnica, podemos concluir que todos estos factores son esenciales para lograr el éxito en esta carrera.

No obstante, al hablar de una carrera a nivel internacional, la ubicación influirá significativamente en dicho logro y en el tiempo necesario para alcanzarlo. Como se mencionó previamente, el éxito profesional será más rápido o más lento según la utilización de datos y los niveles de madurez de gestión de la organización. Sin embargo, la cultura de los

países determinará en cuáles se encontrarán organizaciones más idóneas para desarrollar la carrera internacional de ingeniero de confiabilidad.

Generalmente, países como Estados Unidos, Reino Unido, Países de Oriente Medio y Australia, al siempre buscar expandir su economía, cuentan con organizaciones más competitivas y, por ende, con un mayor nivel de madurez en la gestión y utilización de datos. Por otro lado, en Europa, donde la mayoría de las organizaciones se enfocan en seguir estándares, procedimientos internos y entregan documentación, no es la región más propicia para desarrollar una carrera internacional en ingeniería de confiabilidad.

Cuando consideramos carreras internacionales, hay países en desarrollo como Brasil, Indonesia y Malasia, que también poseen una cultura de alta confiabilidad en muchas organizaciones, especialmente en el sector de petróleo y gas, basada en el objetivo de lograr un rendimiento constante elevado. Para los ingenieros de confiabilidad que residen en América Latina, por ejemplo, Brasil puede ser una opción muy viable debido a la extendida cultura de confiabilidad en diversas organizaciones de diferentes sectores industriales. En Brasil, el Seminario Internacional de Profesionales de Ingeniería de Confiabilidad, como el Simposio Internacional de Confiabilidad, se lleva a cabo desde 2002, con la participación de numerosos ingenieros de organizaciones brasileñas y de países de América Latina y Estados Unidos. Además, la adaptación más fácil a la cultura brasileña ayudará en el desarrollo exitoso de la carrera internacional para ingenieros de países latinos, como México y Chile.

Independientemente del país elegido, es crucial investigar todos los aspectos mencionados anteriormente y buscar una adaptación sencilla en relación con la cultura, el idioma y la vida social.

En mi experiencia laboral en Reliasoft, he tenido la oportunidad de trabajar con norteamericanos y puedo afirmar que, en cuanto a ingeniería de confiabilidad, son los mejores de los mejores, y las organizaciones estadounidenses son también las mejores opciones para una carrera internacional.

La buena noticia es que la cultura de ingeniería de confiabilidad ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos 10 años en países de América Latina, especialmente en México, Chile y Perú, gracias a la realización de diversos seminarios, entrenamientos, certificaciones y trabajos desarrollados por ingenieros en varios países de la región.

El futuro de la ingeniería de confiabilidad es desconocido en la actualidad, ya que se presta mucha atención a la inteligencia artificial y al mantenimiento. No obstante, la estrategia de mantenimiento más efectiva seguirá siendo tener activos de alta confiabilidad.

# ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ ACR

La evolución es:

**Método + Software**  
**Sologic + Causelink**

 **SOLOGIC**<sup>®</sup>  
**causelink**<sup>®</sup>



Incluye:

- ✓ Método ACR Sologic
- ✓ Línea de Tiempo
- ✓ Espina de Pescado
- ✓ 5 Porqué
- ✓ Causa-Efecto

**AGENDA DEL  
1ER TRIMESTRE DEL AÑO**



WEBINARS

→ 15 de Febrero de 2024. 2pm GMT-03

**NUEVAS SOLUCIONES DE SOLOGIC: LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y LA PREVENCIÓN EN EL 2024**

→ 21 de Marzo de 2024. 2pm GMT-03

**¿PODRÁ LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL RESOLVER LOS PROBLEMAS?**

→ 18 de Abril de 2024. 2pm GMT-03

**CÓMO ELEGIR LA HERRAMIENTA DE ACR MÁS EFECTIVA**



CURSOS ABIERTOS

→ 5 de Marzo

Facilitador (Modalidad Virtual)

→ 14 de Mayo

Facilitador Líder (Modalidad Virtual)



**5TO. ENCUENTRO ENTRE PARES**  
25 de Abril - 17pm GMT-03



E-mail [infolatam@sologic.com](mailto:infolatam@sologic.com)

+54 911 3474 1012 +52 993 214 9385

[www.sologic.com/es-mx](http://www.sologic.com/es-mx)

 **SOLOGIC**<sup>®</sup>

# ¡Únete a Enfermos del Predictivo, El Club!

Registro



**David Faro Ruiz**

Instructor Certificado  
de Monitorizado de la  
Condición y  
Enfermo del Predictivo

**“Alternativa sencilla al ChatGPT para el  
Mantenimiento Predictivo que  
sorprendentemente casi nadie aplica”**

**26 - 02 - 2024 | 4 pm hora España**



con el apoyo de **PREDICTIVA21**



# INTENSIVO 4.0

INDUSTRIA 4.0, TECNOLOGIA DE MONITOREO Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Prerregistro aquí



25-27  
MARZO  
7:00 P.M.  
CDMX

MATERIALES  
INCLUIDOS  
+ CERTIFICADO

**TRACTIAN**

**PREDICTIVA21**

 Predyc

 academy  
by TRACTIAN



