

## CONFIABILIDAD Y COSTOS ESTRATEGIAS EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA GARANTIZAR LA EXCELENCIA OPERACIONAL

Elkin Cantor  
ISA INTERCOLOMBIA  
[ecantor@intercolombia.com](mailto:ecantor@intercolombia.com)

Fernán Díaz  
ISA  
[fdiaz@isa.com.co](mailto:fdiaz@isa.com.co)

Alexander Patiño  
ISA INTERCOLOMBIA  
[apatino@intercolombia](mailto:apatino@intercolombia)

### Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo e implementación de un modelo de confiabilidad operacional, diseñado para optimizar la gestión del mantenimiento de activos y el desempeño en una organización desde un punto de vista estratégico. A través de un enfoque que integra indicadores clave tales como: Tiempo Medio entre Fallas (MTBF), Índice de Confiabilidad, Efectividad del Mantenimiento y Desempeño financiero de los activos, estos buscan mejorar el desempeño organizacional, de los equipos, y a su vez reducir los tiempos de indisponibilidad no planificados. El modelo se centra en la transición de una cultura de mantenimiento basada en tiempo hacia una basada en monitoreo de condición, optimizando las intervenciones preventivas y predictivas basadas en datos y el desempeño técnico de los activos.

La principal premisa de este enfoque es la priorización de los activos según su impacto en la operación y el rendimiento de la organización. Para ello, se desarrollan los indicadores, con sus respectivos niveles de control y acciones de mejora propuestas, bajo un marco de trabajo ágil que permite la flexibilidad necesaria para pivotar o perseverar según los resultados obtenidos a lo largo del proceso. De esta manera, el modelo no solo busca mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los activos, sino también reducir el enfoque reactivo, maximizando la efectividad del mantenimiento y alineando los esfuerzos con los objetivos estratégicos de la organización y asignando los recursos en línea con dichos objetivos.

El trabajo destaca la importancia de fomentar una cultura organizacional orientada a la confiabilidad proactiva y la cooperación entre diferentes áreas, una sola área no tiene las respuestas, pero trabajando en conjunto sobre los activos que mas impactan la confiabilidad obtendremos las mejores respuestas, donde los equipos de mantenimiento y operación se convierten en agentes de cambio, colaborando de manera continua con otros departamentos (Diseño y Renovación) para anticipar fallas y asegurar la continuidad operativa. La aplicación del modelo ha demostrado resultados tangibles en la mejora de la disponibilidad de los activos, la reducción de costos asociados a fallos imprevistos, y el aumento en la eficiencia operativa.

### Palabras claves

Confiabilidad, MTBF, efectividad del mantenimiento, disponibilidad, costos de mantenimiento, programa de confiabilidad operacional.

### Introducción

La confiabilidad operacional es un concepto clave en la gestión de activos y procesos industriales. “Se refiere a la capacidad de un sistema compuesto por equipos, procesos, tecnologías y personas para cumplir con las funciones para las cuales ha sido diseñado, dentro de ciertos límites y en un contexto operacional específico” [1].

La confiabilidad operacional es crucial para el funcionamiento eficiente y seguro de cualquier sistema. En el contexto de empresas como ISA

INTERCOLOMBIA, se refiere a la capacidad de mantener la continuidad de sus operaciones sin interrupciones significativas.

Sin embargo, “hablar de confiabilidad operacional sin hablar de la gestión de costos en el negocio resulta limitado, pues tenemos que gestionar la confiabilidad a costos que permita a la organización ser competitiva y sostenible” [2]. Por esta razón dentro del modelo de confiabilidad operacional propuesto se incluye indicadores de desempeño operativo y financiero.

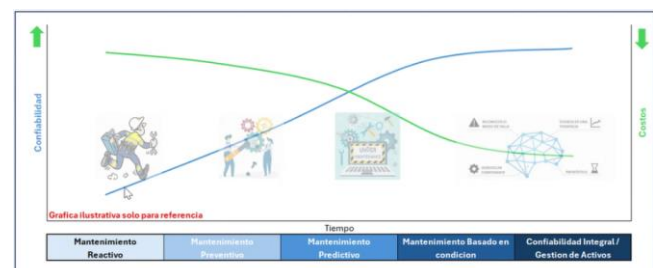
## 1. Confiabilidad y gestión de costos dentro de la excelencia operacional

El modelo de confiabilidad operacional para los activos de transporte de energía desde un punto de vista estratégico, son el eje conductor de las actividades al interior de la organización y la base para el desarrollo y mantenimiento de un programa de confiabilidad y análisis continuo de la operación, logrando incorporar las mejores prácticas, de tal forma que se cuente con un proceso eficiente, actualizado y que complemente el seguimiento de desempeño actual, propuesto por los modelos de gestión de activos en la serie de normas ISO 55000:2024. Este modelo implica gestionar las siguientes actividades.

- Construcción de un modelo de vigilancia que incluya la validación del modelo mismo.
- Construcción y análisis de información de los datos operacionales.
- Desarrollar los estándares de desempeño operacional y financiero.
- Definir una estructura de comités, con la definición de roles y responsabilidades, con revisión por la alta dirección para asignación de recursos y toma de decisiones.

- Identificar y corregir las deficiencias y/o desviaciones en operación y mantenimiento.
- Establecer los tableros de control, seguimiento, reportes y control.
- Identificación de la eficiencia del programa de mantenimiento de acuerdo con los datos procesados.
- Administración y manejo del programa de confiabilidad.

La evolución de la confiabilidad operacional ha sido impulsada por la necesidad de maximizar la eficiencia, minimizar los costos y mejorar la seguridad en las operaciones industriales, como se detalla en la figura 1. La competitividad de las empresas ahora ya no solo radica en la calidad de sus productos, en nuestro caso la confiabilidad y disponibilidad de activos eléctricos, sino también en la eficiencia de los procesos con los cuales gestionamos los activos.



**Figura 1.** Evolución del mantenimiento, costos y confiabilidad.

En la figura 1, se representa como la evolución del mantenimiento ha impactado la confiabilidad y la eficiencia (costos).

## 2. Desarrollo de indicadores claves para gestionar la confiabilidad y la competitividad del negocio

Teniendo presente que un estándar de desempeño se puede expresar de forma numérica y esta puede estar: a través de una tasa, una proporción o un

porcentaje y este puede calcularse incluyendo las variables claves del negocio y que nos den las señales correctas para tomar acciones.

Se definen cuatro indicadores para realizar el seguimiento y evaluación de desempeño:

(1) índice de confiabilidad técnica, (2) tiempo medio de falla (MTBF), (3) eficiencia del programa de mantenimiento y de la siguiente forma (4) costos de mantenimiento vs actividades correctivas, a continuación, se describe cada uno de ellos.

### (1) Índice de confiabilidad técnica (ICT):

Para realizar el monitoreo del desempeño de los procesos, personas y activos se desarrolla este índice, que mide la cantidad de eventos sobre los activos operativos (AO) por los cuales remuneran la función de transmisión, así:

- Causa Regulatoria Evento Forzado (CREF) en horas.
- Causa Regulatoria Mantenimiento Emergencia (CRME) en horas.
- Causa Regulatoria Mantenimiento Programado Fuera de Plan (CRMPFP) en horas.

Este indicador tiene en cuenta la capacidad de recuperación de los activos operativos y se mide en función de las horas requeridas (HR) para restablecer el servicio posterior a la falla, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$ICT = (1 - \frac{\text{Suma\_hr\_Indisp\_}[CREF\_CRME\_CRMPFP]}{\text{Horas\_dia} * \text{Dias\_mes} * \text{Total\_AO}}) * 100$$

### (2) Tiempo medio entre fallas:

Se define el uso del tiempo medio de falla (MTBF por su sigla en inglés), que es uno de los indicadores más usados para evaluar la confiabilidad de activos o sistemas, en donde es fundamental tener clara la definición de falla contemplada dentro del análisis, de lo contrario

perdería sentido su interpretación [3], para el programa de confiabilidad operacional se definió como falla todos los eventos que son imprevistos y los mantenimientos de emergencia, que indisponen los activos, pues son los casos en los que satura a los equipos de trabajo y no permiten fomentar una cultura proactiva en la gestión de los activos:

- Causa Regulatoria Evento Forzado (CREF). Fallas imprevistas.
- Causa Regulatoria Mantenimiento Emergencia (CRME). Mantenimientos que tienen que programarse en menos de 2 semanas.

En este indicador se tienen en cuenta la cantidad de fallas sobre los activos operativos en las horas disponibles menos las horas que no estuvo disponible el sistema por todas las causas, esta es fórmula de cálculo:

$$MTBF = \frac{((8760 * \text{Total\_AO}) - \text{Sum\_hr\_Indisp})}{(\text{Total\_eventos\_}[CREF\_CRME])}$$

### (3) Eficiencia del programa de mantenimiento (Eficiencia)

Con el fin de identificar la eficiencia del programa de mantenimiento, se mide la cantidad de mantenimientos preventivos sobre el sistema a nivel de equipos, por la cantidad mantenimientos totales de los equipos:

$$\text{Eficiencia del mantenimiento} = \frac{\text{Avisos\_mto\_periodicos}}{(\text{Avisos\_mto\_periodicos} + \text{Avisos\_mto\_correctivos})}$$

### (4) Costos de mantenimiento vs tasa de creación de avisos correctivos

Se realiza un comparativo de los costos anuales de mantenimiento correctivo y la tasa de creación de avisos de mantenimiento.

### 3. Programa de confiabilidad operacional

Contar con los indicadores y las formulaciones que nos pueden dar señales sobre los activos no sirven de nada sino las convertimos en decisiones sobre los activos. Es por esto que basados en los lineamientos de la normas ISO 55000:2024 de gestión de activos [4] y el modelo desarrollado en la industria aérea a través de la circular de aviso de la Federal Aviation Administration (FAA) AC 120-17B Reliability Program Methods [5], se propone la siguiente adaptación de un programa de confiabilidad operacional, en la cual se divide en las siguientes partes que garantizan la materialización de acciones a partir de las señales obtenidas, incluyendo marcos de trabajo ágil para gestionar la confiabilidad.

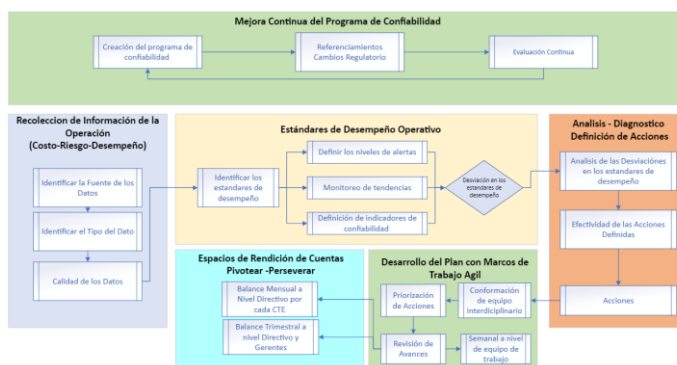


Figura 2. Modelo de confiabilidad operacional propuesto, incluyendo marcos de trabajo ágil.

#### 3.1 Recolección de información de la operación (Costo- Riesgo-Desempeño)

Esta etapa recopila información del desempeño de los activos, limpia datos e identifica brechas en la recopilación. A menudo implica correlacionar fuentes de información que no siempre están en las mismas plataformas.

#### 3.2 Estándares de desempeño operativo.

Partiendo de la definición ampliamente aceptada de confiabilidad, esta se entiende como la probabilidad de que un sistema o activo opere de

manera satisfactoria durante un período de tiempo específico, bajo condiciones de funcionamiento determinadas y en un entorno particular. Lo que buscamos en esta etapa es con la información recopilada de los activos construir los estándares de desempeño de los activos que nos permitan calificar si se está desempeñando de manera satisfactoria.

En este caso, desarrollamos los indicadores explicados anteriormente. Los cuales pueden presentar señales de alerta al superar valores límites o por tendencia en el tiempo.

#### 3.3 Análisis, diagnóstico y definición de acciones

Una vez se identifica desviaciones en el desempeño de los activos es necesario definir acciones de mejora que nos permita restablecer los niveles de confiabilidad esperado. Donde es necesario recopilar las acciones implementadas en el pasado y evaluar su efectividad.

#### 3.4 Incorporación del modelo de confiabilidad a la evaluación recomendada en gestión de activos

Con base en las definiciones anteriores, se realiza la evaluación integral del desempeño de los sistemas, conectando con los modelos tradicionales de seguimiento de los activos y algunos que complementan la toma de decisiones, si bien la evaluación enmarcada en gestión de activos tiene un responsable organizacional, esta toma todos los actores al interior de la organización y con base en sus responsabilidades integra los sistemas de vigilancia a modelos conocidos de gestión.

Los resultados obtenidos de la evaluación conjunta de los diferentes sistemas a los que se suma confiabilidad, aportan al mejoramiento del ciclo cerrado de gestión de activos desde la estructuración de la necesidad por los stakeholders

hasta los procesos de operación y mantenimiento y finalmente disposición final de los activos.

### 3.5 Desarrollo del plan con marcos de trabajo ágil

La clave en esta etapa está en conformar los equipos interdisciplinarios que darán solución a las acciones críticas. Formar equipos que incluyan expertos en confiabilidad, ingenieros de mantenimiento y otros roles relevantes. La colaboración entre diferentes disciplinas puede ayudar a abordar los problemas de confiabilidad desde múltiples perspectivas y encontrar soluciones más efectivas.

Las organizaciones exitosas se centran en desarrollar pocas iniciativas que puedan realmente marcar la diferencia, posponiendo los que no son realmente urgentes. Enfocarse en las áreas de confiabilidad que tienen el mayor impacto en el negocio. Esto asegura que los esfuerzos se dirijan a las mejoras más significativas primero.

Esta es la clave en esta etapa, que el equipo pueda identificar acciones prioritarias y que puedan evidenciar avances en el corto plazo, no mayor a 3 meses, esto con el fin de que los equipos puedan ver el valor incremental en la confiabilidad.

### 3.6 Espacios de rendición de cuentas (pivotar o perseverar)

Al igual que en las metodologías ágiles, puedes gestionar la confiabilidad mediante ciclos cortos de trabajo (iteraciones) y revisiones frecuentes [6]. Esto permite identificar y corregir problemas de confiabilidad rápidamente, mejorando la calidad de las soluciones a los problemas de confiabilidad.

La rendición de cuentas en planes de confiabilidad implica la transparencia y responsabilidad en la gestión de recursos y decisiones. Es la oportunidad para replantearnos si la estrategia definida para solucionar los problemas críticos para el negocio

es la más adecuada o es necesario ajustar. Se plantea realizar mensualmente a nivel directivo y trimestral a nivel de gerencia.

La cooperación entre todos los departamentos es absolutamente esencial para obtener el máximo desempeño y efectividad. Nadie tiene todas las respuestas, pero juntos en equipos interdisciplinarios tendremos las respuestas correctas.

### 3.7 Mejora continua del programa de confiabilidad operacional

Finalmente, a este marco de trabajo se le debe aplicar una mejora continua. Si el desempeño de los activos no mejora, es necesario ajustar las métricas utilizadas para monitorear dicho desempeño o abordar de manera diferente las acciones de mejora.

Utilizar tableros para visualizar el flujo de trabajo relacionado con la confiabilidad. Esto ayuda a identificar cuellos de botella y a gestionar las tareas de manera más eficiente [6].

## Conclusiones

El desarrollo e implementación de un modelo de confiabilidad operacional, ha demostrado ser una herramienta eficaz para optimizar la gestión del mantenimiento de los activos críticos de una organización. Al integrar indicadores clave como el Tiempo Medio entre Fallas (MTBF), el Índice de Confiabilidad y la Efectividad del Mantenimiento (OEE), junto con el desempeño financiero de los activos, se logra una mejora significativa en la confiabilidad de los equipos y una reducción en los tiempos de indisponibilidad no planificados. Este enfoque proactivo, que prioriza las intervenciones preventivas y predictivas basadas en datos, permite una

transición efectiva de una cultura de mantenimiento reactiva a una proactiva.

El modelo de confiabilidad estratégica también enfatiza la necesidad de priorizar los activos según su impacto en la operación y el rendimiento de la organización. Al adoptar un marco de trabajo ágil, se permite la flexibilidad necesaria para pivotar o perseverar según los resultados obtenidos a lo largo del proceso. Esto no solo mejora la confiabilidad y disponibilidad de los activos, sino que también reduce el enfoque reactivo, maximizando la efectividad del mantenimiento y alineando los esfuerzos con los objetivos estratégicos de la organización.

El entendimiento de los procesos de evaluación en gestión de activos, se aproxima a modelos estáticos que no permiten la actuación anticipada a la identificación de las fallas, un modelo de confiabilidad basado en el monitoreo del desempeño sumado a una evaluación holística desde los diferentes sistemas de vigilancia enriquecen la toma de decisiones y el mejoramiento continuo al interior de las organizaciones.

La confiabilidad es un medio para la implementación de monitoreo de condición y actúa como vehículo para lograr llegar a modelos más avanzados de monitoreo a través de analítica, IA y conecta con los procesos de innovación de las organizaciones

La capacidad de adaptarse rápidamente a los cambios y ajustar las estrategias basadas en datos sólidos es crucial para mantener la competitividad y sostenibilidad a largo plazo.

## Hoja de Vida

### Elkin Leonardo Cantor Huérfano

Ingeniero eléctrico de la universidad de los Andes. MSc Ingeniería Eléctrica. Universidad de los Andes. MSc en Ciencia de Datos, de la universidad

Pontificia Javeriana. Actualmente cursando posgrado en Liderazgo de Confiabilidad, en la Universidad Católica de Murcia y PMM Learning. Trabajando actualmente en la Dirección Confiabilidad de ISA INTERCOLOMBIA S.A E.S.P

### Fernán Díaz.

Ingeniero mecánico de la universidad Nacional de Colombia sede Medellín, especialista en finanzas con énfasis en banca de inversión de la universidad Externado de Colombia y MSc en administración de empresas de la universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Trabajando actualmente en la Dirección de operaciones corporativas de ISA.

### Alexander Patiño Castaño

Ingeniero Eléctrico de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Especialista en Finanzas Universidad EAFIT, Especialista en Gerencia de Mantenimiento Universidad de Antioquia y Especialista en Analítica Universidad Nacional. Trabajando actualmente en la Dirección Mantenimiento de ISA INTERCOLOMBIA S.A E.S.P

## REFERENCIAS

[1] Díaz Concepción, Armando, Benítez Montalvo, Reynaldo, Castillo Serpa, Alfredo del, Cabrera Gómez, Jesús, Villar Ledo, Lesis, & Rodríguez Piñeiro, Alberto Julio. (2021). Formulación de un nuevo concepto de confiabilidad operacional. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 29(1), 87-93. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052021000100087>

[2] Luigi Amendola Ph.D ;Excelencia Operacional, Editorial: PMM Institute for Learning ; Año de publicación: 2021

[3] Luigi Amendola Ph.D ; ACR Análisis Causa Raíz como negocio, Editorial: PMM Institute for Learning ; Año de publicación: 2014.

[4] Normas ISO 55000 de gestión de activos.

[5] AC 120-17B - Reliability Program Methods— Standards for Determining Time Limitations.

[6] Darrell Rigby, Sarah Elk, Steve Berez · "Doing Agile Right: Transformation Without Chaos", Harvard Business Review Press · 2020.