

PREDICTIVA 21

Año 7 - No.31 - Julio 2020

Cambio, adaptación, evolución

Terrence O'Hanlon

Análisis de
Coste de Ciclo
de Vida

Herramientas de
Optimización de
Mantenimiento

Cálculo de la
Tasa de Falla de
Tuberías

Confabilidad Estructural

Inspección
Dimensional
de Intercambiadores de
Calor

Mantenimiento
en una Central
Hidroeléctrica

Índice

- 3** **Editorial**
- 6** **Entrevista a Terrence O'Hanlon**
Irene González
- 10** **Probar, Detectar y Aislar aplicado al Mantenimiento**
Gerardo Trujillo
- 12** **Efecto del Síndrome de Bornout en Confiabilidad Humana Aprendiendo a Evolucionar**
Dr. Bárbaro J. Giraldo C.
- 18** **Inspección Dimensional de Intercambiadores de calor**
José Rodríguez
- 25** **Cálculo de la Tasa de Falla de Tuberías usando Confiabilidad Estructural**
José María Alzugaray Pomarolli
- 33** **El Mantenimiento y su Evolución**
Irene González
- 39** **El Mantenimiento en una Central Hidroeléctrica**
Francisco Javier Martínez Moseco
- 48** **Técnicas de Análisis de Coste de Ciclo de Vida, utilizadas para justificar la aplicación de Herramientas de Optimización de Mantenimiento, propuestas por la Industria 4.0**
Carlos Parra



Enrique González
Director

Cambio, adaptación, evolución

El coronavirus es un tema inevitable por su influencia en cada área de nuestras vidas. Pero es una muestra de cómo la vida no se detiene, sigue su curso, adaptándose a cada contingencia y aprendiendo de las fallas para corregir a futuro y minimizar los daños.

Tal como la vida, la industria va retomando el curso hacia nuevas ópticas, diferentes enfoques, dibujando el futuro con nuevos conocimientos y herramientas. Evolucionar, crecer, desarrollar, cambiar. Son los conceptos que hemos estado manejando desde que comenzó esta pandemia, de la que ya aprendimos que debemos convivir en medio de nuevas y distintas circunstancias.

Con la edición 31 iniciamos una nueva etapa en Predictiva21. Desde ahora, les ofrecemos una publicación mensual, más artículos y conocimiento, con personalidades destacadas de la industria de la Confiabilidad y el Mantenimiento. En esta edición, conoceremos la visión de una voz esencial en la Gestión de activos, Terrence O'Hanlon, Editor y Director de distintos medios de información relacionados con el área, cuyo aporte esencial es compartir conocimientos y experiencias.

Nuestros articulistas invitados destacan la importancia del individuo en la industria, así como los procesos tales como el "El Síndrome de Bournot y la confiabilidad", la importancia de "Probar, identificar, aislar" en la industria y en la vida, una visión metodológica en "Técnicas de análisis de coste de ciclo de vida, utilizadas para justificar la aplicación de herramientas de optimización de mantenimiento, propuestas por la industria 4.0. Caso de estudio: sector oil and gas".

Cada tema es una propuesta de conocimiento y a la vez de reflexión que desde Predictiva21 compartimos con nuestros seguidores, ahora mensualmente, sobre las novedades, proyectos y visión de futuro de la Gestión de Activos, la Confiabilidad y el Mantenimiento.

Editorial

DIRECTORIO

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

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

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

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

Irene González
Periodista
irene.gonzalez@predictiva21.com

RAM

PREDICTIVA21

08 Agosto

CURSO EN LÍNEA

LIVE

Análisis de Confiabilidad
Disponibilidad y Mantenibilidad

16 hrs / 4 sesiones

Sabados 9:00 am - 1:00 pm Hora México (GMT-5)

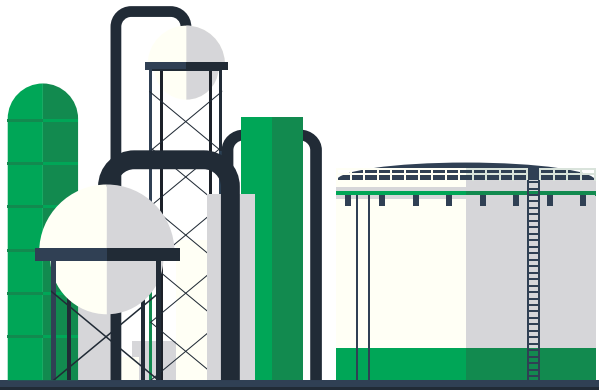


¿Qué aprenderas?

1. Etapas y construcción del modelo
2. Ajuste de distribuciones probabilísticas
3. Simulación Montecarlo
4. Bases de datos, teorema de Bayes
5. Opinión de experto en el análisis RAM
6. Análisis, criticidad y jerarquización
7. El RAM y la vida del activo



Enrique González
Fundador de Predictiva21



E&M Solutions
CONSULTORÍA EN CONFIABILIDAD



ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

RCM

MANTENIMIENTO CENTRADO
EN CONFIABILIDAD

ANÁLISIS RAM DE SISTEMAS COMPLEJOS

Terrence O'Hanlon

Una larga y fructífera trayectoria en el mundo de la confiabilidad y la gestión de activos

Por Irene González
Predictiva21

Los 40 años de vida que Terrence O'Hanlon le ha dedicado a la Confiabilidad y a la Gestión de activos le confieren el reconocimiento como una de las voces con autoridad en el área en todo el ámbito mundial. Su experiencia se ha convertido en una fuente de enseñanza, siendo su norte el compartir conocimientos para mejorar la calidad de vida de los trabajadores de la industria. En esta corta entrevista que concedió al equipo de Predictiva21, O'Hanlon se refiere a la importancia de la información en el mundo de la Confiabilidad, a través de los medios que dirige, pero además deja entrever cómo el individuo, la familia y el planeta deben formar parte esencial de los proyectos



Conozcamos al profesional

P21: Es bien conocida su participación activa en diferentes grupos, comités de trabajo y organizaciones, tales como la AMP, ASME (E-53) e ISO (Comité PC-251 de la ISO-55000, Grupo de Trabajo 39 de la ISO-17021-5 y Grupo de Trabajo TC-56 sobre Dependability). ¿Cuál considera ha sido su mayor aporte en estos grupos? ¿Cuál el mayor aprendizaje de su participación?

TO: Espero haber aportado un poco de conocimiento y experiencia, y esfuerzo, porque nada cambia sin acción. Al mundo no le interesa mi intención, al mundo tampoco le importa mi opinión, el mundo solo cambia con mis acciones. Y es lo mismo con cada uno de nosotros, tenemos que tomar nuestras ideas y convertirlas en acción, por lo cual participar en organizaciones como el US TAG, que forma parte de la ISO, fue caro, consume tiempo, a veces uno se frustra un poco, pero ha sido una de las recompensas más grandes que he tenido en mi vida. Porque puedo entregar mi conocimiento, mi experiencia y recibo de vuelta muchísimo de lo que entregué. Fue una sorpresa para mí. Pero escuchando, colaborando, participando, con gente más inteligente que yo, gente más experimentada en gestión de activos que yo, yo crezco. Así que lo que entregas y regresa, lo mantienes y es mucho mejor. Siempre recomiendo, donde sea que te encuentres en el mundo, que traten de encontrar un grupo o una actividad a la que puedan pertenecer y que también puedan contribuir para avanzar en esta práctica. Todos tenemos algo que aportar.

P21: ¿Qué nos puede decir del reciente lanzamiento de los Elementos Uptime para el Marco de la Estrategia de Digitalización? ¿Cómo se relacionan con los Elementos Uptime originales, con la Industria y el Mantenimiento 4.0? ¿Qué beneficios traerán?

TO: Es una gran pregunta. En primer lugar, las tareas para mantener lo que es Confiabilidad y Gestión de activos, algunas de esas tareas son de computación, a veces están correlacionadas, otras se desprenden de la lógica. Estas van a ser reemplazadas por las máquinas, como el aprendizaje de máquinas (Machine Learning), la Inteligencia artificial, van a empezar en la base, tal como estamos los humanos ahora, pero a diferencia, son consistentes, se repiten. Una vez que una máquina aprende algo, todas aprenden algo. Las máquinas no tienen un mal día, no tienen dolor de cabeza, no se enferman, no tienen una mala actitud, así que vamos a empezar a adquirir esa consistencia a través de la digitalización.

Pero esto provee una fabulosa oportunidad para la gente que antes hacía esos trabajos, para que se mejoren todos esos trabajos, necesitamos alguien que ayude y opere los robots, que los repare, que programe las máquinas, que confirme las recomendaciones de la máquina. Las máquinas nunca van a ser creativas, no van a crear empatía, pero podemos utilizar las máquinas para asistirnos. Y esa es la forma de considerar la industria de mantenimiento 4.0.

Tomemos las funciones más pequeñas y dejemos que eso lo haga la máquina. Tomemos las funciones más altas y dejemos que las ejecuten los seres humanos. Es una revolución en Confiabilidad. Y si no ha empezado a aprender sobre esto, tiene que empezar en este momento. Tiene que estudiar sobre el machine learning, tiene

que estudiar sobre los gemelos digitales, condición de monitoreo, porque cada vez los sensores son más pequeños, son mejores, más rápidos, más económicos, con mejores baterías, con más exactitud. Y vamos desde que estamos prediciendo el tiempo, la máquina a diagnosticar. De esa manera estamos preparados para prescribir, no estamos tratando de predecir mantenimiento, estamos tratando de crear que la maquinaria esté de forma más saludable.

Mantenimiento es un costo, la acción de la salud de la máquina hace que haya exista mejor performance, así que los elementos Uptime como tal es un Frame Word de Confiabilidad y es un sistema de gestión de activos consistente con las normas ISO 55000. Pero vemos el ingreso de nuevas tecnologías que nos ayudan a automatizar algunos procesos utilizados en Confiabilidad para hacerlos más sustentables, un ambiente más seguro, donde la productividad es mejorada astronómicamente a la anterior. También estamos creando entrenamiento y una certificación en torno a la digitalización 2021.

Pero esto provee una fabulosa oportunidad para la gente que antes hacía esos trabajos, para que se mejoren todos esos trabajos, necesitamos alguien que ayude y opere los robots, que los repare, que programe las máquinas, que confirme las recomendaciones de la máquina. Las máquinas nunca van a ser creativas, no van a crear empatía, pero podemos utilizar las máquinas para

asistirnos. Y esa es la forma de considerar la industria de mantenimiento 4.0. Tomemos las funciones más pequeñas y dejemos que eso lo haga la máquina. Tomemos las funciones más altas y dejemos que las ejecuten los seres humanos. Es una revolución en Confiabilidad. Y si no ha empezado a aprender sobre esto, tiene que empezar en este momento. Tiene que estudiar sobre el machine learning, tiene que estudiar sobre los gemelos digitales, condición de monitoreo, porque cada vez los sensores son más pequeños, son mejores, más rápidos, más económicos, con mejores baterías, con más exactitud. Y vamos desde que estamos prediciendo el tiempo, la máquina a diagnosticar. De esa manera estamos preparados para prescribir, no estamos tratando de predecir mantenimiento, estamos tratando de crear que la maquinaria esté de forma más saludable.

Mantenimiento es un costo, la acción de la salud de la máquina hace que haya exista mejor performance, así que los elementos Uptime como tal es un Frame Word de Confiabilidad y es un sistema de gestión de activos consistente con las normas ISO 55000. Pero vemos el ingreso de nuevas tecnologías que nos ayudan a automatizar algunos procesos utilizados en Confiabilidad para hacerlos más sustentables, un ambiente más seguro, donde la productividad es mejorada astronómicamente a la anterior. También estamos creando entrenamiento y una certificación en torno a la digitalización 2021.

Una mirada siempre positiva

P21: Reliabilityweb.com, Uptime® Magazine y el IMC son hoy en día tres íconos de referencia mundial para los profesionales del mundo de la confiabilidad. ¿Cómo ha sido la trayectoria, el esfuerzo y las recompensas para llevarlos a lo que son hoy en día?

TO: Todo empezó con una idea muy simple, que fue tomar experiencia innovadora, conocimiento y experiencia, y entregarlo a los practicantes. Antes de eso, la información era solo para unos pocos como los consultores, o las revistas, pero pensamos que la información de la confiabilidad es como un río que atraviesa las montañas y debe ser gratuita para todos. Para nosotros, el valor principal es ofrecer productos de calidad y contenido a los practicantes, esa es lo primordial para nosotros en nuestros eventos. Pensamos que si apoyamos a los practicantes podemos tener una mejor relación con todos en el evento porque así los practicantes se van a sentir más a gusto, recibiendo información de calidad. Así que es un secreto grande, no se lo digan a nadie, nuestro secreto es: el valor que le damos al practicante.

Si quieren entrar en un negocio como este, tienes que quererlo mucho, porque van a despertarse con él, a almorzar con él, cenar, ir de vacaciones, está con usted todo el tiempo. Así que elijan algo que realmente amen, por lo que sientan pasión. Cuando conozco a alguien que le encanta el infrarrojo en el mercado, o ama el análisis petrolero, o les gusta el RCM, lo disfruto tanto porque son gente apasionada, son uno con el arte. Y eso es lo que a mí me emociona. Por eso a mí me gusta encontrar ese tipo de gente y pedirles que compartan con mi mundo, con lo que es Reliability Magazine y Uptime web y, por supuesto, los eventos.

Al final del día, en Confiabilidad.net nuestro objetivo es que el mundo funcione para todos. Nuestra misión es tener más segura a la gente que servimos, sustentables y exitosos. Pero lo que realmente significa es que no aceptamos las muertes, tiene que ser cero a través del mantenimiento. El mantenimiento no puede ocasionar muertes. Así que lo invito a unirse a nuestro lema: no más muertes por mantenimiento. Cuando existen fallas los turn downs o turn arounds, (en operaciones de emergencia como fallas, caídas o rompimientos) es cuando se producen accidentes en nuestra comunidad. Muchos profesionales tenemos investigaciones que muestran que una planta más confiable genera una operación más confiable. Así que cuando un familiar va a trabajar, mamá, papá, hija, cualquier persona de su familia, queremos que regresen intactos a su casa.

Una planta confiable es también una planta sustentable. Solo tenemos un planeta, es el mismo aire en todos los continentes, la misma agua, y tenemos que ser más respetuosos y no utilizar más recursos de lo debido, no utilizar más material, no más agua o energía de lo que necesita el proceso. El tiempo de la pérdida ha terminado. Tenemos una deuda con nuestros hijos y los hijos de los hijos, debemos dejarles un mejor lugar que el que encontramos, y la confiabilidad es un arma potente y poderosa respecto a la sustentabilidad.

P21: Dentro de esta nueva realidad que estamos enfrentando con la pandemia del COVID, ¿Cuáles son las oportunidades que considera se han abierto para los profesionales y las empresas, y en particular las relacionadas con la gestión de los activos?

TO: Eso demuestra la importancia que la confiabilidad tiene en nuestros trabajos y en nuestras vidas. Lo importante es mirar hacia el futuro y no hacia el pasado gracias a una nueva realidad, sobre todo a las oportunidades que trae en el tema de digitalización. Claro, es más fácil decirlo que hacerlo. Tenemos que asegurarnos que tenemos un buen manejo de la data, de la información y buenas prácticas de mantenimiento, estrategias

de confiabilidad acertadas y enfocarnos a generar valor de nuestros activos. Sin embargo, es el tiempo de ver todas las cosas que pueden ser automatizadas, las cosas que están correlacionadas, organizadas, las cosas que necesitan cálculo de computación y utilizando el árbol de la lógica en general. Estas son cosas que pueden liberar a nuestras personas, simplemente son tareas que pueden hacer otros sistemas, mientras los líderes se enfocan en cosas más estratégicas. Así que esta es una fase que depende de cada uno de nosotros como líderes en confiabilidad: liderar a nosotros mismos, liderar nuestros colegas, liderar la gente que trabaja con nosotros, liderar nuestra comunidad, nuestras familias, a un futuro más positivo y lo más digital posible. Se han perdido muchas oportunidades, pero se pueden crear nuevas. Hay que enfocarse en lo que tenemos y que

P21: ¿Qué es el marco de digitalización?

TO: El marco de digitalización es básicamente para que una persona entienda el proceso de digitalización de principio a fin, empezando con la fuente de la información, esta información de la data puede ser información del activo como tal, o sensores del activo. Se puede medir la vibración, la velocidad, la parte de carga, temperatura, sonido, en fin, muchas y diferentes características.

P21: ¿Cuáles son las nuevas adiciones en los Uptime Elements?

TO: Estamos revisando los elementos Uptime, versión 3.0, y una de las cosas que puedo decirles es que tomamos los diez derechos de la misión de activos (La cadena de principios de la misión de activos) y ahora se llama los diez derechos de la vida del ciclo del activo, para reemplazar, como ustedes recordarán, en el Frame Word, la parte de abajo. Así que quédense en contacto con nosotros, pues en diciembre o enero aproximadamente lo estaremos lanzando. Y les vamos a mostrar la versión 3.0



Terrence O'Hanlon

estamos controlando. El consejo que le doy a la gente que conoce de confiabilidad y que se está instruyendo en esto, aprendan sobre el machine learning, aprendan sobre el aprendizaje de las máquinas, aprender formatos para la gobernación de la data. Porque si toma la parte de confiabilidad con la parte de machine learning es algo invaluable para el futuro.

Si alguien de las personas que está escuchando o leyendo esto ha experimentado alguna pérdida sobre el COVID, lo siento, pero esa es una razón más para enfocarnos en lo positivo y crear un nuevo futuro. Los líderes en confiabilidad crean un futuro que no iba a suceder de ninguna otra forma.

Consejo: Disfrutar la vida

P21: En una de sus recientes publicaciones Ud. dijo “Las únicas cosas que puedes mantener en la vida son las cosas que regalas”; ¿Nos explica a qué se refiere con ello?

TO: Ya sabemos eso como humanos. La única manera de tener amor es dando amor, la única manera de tener amistad es dando amistad, la única forma de obtener respeto es ofreciendo respeto, la vida es completa pero tiene una

dualidad. De manera más específica, por ejemplo, cuando trabajé con el grupo técnico que escribió la norma de Gestión de Activos ISO 55000 aporté bastante conocimiento y experiencia, pero recibí a cambio 10 veces más conocimientos y experiencias de todas las personas con las que trabajé. Así es la forma como los equipos exitosos trabajan. De manera que es siempre bueno mantener la mente en la dualidad del mundo y del universo. Gandhi dijo sé el cambio que quieres ver en el mundo.

P21: Hablemos ahora sobre la persona, ¿Cuáles son las actividades que Terrence disfruta en su tiempo libre?

TO: Me gusta pasar tiempo en las afueras, en el campo. Actualmente estoy en Nebraska y el clima está increíble. Aprovecho para pasar el tiempo caminando, visitando las reservas naturales, tocando música (la guitarra), viendo películas y trabajando en confiabilidad, incluso en mi tiempo libre, pues me gusta mucho.

Proyectando el futuro

P21: Tiene Nuevos proyectos de Terrence? ¿Cómo se integra la región LATAM dentro de ellos?

TO: Siempre América Latina está involucrada. Los adoramos, los queremos mucho. Es gente que toma acción, así que sí, tenemos proyectos y estamos trabajando en América Latina. En este momento nos enfocamos en tres áreas: Creando la versión Uptime 3.0; trabajando en los diez derechos de gestión de vida del activo, con el colega y amigo Ramesh Colatti; trabajamos en el nuevo cuerpo y conocimiento del marco de referencia de digitalización de los uptime elements, trabajando con los gemelos digitales, específicamente en el área de confiabilidad y gestión de activos. Son los nuevos proyectos y América Latina va a estar involucrada.

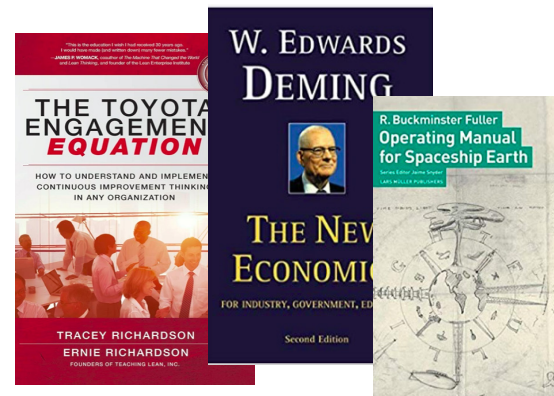
P21: ¿Celebraremos el tradicional IMC en el cierre del año 2020?

TO: Es la conferencia número 25 que hacemos de IMC, la Conferencia Internacional de mantenimiento que se llevará a cabo en las Islas Marcos, Florida, en el J.W. Marriot. Debido al COVID y respetando el tema de responsabilidad de lo que es el distanciamiento social, vamos a hacer un evento en la playa. Vamos a tener tres escenarios completamente separados, el J.W. Marriot y Reliability Web están tomando precauciones en todo esto. Están colocándose con otras dos conferencias importantes, como son Maximo World 2020, conferencia que se basa en el sistema computarizado del corporativo IBM, Maximo, (la conferencia es de Reliability web) y la otra conferencia es Reliability Conference, la conferencia de Confiabilidad, también involucrando al mantenimiento 4.0

Como les comento, la conferencia se producirá en tres escenarios, en la playa. Así que los invito a nuestra primera conferencia de confiabilidad en la playa!

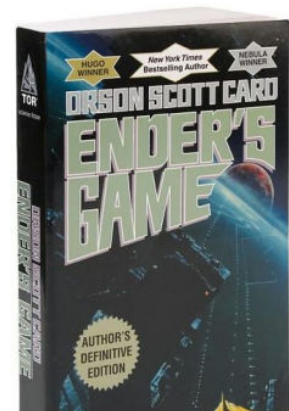
P21: ¿Cuáles son los 5 libros que Terrence recomendaría?

TO: Hay dos libros bien importantes para cualquier líder en confiabilidad debe leer, ambos del Dr. W. Edwards Deming: uno titulado **“Fuera de la Crisis”** y el otro **“La Nueva Economía”**. Otro que recomiendo es uno que estoy leyendo en estos momentos, escrito por Tracey & Ernie Richardson titulado **“The Toyota Engagement Equation”** (La Ecuación de Compromiso de Toyota).



Yo adoro a Buckminster Fuller, quien escribió **“Operating Manual for Spaceship Earth”** (Manual de Operaciones para la Nave Espacial Tierra), ese es uno de los que definitivamente deben leer. Otro más que se llama **“El Juego de Ender”**, que es una novela de ficción donde se mezcla y confunde lo que es real con lo simulado, algo que todos debemos tener en mente. También habla sobre genocidio y la gente puede ver los problemas relacionados con ello, y resulta que aún en los tiempos más oscuros siempre hay esperanza para la humanidad, siempre va a haber gente que toma el liderazgo -y espero que sean Uds-, los que lideren porque los necesitamos. Nuevamente, por favor creen un nuevo futuro que no pasaría de cualquier manera. Contamos con Ustedes.

- Trayectoria profesional de Terrence O'Hanlon
- Editor del sitio Reliabilityweb.com®, y editor en jefe de la revista Uptime®
- Certificado en Gestión de Activos por el Instituto de Gestión de Activos, Profesional Certificado en Mantenimiento y Confiabilidad.
- Director Ejecutivo Interino de la Asociación de Profesionales en Mantenimiento (AMP).
- Editor Ejecutivo y Editor de la 5ª edición del Manual de Gestión de Activos.
- Miembro activo del US TAG para el Comité de Normas de Gestión de Activos ISO 55000- ASTM E53.
- Representante de EUA para el Grupo de Trabajo 39 de ISO para crear una norma para la competencia en la evaluación y certificación de los programas de Gestión de Activos conocidos como ISO 17021-5.
- Miembro del Instituto de Gestión de Activos, de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, de la Asociación para Ingeniería de Planta, de la Sociedad para Profesionales de Confiabilidad y Mantenimiento, y de la Sociedad de Tribologistas e Ingenieros de Lubricación.



Probar, Detectar y Aislar Aplicado al Mantenimiento

(Aplicación del Método recomendado por la OMS para la pandemia de COVID-19 “Probar, Detectar y Aislar” al mantenimiento).

Gerardo Trujillo

Noria

Siempre he creído que los métodos que funcionan en una disciplina pueden ser llevados transversalmente a otras. Conceptos lógicos como el que publicamos en nuestro artículo anterior “Redefiniendo la regla de Pareto” y que proviene de las estrategias para la atención de los contagiados por el virus del COVID-19, pueden aportar resultados sorprendentes cuando los adaptamos a nuestro contexto.

Esta semana estudiaba las estrategias que se han seguido en diversos países para conseguir de manera óptima controlar los contagios y lograr “aplanar la curva”. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha recomendado hacer pruebas (muchas pruebas), para detectar aquellos contagiados y entonces aislarlos para detener la cadena de transmisión. Al leer el artículo, rápidamente vino a mi mente la conexión con nuestra industria y las estrategias de monitorización de la condición de la salud de las máquinas.

Probar: En muchas ocasiones en el diseño de las estrategias de mantenimiento basado en condición (MBC) hemos caído en el error de hacer pocas pruebas (modelo centinela) y eso nos lleva a detectar muchos menos casos que los que realmente existen. Usando las estimaciones de este modelo en el caso del COVID-19, podríamos estimar que por cada caso que detectamos con esta estrategia pudieran existir entre 8 y 12 casos no detectados.

En el caso del MBC, además de seleccionar las máquinas críticas y sus modos de fallo críticos, es necesario establecer una frecuencia de monitorización con base en el desarrollo del modo de fallo. Es común encontrar en la industria un intento por estandarizar las frecuencias de muestra en máquinas con diferentes contextos operacionales y diferentes tiempos de desarrollo de la falla. Todas tienen la misma frecuencia de muestreo y contraponen lo establecido en el estándar internacional ISO 17359:18.

Identificar: Este es el objetivo de la estrategia: identificar una variación en algún parámetro que saque de estabilidad a la máquina y que pueda ocasionar una falla funcional. Buscamos un positivo en su fase más temprana para poder tratar el caso con la acción adecuada que permita ampliar la vida del componente.

Exactamente lo que se pretende con la estrategia de identificar las personas infectadas con el virus.

Deseamos que su detección nos permita evitar llegar a ese 5% de los casos que requieren de hospitalización y terapias de ventilación. En ocasiones detectamos la falla más cercana a la falla funcional y entonces lo que nos queda por hacer es un tratamiento de emergencia o incluso la programación de una intervención de reemplazo del componente para evitar la pérdida de la función. Si nuestra muestra llega tarde debido a que hemos seleccionado una frecuencia mayor al tiempo de desarrollo de la falla, estaremos asumiendo la pérdida de la función del componente sin un aviso previo. Esta es la razón principal por la que las estrategias de MBC no logran detectar muchas de las fallas de la máquina. No deseo hacer la analogía con la salud en este caso.

Aislar: En el caso de la contingencia aislar al paciente permite controlar la cadena de transmisión del virus. En el caso de nuestra máquina, lo que deseamos es el aislamiento de la causa de la condición anormal. Identificarla plenamente y establecer una acción que contribuya a evitar que se vuelva a presentar. Proactivamente, remover el defecto para que no se vuelva a presentar. El éxito del MBC depende de la efectividad de estas acciones y ello depende de la capacidad y conocimiento del especialista que está efectuando el diagnóstico y el pronóstico.

Con base en esta información y la detección de la “enfermedad” (modo de falla), se recomiendan el tratamiento adecuado. Que esa persona no contagie a otros sería en este caso que ese defecto no vuelva a ocasionar un problema.

Les deseo éxito en sus estrategias de cuidado de la salud de ustedes y sus personas cercanas, así como en sus estrategias de MBC.



REQUISITOS PARA
PRESENTAR EN LÍNEA:



¡AHORA DISPONIBLES!

Exámenes de Certificación en Línea

PROGRAMA TU SOLICITUD



¿QUIERES MÁS INFORMACIÓN?

¡CONTÁCTANOS!

www.noria.mx
contacto@noria.mx
+52 477 711 2323



OBTENER UNA CERTIFICACIÓN PUEDE SER UN DESAFÍO ...

Noria Latín América ha desarrollado la aplicación **Noria Academy**, con el objetivo de ayudarte y acompañarte en tu preparación profesional de una manera práctica e innovadora.

¡Conoce la nueva forma de prepararte y obtén las herramientas necesarias para tus **exámenes de certificación por el ICML** (International Council for Machinery Lubrication)!

BENEFICIOS:

- ▶ Conoce y rastrea tu progreso
- ▶ Mejora tus habilidades con **Flash Cards** interactivas
- ▶ Rétrate a ti mismo con **exámenes de práctica**
- ▶ Determina los temas en los que necesitas enfocarte con **resultados específicos**
- ▶ Aprende a tomar exámenes con **tips útiles**



¡CONOCE MÁS!



Efecto del Síndrome de Bornout en Confiabilidad Humana

Dr. Bárbaro J. Giraldo C.
Médico Internista-Intensivista.
 Coach Master Neurocodex



La “Gestión de Activos basada en Ingeniería de la Confiabilidad”, representa la única vía efectiva que permite a las empresas, enfrentar de forma eficiente los retos constantes a los cuales están sometidas las organizaciones de hoy, en forma general se incluyen Confiabilidad de los Procesos, Confiabilidad de los equipos y Confiabilidad de Diseño; sobre los cuales se debe actuar si se quiere un mejoramiento continuo y de largo plazo. ^[1]

El mejoramiento de la Confiabilidad Humana se puede lograr mediante la integración de estrategias que incluyan una adecuada gestión del conocimiento, la consolidación de los equipos naturales de trabajo, aplicación de modelos de competencias y la creación de comunidades del conocimiento para desarrollo del mantenimiento, gestionando su desempeño, con el fin de asegurar la competitividad y poder preservar el conocimiento de la organización. Uno de los objetivos primordiales de la Confiabilidad Humana es minimizar los riesgos de errores humanos. Los principales tipos de errores que se contemplan en los procesos industriales son: el desliz, debido a la falta de atención, los lapsos, debidos a la falta de memoria, el engaño como una respuesta impropia o la aplicación imprecisa de una regla, y la violación intencional de rutina o como un acto de sabotaje, crisis de ausencia, depresión alteración metabólica. El último grupo de errores son aquellos que se cometen por falta de conocimiento. ^[1]

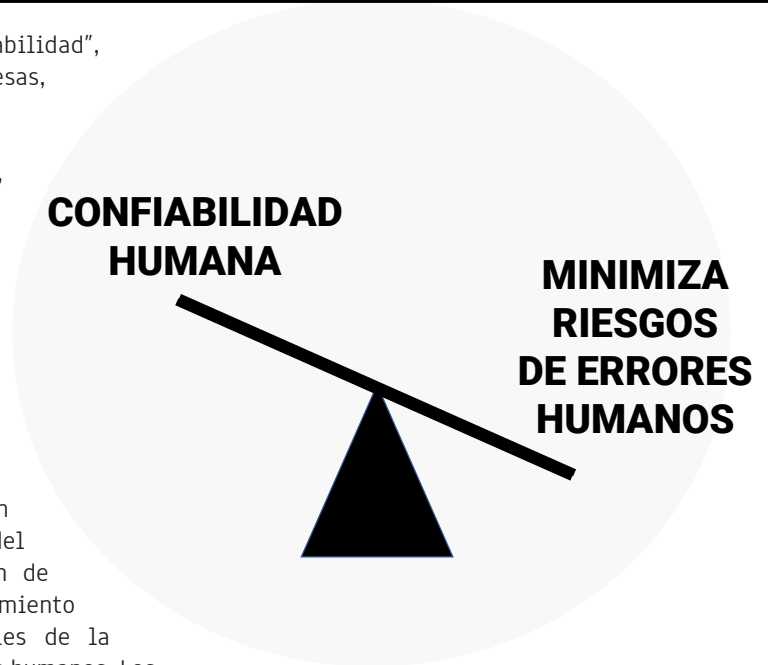


Figura. 1. Confiabilidad humana-Minimización de riesgos

Factores que se evalúan en confiabilidad humana convencionalmente.

Los factores evaluados hasta el momento en forma convencional en confiabilidad humana destacan algunos elementos que interfieren en el rendimiento del activo humano, más se considera que hay un factor que hasta ahora no se la dado el valor adecuado, como lo es el factor salud biológica donde se incluyen patologías agudas y crónicas que pueden afectar el rendimiento en la cadena de producción. Los factores tomados en consideración hasta el momento son:

Factores Antropométricos
Factores Sensoriales
Factores Fisiológicos y Psicológicos
Factores Bioógicos

Figura 2. Factores convencionales considerados y a considerar en confiabilidad humana

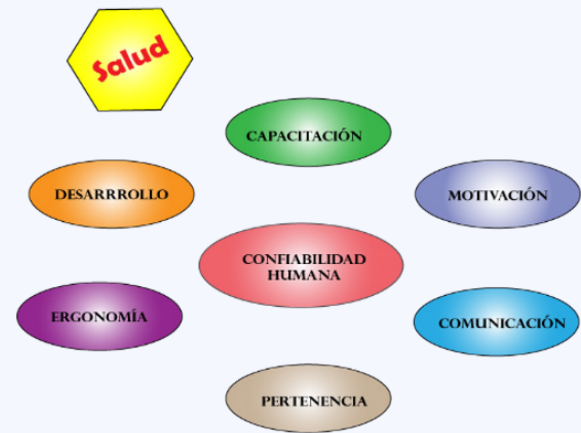


Figura 3. Factores de la confiabilidad humana

1 Factores Antropométricos: Son los relacionados con el tamaño y la resistencia física del operario que va a realizar una tarea, cuando no puede acomodarse físicamente a las condiciones del sistema y equipo; estos errores no constituyen la causa del problema, en la mayoría de los casos son el efecto de una falla del sistema, que requiere una modificación o rediseño.

2 Factores Sensoriales: Se relacionan con la pericia con que las personas usan los sentidos para ver lo que está ocurriendo en su entorno. ruido, que requieren para mitigarlos de una acción correctiva.

3 Factores Fisiológicos: Se refieren a las tensiones medioambientales que afectan el desempeño humano, pues generan fatiga. Para reducirlos se deben efectuar cambios en el clima organizacional, o en los procesos a realizar.

4 Factores Psicológicos: Se refieren a los aspectos internos que tienen raíz en lo psíquico de las personas. Pueden generar errores intencionales o no intencionales y en la mayoría de los casos requieren de tratamiento especializado. ^[1]

Cuando se trata de confiabilidad humana en el área fisiológica se toman en cuenta algunos factores medioambientales que intervienen, capacitación, motivación, comunicación, pertenencia, ergonomía y desarrollo. Sin embargo, usualmente no se incluye el factor salud desde el punto de vista **biológico**, el cual es de *suma importancia ante la confiabilidad del capital humano*. Es de importancia capital tener en cuenta las patologías crónicas padecidas por parte del capital humano así, como el control de las mismas. Dentro de estas patologías podemos mencionar el Síndrome de Burnout.

Características del Síndrome de Burnout



Figura 4. Características del Síndrome de Burnout

Síndrome de Burnout

Una de las afecciones laborales presentes en este tipo de profesionales es el síndrome de Burnout, el cual es característico en las profesiones que se exponen diariamente y de manera directa con personas que se encuentran en situaciones difíciles. Se caracteriza por sensaciones de cansancio laboral, la persona pierde progresivamente la energía en las labores y existe un cambio negativo de actitudes que conlleva a un distanciamiento de las necesidades de los otros individuos; la persona desgastada percibe una falta de realización profesional, valorando el trabajo de forma negativa, acarreando manifestaciones depresivas, autoestima baja y descenso de la productividad en el trabajo. *La aparición del síndrome de Burnout se produce a través de un proceso de desajuste entre las características personales y de la organización. El desajuste tendría lugar en ciertos factores, como: a) carga de trabajo, b) control, c) recompensa, d) comunidad, e) equidad y e) valores.*

El primer factor tiene que ver con el desajuste entre las exigencias del trabajo y la capacidad del individuo de satisfacer esas exigencias, sacrificando muchas veces tiempo familiar por terminar labores del trabajo. ^[2]

La falta de control se refiere a que el colaborador muchas veces no tiene la posibilidad de poseer autonomía en las decisiones del trabajo por el cual es responsable, o también en situaciones en las que existe ambigüedad organizacional producto de procesos económicos tales como las fusiones, los cambios de gerencia o los despidos, entre otros. En relación con el tercer factor del burnout, muchas veces las personas sienten que no están obteniendo las recompensas justas y suficientes, y esto no solo se refiere a salarios y beneficios, sino también a sistemas de reconocimiento. En cuanto al factor comunidad, se refiere al quiebre o falta de apoyo y confianza, o tal vez por la existencia de un conflicto no resuelto con las personas a las cuales ofrece servicios, con los superiores, con los supervisados o con los equipos, lo que provoca alto estrés y burnout. El quinto elemento es la falta de equidad en el trato, con lo cual podrían desarrollarse conductas hostiles porque los colaboradores perciben que no están siendo tratados de forma respetuosa y justa. En relación con los valores, pareciera ser que el burnout está determinado por el conflicto entre lo que las personas quieren hacer y lo que tienen que hacer. Lo central es el ajuste entre el individuo y el trabajo. ^[2]



Figura 5. Proceso de desajuste en el Síndrome de Bournout

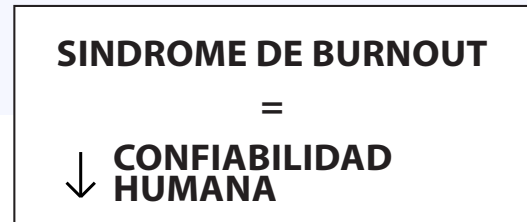


Figura 6. Relación de Síndrome de Bornout - Confiabilidad humana

Burnout - Confiabilidad Humana

En vista de la importancia de la confiabilidad humana en la gestión de activos es indispensable mejorar todas las condiciones de trabajo para que el capital humano cuente con las mejores condiciones bio-psico-sociales, lo que repercute positivamente en el rendimiento y en la disminución de errores en el proceso, por lo que es de suma importancia el mantenimiento de su "buena salud".

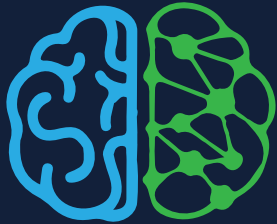
En el caso del síndrome de Burnout, en el cual el individuo presenta una serie de signos y síntomas de desgaste desde el punto de vista psicológico y biológico como son la pérdida de energía física, del interés por las actividades laborales, lo que generalmente **conduce al cometimiento de errores que afectan el entorno laboral y por consiguiente el rendimiento en la cadena de producción y del producto en sí.**

En la confiabilidad humana y el rendimiento de la cadena de producción es de suma importancia mantener nuestro capital humano en la mejor calidad de salud, brindándole atención adecuada en esta área con un sistema de atención sanitaria competente y efectivo.

Bibliografía:

1. García Palencia Oliverio. "La confiabilidad humana en la gestión de mantenimiento". Reliability World 2006. Sur América, Conferencia y exhibición. Agosto 2006 .
2. Vásquez Fonseca V M. Gómez Pasos J C, Martínez J, Salgado A. "Relación entre el Burnout y la satisfacción laboral en profesionales de la salud". Segunda edición, ampliada y corregida 3 de Junio, 2020.

Ilustración: Dr. Bárbaro J. Giraldo C.



Reliabytics

**CONFIABILIDAD
BASADA EN
ANALÍTICAS**

Solución

www.reliabytics.com

Gestión de Activo 4.0

Predicción del índice de fiabilidad y crecimiento de fiabilidad automática (Fiabilidad 4.0)

The screenshot displays the 'Equipment History' window in the IntegrityPRO software. It includes sections for 'Equipment Details', 'Equipment Reliability', and 'Maintenance History'.

Equipment Details:

- System: MAIN PROCESS SYSTEMS
- Subsystem: SEPARATION AND STABILISATION
- Tag no: 20B-PM001A/B
- Description: PRODUCED WATER RECIRCULATION PUMP
- Location:

Equipment Reliability:

- Availability: 0% (Target: 5.17)
- MTTR: 31446 hrs (Target: 9472.583)
- NTT: 126720 hrs
- Time(hrs): 17560
- R(T): 0%
- Failure Rate: 2.58e+8
- MTBF: 38882 hrs

Maintenance History Table:

Failures	Entered Service	Failure Event	Return to Service	Reported By	Service Period (days)	Time Between Failures (hrs)	Days to Repair	Time to Repair (hrs)	Failure Mode
#4	01/02/13	01/04/14		Mark Sayre	424	10176	0	0	
#3	01/04/12	01/01/13		Mark Sayre	275	6600	0	0	Operational/Corr
#2	01/02/11	01/03/12	04/10/18	Mark Sayre	394	9456	2408	57792	
#1	01/01/10	01/01/11	04/10/18	Mark Sayre	365	8760	2833	67992	

Additional interface elements include a 'Filter by System' dropdown, a 'Search' field, and a 'Maintenance History' table with columns for 'Entered Service', 'Failure Event', 'Return to Service', 'Reported By', 'Service Period (days)', 'Time Between Failures (hrs)', 'Days to Repair', 'Time to Repair (hrs)', and 'Failure Mode'. There are also buttons for 'Reliability & Unreliability graph' and 'MTBF Trend graph'.

Más Información:
ec@duardocalixto.com

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

PHM

Predicción del estado de salud (SoH) y vida remanesciente (RUL) automática



Unlock Your Potential



We create **MAINTENANCE LEADERS** who are also **MAINTENANCE MANAGERS.**

CERTIFIED MAINTENANCE MANAGER

This groundbreaking course will transition the way you think about asset management. You will leave with a clear understanding of how to align with operational expectations and attain the stability and control that is required to enable maintenance. This course is constructed of 18 modules aligned with the skills required to become a Certified Maintenance Manager™ (CMM).

LEARN TO MANAGE 5 ASSET TYPES

- 1** Physical
- 2** Financial
- 3** Human
- 4** Intangible
- 5** Information/Knowledge

DATES AND OPTIONS

LIVE TRAINING

Co-located at IMC-2020
Marco Island, Florida
December 7-10, 2020

ONLINE TRAINING

5-day • 4-hour sessions
• 2-hour cohort discussion
September 28-October 2, 2020

INCLUDED WITH REGISTRATION



Strategic Maintenance Management
Body of Knowledge
\$260 VALUE!

Trial access to the
Uptime Elements
Academy Learning
Management System
(online learning)

\$299
VALUE!

www.reliabilityweb.com/events • 239.333.2500 • 888.575.1245



Inspección Dimensional de Intercambiadores de Calor

José Edgardo Rodríguez
MSc, CMRP, PMP.
The AT Group
Jrodriguez@theatgroup.net

Resumen

Los intercambiadores de calor son equipos mecánicos complejos utilizados en muchas aplicaciones industriales. Su principal función es la transferencia de calor entre dos o más fluidos. Las prácticas indebidas de mantenimiento, inspección y operación durante el ciclo de vida de los intercambiadores, hace que éstos operen de manera insegura y poco rentable, haciéndose común la aparición de fallas o paradas no programadas. Las consecuencias de las fallas en estos equipos, pueden ir desde costos adicionales por inspecciones, paradas de producción, mantenimientos no programados, etc., trayendo como consecuencia problemas de calidad y la operación a una tasa de producción menor a la esperada, afectando la operación de la planta. Como parte del avance de la tecnología de mediciones a distancia y captación de datos remota, existen en la actualidad técnicas, probadas y aceptadas por fabricantes y usuarios, para la medición y determinación de desviaciones en las medidas de los equipos. Se trata del sistema de medición láser de coordenadas 3D Laser Tracker a través del cual, en un tiempo mucho menor, se inspeccionan y verifican las dimensiones de los intercambiadores, permitiendo incrementar la seguridad y rentabilidad de los sistemas durante su ciclo de vida útil.

I N T R O D U C C I Ó N

En las plantas de procesos químicos (alimentos, energía, manufactura), petroquímicas y de refinación de petróleo, es común la utilización masiva de intercambiadores de calor, siendo los más frecuentes los del tipo Tubo y Carcasa. Dependiendo de la aplicación, condiciones de proceso y mantenimiento, estos pueden variar de forma y en las combinaciones de los arreglos. La norma más utilizada para la clasificación de estos equipos es la TEMA, por sus siglas en inglés (Tubular Exchanger Manufacturers Association).

La falla

funcional de este tipo de equipos con mayor impacto en la seguridad de las personas, medio ambiente e instalaciones, es, sin duda, la pérdida de integridad mecánica o capacidad de contener presión, y el modo de falla más común es la fuga externa por las empacaduras. Siendo esta una de las fallas considerada de mayor riesgo en instalaciones industriales.

Es por este nivel de riesgo, que los intercambiadores de calor en general y más aún, aquellos donde estén involucrados fluidos clasificados por la norma como de alto impacto, deben ser inspeccionados frecuentemente, con la intención de mitigar al máximo los riesgos de falla.

Las principales normas de referencia asociadas a la inspección de intercambiadores son TEMA, ASME PCC-2, ASME PCC-1, API 660 e ISO 16812. Dentro de los aspectos a inspeccionar se encuentran la desviación de dimensiones (control dimensional) y se considera que la mayor contribución sobre la estanqueidad del equipo está en los asientos de las empacaduras.

Tradicionalmente, los controles dimensionales (planitud) en los asientos de intercambiadores, se realizan con la ayuda de tornos portátiles, los cuales requieren una logística (izamientos, andamios, movilizaciones, etc.) que incide sobre su productividad y a su vez el costo de la inspección, por ejemplo, tornos como los mostrados en la Figura 2 pesan entre 300 y 500 Kg aproximadamente. Adicionalmente se debe disponer de varios tamaños, tipos de tornos y accesorios para poder cubrir las demandas de inspección.

Figura 1. TEMA

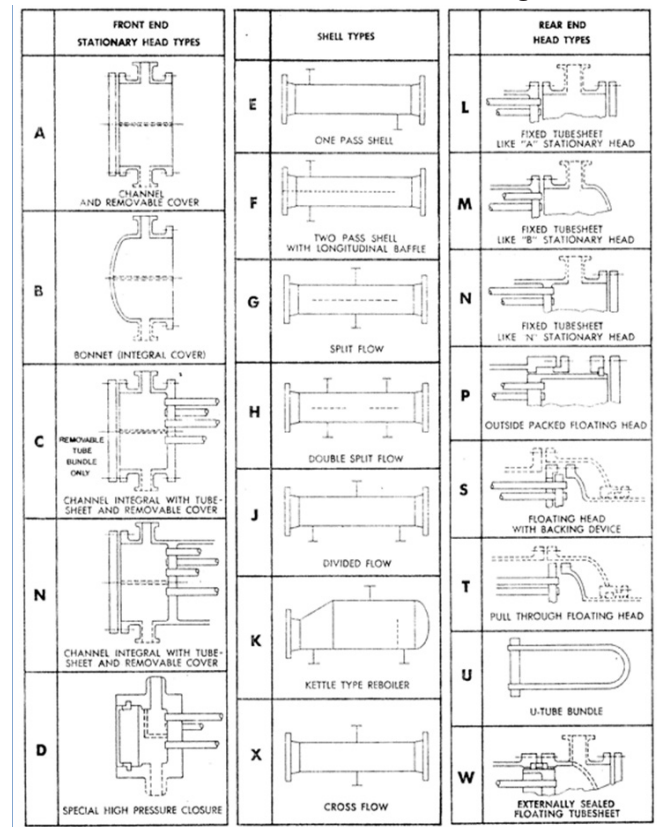


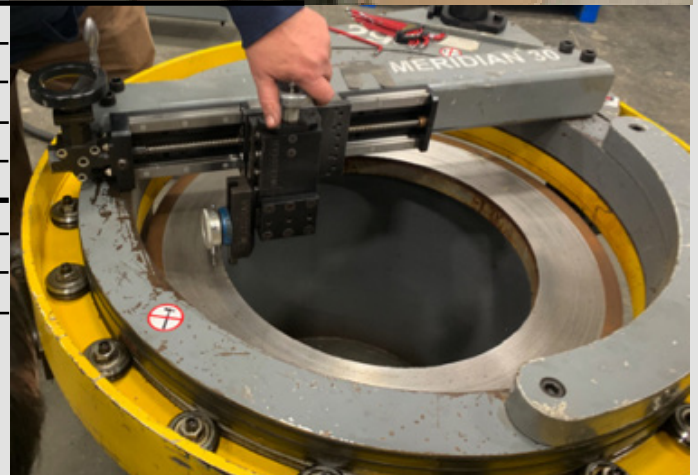
Figura 2.

Torno montaje externo hasta 762 mm. Torno portátil. Fuente: The AT Group.



Figura 3.

Torno montaje interno hasta 1524 mm. Torno portátil. Fuente: The AT Group.



Inspección Dimensional de Principales Componentes

Según la NPL (National Physical Laboratory, Instituto Nacional de Metrología del UK) existen seis (6) principios rectores, identificados como buenas prácticas para realizar una medición.

- 1. Mediciones correctas:** las mediciones solo deben realizarse para satisfacer los requisitos acordados y bien especificados.
- 2. Las herramientas correctas:** las mediciones deben realizarse utilizando equipos y métodos que se han demostrado adecuados para su propósito.
- 3. Las personas adecuadas:** el personal de medición debe ser competente, debidamente calificado y bien informado.
- 4. Revisión regular:** debería haber una evaluación interna e independiente del desempeño técnico de todas las instalaciones y procedimientos de medición.
- 5. Consistencia demostrable:** las mediciones realizadas en un lugar deben ser consistentes con las realizadas en otros lugares.
- 6. Los procedimientos correctos:** deben implementarse procedimientos bien definidos y coherentes con las normas nacionales o internacionales para todas las mediciones.

De los seis principios, existen dos que marcan una diferencia importante en el campo industrial, cuando se refieren a mediciones dimensionales de alta precisión y alto volumen, como las presentes en los intercambiadores de calor.

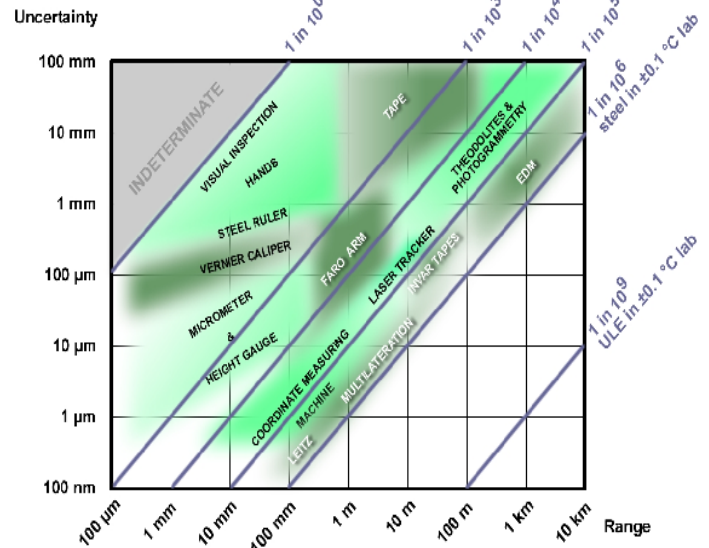


Figura 4. Incertidumbre vs distancia. Fuente: NPL

Como muestra la gráfica de abajo, en escala logarítmica, el eje **X** representa el tamaño del objeto a medir y el eje **Y** la incertidumbre de la medición.

Los objetos presentes en el ámbito industrial podrían ser ubicados entre 1 y 10 metros, con incertidumbres de medición que no deberían exceder de 0,1 mm y para casos de hasta 100 metros, no exceder 1 mm. Estos rangos permiten identificar (recuadro punteado) que la tecnología que mejor se ajusta a estos requerimientos es la de medición láser de coordenadas 3D (Laser Tracker).



Figura 6. Mediciones

Figura 5. Medición con láser tracker. Fuente: FARO



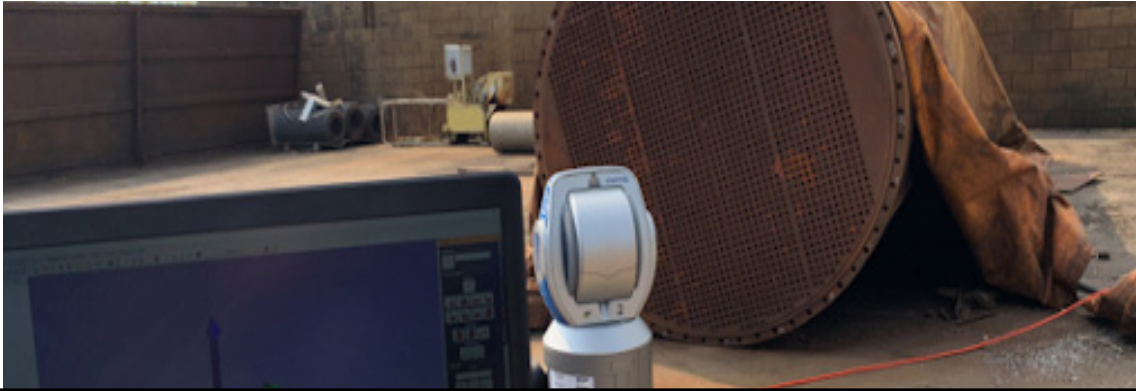


Figura 7. Mediciones sobre intercambiador de calor. Fuente: The AT Group

Laser Tracker 3D o Sistema portátil de medición por coordenadas 3D.

La tecnología fue desarrollada en la Oficina Nacional de Estándares y Tecnología de EEUU (NIST), a mitad de los 80, específicamente para la calibración de robots industriales. El sistema consiste de un cabezal de medición, unidad de procesamiento (MCU) y software de control. En el cabezal se encuentran el emisor del láser y los motores de giro horizontal y vertical, los cuales permiten girar el cabezal en dos ejes para seguir al esférico (SMR) que hace el contacto con el objeto a medir. El rango de medición es de 80 metros de radio esférico con una precisión máxima 0,009 mm.

Aplicaciones

Un intercambiador típico, TEMA AET, posee 8 asientos de empacaduras, sin tomar en cuenta las boquillas bridadas de las tuberías, cada uno de estos asientos representa una posible causa de pérdida de estanqueidad, este elemento clave en el análisis costo riesgo beneficio, determina cuáles intercambiadores deben ser inspeccionados, sin embargo, las variables involucradas en el costo de la inspección con métodos tradicionales, ahora con el uso del Laser Tracker pueden ejecutar más inspecciones en el mismo tiempo y muy probablemente con un menor costo, permitiendo contribuir a la mitigación de riesgos asociados a la fuga externa en empacaduras de intercambiadores. Normas como API 660 e ISO 16812, sugieren, por ejemplo, que los intercambiadores en aplicaciones con hidrocarburos con un diámetro de casco mayor a 1220 mm (48 pulgadas), deben tener una planitud menor a 0,2 mm (0,008 pulgadas).

El uso del Laser Tracker para la inspección dimensional en intercambiadores de calor, se basa en la representación geométrica del sistema, por medio de entidades CAD (planos, cilindros, círculos, puntos o líneas), que son medidos por medio del laser Tracker y/o construidos en el software por el especialista, permitiendo definir referencias a lo largo del proceso que permiten validar la calidad de las mediciones; adicionalmente facilitan el registro del historial de cada objeto o componente inspeccionado.

Ejemplo de control dimensional realizado en un asiento de empacadura de un haz tubular.

All Vectors Summary: Vector Group		
A::VG: PLANO LAD SUR 200E102		
Statistic	dZ (in)	MagZ (in)
Min	-0,0113	-0,0113
Max	0,0098	0,0098
StdDev from Avg	0,0084	0,0084
StdDev from Zero	0,0084	0,0084
RMS	0,0078	0,0078
Tol Range		0
		0,006
In Tol		2 (25.0%)
Out Tol		6 (75.0%)
	Count	8

Figura 9. Resumen de las mediciones. Mediciones y construcción representada en el software

Vector Group		MagZ (in)
A::VG: PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas1		
Name		
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO1		0,0017
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO2		-0,004
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO3		-0,009
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO4		-0,01
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO5		-0,007
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO6		-0,001
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO7		0,0052
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO8		0,0087
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO9		0,0088
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO10		0,0063
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO11		0,0014
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO12		-0,011
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO13		-0,011
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO14		-0,007
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO15		0,0005
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO16		0,0046
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO17		0,0083
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO18		0,0065
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO19		0,0045
A::PLANO LAD OESTE 200E9_PUNTO1-Meas::PUNTO20		0,0021

Figura 8. Lecturas típicas

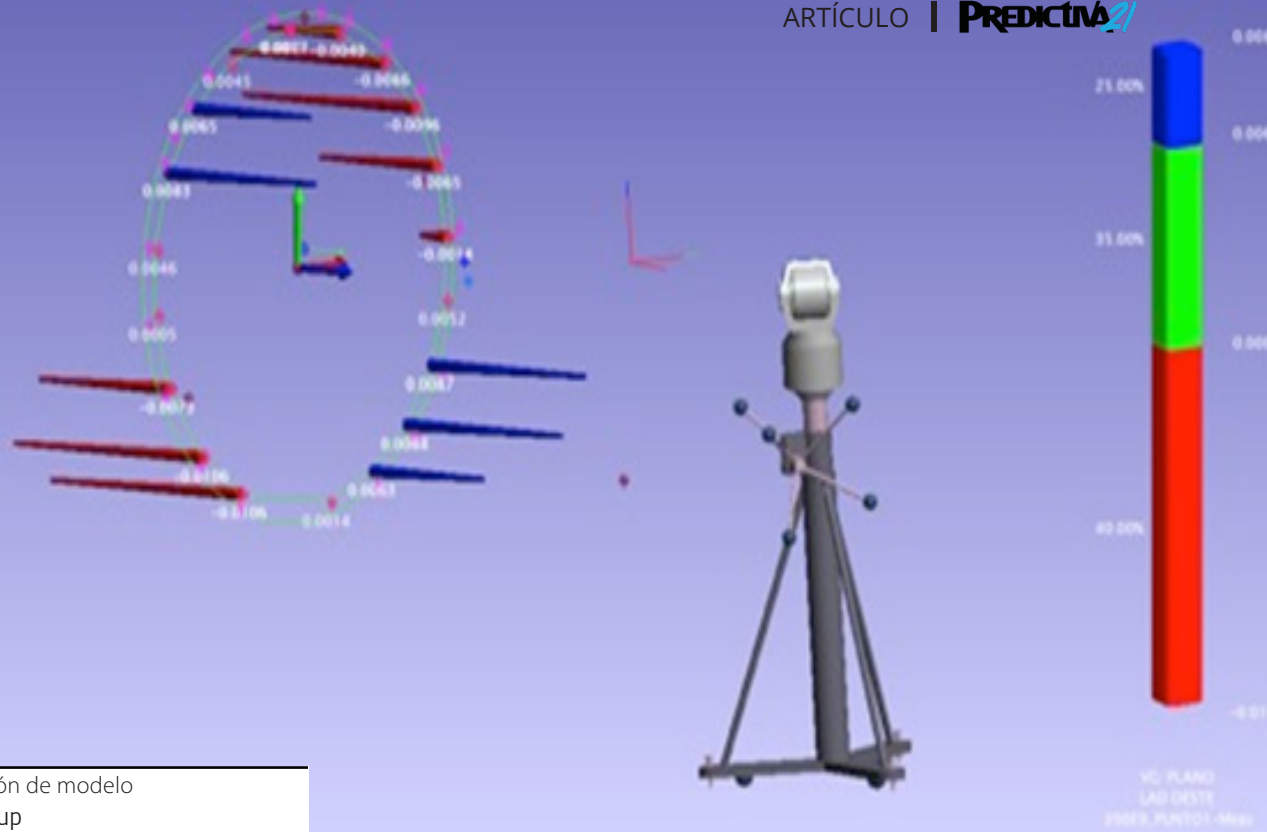


Figura 10. Construcción de modelo CAD. Fuente: AT Group

Beneficios

Un sistema mecánico, en este caso un intercambiador de calor sin pérdida de estanqueidad, permite una operación segura y rentable; Ahora bien, como se menciona al principio, se debe empezar por contar con mediciones apropiadas, que deben estar definidas, ejecutadas profesionalmente con equipos y personal acordes a la exigencia, con procesos de trabajo documentados y divulgados, así mismo con la posibilidad de verificar los resultados.

En la siguiente tabla podemos comparar las prácticas tradicionales y la mejor práctica identificada en la actualidad.

	Métodos Tradicionales	Laser Tracker
Productividad	-	70% menos tiempo de método tradicional
Logística	Requiere grúas, manipulación de cargas pesadas, permisos de izamiento, etc.	Equipos portátil, peso máximo 20 Kg, entre todos los componentes del sistema.
Arreglos requeridos para medir	Se requieren múltiples arreglos (montaje interno – montaje externo)	Único arreglo
Fatiga del operador	Demanda física media alta	Demanda física baja
Precisión	Hasta 0,02 mm (típico)	Medición en 3D. Hasta 0,009 mm
Impacto del manejo de los receptores o targets	No aplica (Reloj comparador)	Bajo, es posible validar con el RMS de cada medición, 1000 lecturas por segundo.
Registros	Manuales, poca o ninguna información de las verificaciones de las referencias	100% verificable y trazable, todos los eventos son registrados
Integración	Ninguna	Archivos exportables a software CAD o de diseño (SolidWork, Inventor, etc)
Compensación automática por crecimiento térmico y/o humedad.	Ninguna	Unidad metrología incluida para registrar temperatura y humedad para compensar cada medición de ser necesario.

Referencias

7. TEMA
8. API 686
9. ISO 16812
10. ASME PCC-1
11. ASME PCC-2
12. ASME Y14.5
13. Vantage Laser Tracker User Manual. Faro
14. Vantage Laser Tracker Training Manual. Faro
15. SpatialAnalyzer UserManual. New River Kinetics
16. SpatialAnalyzer TrainingManual. New River Kinetics, Metrology Institute



PREDICTIVA21



MOBIUS CONNECT®

Una Comunidad de CBM & Reliability

MOBIUS CONNECT® en español y Predictiva21 se unen para lograr y cumplir con un objetivo en común, el de llevar y ofrecerle la mejor educación que podrá encontrar en la industria.

MOBIUS CONNECT es la puerta de entrada a su futuro; donde puede personalizar su red y continuar su educación en las industrias de mejora de confiabilidad y monitoreo de condición a través de comunidades en línea o eventos de capacitación en vivo (www.mobiusconnect.com) Sirve a la comunidad profesional industrial en las regiones de habla hispana con contenido de alta calidad en distintos formatos como seminarios web en vivo, artículos, podcasts y consejos rápidos sin costo para el visitante. Uniéndose junto a Predictiva21, cuyo objetivo es el de descubrir enfoques y poderosas herramientas gerenciales para obtener el mejor resultado en la Industria del Mantenimiento. De esta unión tanto MOBIUS CONNECT en español como Predictiva21, esperan una alianza que puede trascender fronteras promoviendo un contenido de calidad para todos los miembros de esta maravillosa industria.

Predictiva21 junto con MOBIUS CONNECT en español estarán presentando en conjunto un webinar con el líder de la industria Jorge Alarcón quien es gerente técnico global OCM para Bureau Veritas, con amplios conocimientos en la industria. Pero antes, nos gustaría escuchar su opinión, por eso hemos decidido realizar una encuesta en la que usted nos diga que tema le gustaría que fuese presentado.



JORGE ALARCÓN

Consultor senior con amplios conocimientos en Monitoreo de Condición de Petróleo (OCM) y Mantenimiento Predictivo en el sector de energía eólica, generación de energía, fabricación y alimentos entre otras industrias. Principal responsable de la industria energética global de OCM, involucrada en programas de monitoreo de condiciones y control de confiabilidad durante los últimos quince años.

1. Análisis de grasas. Alcance, beneficios e impacto en el programa de lubricación
2. Análisis de grandes volúmenes de datos de análisis de aceite
3. Sensores de aceite, la próxima frontera
4. Interpretación de un informe de análisis de aceite
5. Diseño de un programa de análisis de aceite
6. Contaminación del lubricante. Datos, problemas y casos de estudio

¡¡VOTA AQUÍ!!

El anuncio del resultado de esta encuesta será revelado en un par de semanas. Este webinar será presentado en conjunto con Predictiva21 y Mobius Connect en español. Esperemos que puedan registrarse y puedan ser partícipes de esta gran presentación. El resultado será presentado a través de nuestras redes sociales, las cuales puede seguir en los siguientes enlaces:

Facebook: Mobius Connect en español
Instagram: mobiusconnectes
LinkedIn: Mobius Connect en español
Twitter: Mobius Connect en español
Youtube: Mobius Institute

ANÁLISIS RAM

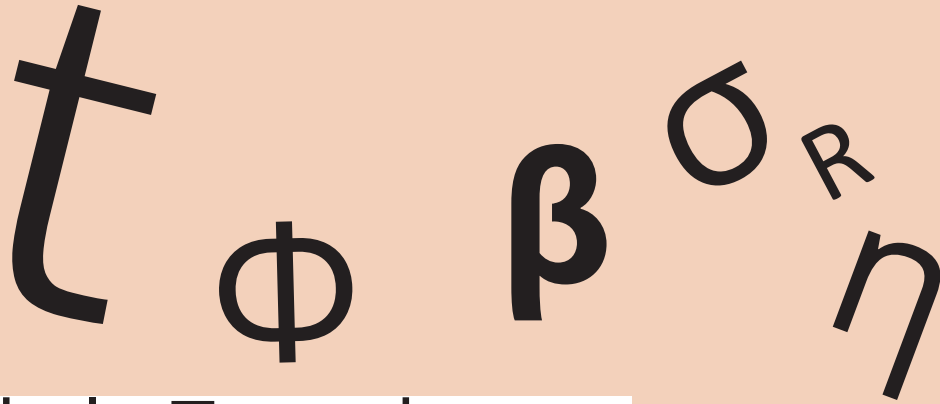
Soluciones de Ingeniería y Mantenimiento, S.L

info@sim-sl.com

A photograph of an industrial facility with several tall, cylindrical chimneys against a blue sky with light clouds. One chimney on the left is heavily stained with dark brown and black marks, while the others are clean. In the background, there are industrial buildings and structures.

SOFTWARE
MAROS / TAROS

*We provide solutions aimed at improving the safety, performance, reliability and total costs of ownership during the life cycle of your assets. **If you are seeking innovative and integrated business oriented support, you can count on SiM.***



Cálculo de la Tasa de Falla de Tuberías usando Confiabilidad Estructural

Jose María Alzugaray Pomarolli
 Brasil Empresa Petrobras
 Pomarolli@petrobras.com.br

INTRODUCCIÓN

La obtención de licencias para la operación de ductos en Brasil se está volviendo cada vez más difícil, principalmente debido a los criterios de aceptabilidad del riesgo impuesto por las agencias ambientales. Esta dificultad es el resultado de dos factores; el primero es el aumento de la población ubicada a lo largo de la extensión de las tuberías y el otro es el requisito de las agencias con respecto a la aplicación de la tasa de fracaso que se utilizará en los estudios de riesgo cuantitativos.

Según CETESB (Agencia Ambiental del Estado de São Paulo), hay tres posibilidades: aplicar la tasa de falla informada por CONCAWE, o a través de datos históricos de fugas de la propia empresa, o finalmente, la aplicación de la metodología de confiabilidad estructural.

La aplicación de la tasa de falla obtenida en los informes de CONCAWE da como resultado un valor de riesgo que a menudo se considera no tolerable. La reducción de las frecuencias de falla requeriría la aplicación de medidas poco prácticas, lo que hace que la operación de la tubería sea económicamente impracticable.

Este trabajo propone el uso de una aplicación simple desarrollada en Python para calcular la tasa de falla utilizando la confiabilidad estructural, a partir de la ecuación ASME B31G modificada. La aplicación de la confiabilidad estructural en tuberías con defectos de corrosión no es nueva, pero en Brasil el cálculo de la tasa de falla a través de esta metodología se ha utilizado solo en estudios académicos.

La principal ventaja es el cálculo de la tasa de falla específica para cada tubería, considerando todos los defectos identificados en una sección de interés, en la cual, por ejemplo, una comunidad con una alta densidad de población y que resulta en un alto riesgo social.

Las tuberías de hidrocarburos son de importancia estratégica y, como consecuencia, los fenómenos asociados con esta infraestructura tienen un significado muy especial; que es el caso de los costos de transporte alternativos, los riesgos en términos de pérdidas y, sobre todo, los daños a la población y el medio ambiente en el área de influencia de las tuberías e instalaciones complementarias, y al operador de la misma.

Las tuberías son estructuras de alto riesgo, cuya funcionalidad debe garantizarse mediante inspecciones periódicas, sistema de protección catódica, control interno de corrosión y otras medidas de gestión que garanticen la integridad mecánica de las tuberías y, por lo tanto, la seguridad de la población y el medio ambiente.

La palabra confiabilidad se refiere a la probabilidad de que un sistema satisfaga satisfactoriamente la función para la cual fue diseñado, durante un cierto período y bajo condiciones operativas específicas. Por lo tanto, un evento que interrumpe esta operación se llama falla.

El objetivo del análisis de confiabilidad estructural es determinar la probabilidad de falla de las estructuras teniendo en cuenta las incertidumbres asociadas con las

resistencias y las cargas, la respuesta de una estructura se evalúa a través de modelos basados en datos estadísticos recopilados previamente. La teoría de la fiabilidad estructural se basa en el modelo probabilístico de estas incertidumbres y proporciona métodos para cuantificar la probabilidad de que las estructuras no cumplan la función para la que fueron diseñadas.

Funciones de estado límite

Un estado límite es un evento predefinido cuya aparición debe evitarse para garantizar un comportamiento de estructura adecuado. Se supone que es posible representar este evento a través de un modelo matemático y así calcular su probabilidad de ocurrencia.

Para una estructura para la cual su resistencia R se modela como una variable aleatoria y está sujeta a un esfuerzo S también aleatorio, la función que representa el estado límite estará representada por la siguiente relación:

$$Z(X) = R - S \quad \text{ECUACIÓN 1}$$

Donde R y S son funciones de las variables aleatorias denotadas como $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$, la función de estado límite o función de falla se define de tal manera que los valores positivos de Z (X) corresponden a las situaciones de seguridad y los valores negativos corresponden a situaciones donde la estructura falla. El criterio de confiabilidad estructural generalmente se expresa mediante ecuaciones de estado límite, Z (X), también llamadas eventos de falla, F:

$$F = \{Z(X) < 0\} \quad \text{ECUACIÓN 2}$$

La probabilidad de que ocurran eventos F viene dada por la probabilidad de que la solicitud S exceda la resistencia R de la estructura, de acuerdo con la ecuación (3):

$$F = P(RS < 0) = P(R < S) \quad \text{ECUACIÓN 3}$$

Las solicitudes (S) o cargas en una estructura y su resistencia (R), para un evento dado, se pueden representar mediante curvas de distribución de probabilidad (figura 1).

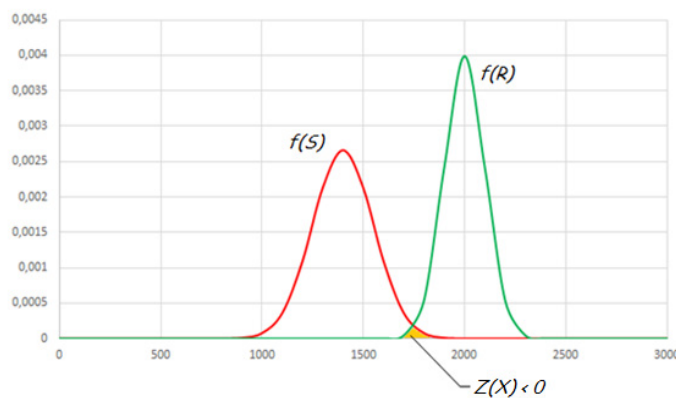


Figura 1. Interacción entre resistencia y demanda

A partir de las funciones de densidad de probabilidad de las variables R y S, es posible cuantificar la probabilidad de falla de la estructura. Por lo tanto, F puede calcularse integrando la función de densidad de probabilidad conjunta de las variables aleatorias R y D, $f_{R,S}$, por lo tanto:

$$F = \iint_D f_{R,D}(r,s) dr ds \quad \text{ECUACIÓN 4}$$

La integración analítica de la ecuación (4) solo es posible en casos muy raros. Generalmente, se usan simplificaciones, métodos numéricos o ambos simultáneamente, en este trabajo se usaron aproximaciones numéricas, a través de simulaciones del Método Monte Carlo, para esto se demostró que las dos variables básicas pueden modelarse mediante una función de densidad de probabilidad normal.

Por lo tanto, si las variables R y S pueden considerarse como variables aleatorias independientes con distribución normal, con medias respectivamente μ_R y μ_S y varianzas σ_R^2 y σ_S^2 . El margen de seguridad Z también es una variable gaussiana cuya media y desviación estándar se pueden obtener mediante:

$$\mu_Z = \mu_R - \mu_S \quad \text{ECUACIÓN 5}$$

$$\sigma_Z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad \text{ECUACIÓN 6}$$

La probabilidad de falla se puede calcular de la siguiente manera:

$$F = P(R - S \leq 0) = P(f(R,S) \leq 0) = \Phi\left(\frac{0 - \mu_Z}{\sigma_Z}\right) = \Phi(-\beta)$$

ECUACIÓN 7

Donde Φ es la función de distribución de la distribución normal reducida y β se define como el índice de confiabilidad:

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad \text{ECUACIÓN 8}$$

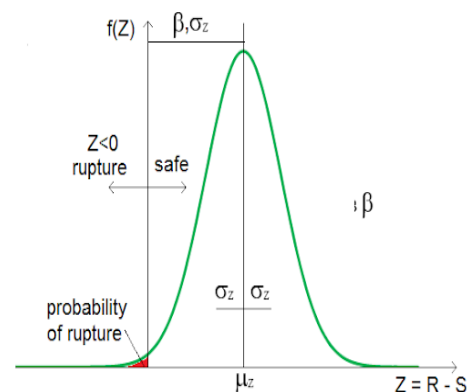


Figura 2. Distribución de la medida de seguridad

En cada ciclo de simulación, se generaron valores para cada variable de entrada básica, obedeciendo las distribuciones respectivas, y los valores de las variables de salida se calculan mediante el modelo matemático asumido. Para obtener la estimación de la probabilidad de falla asociada a un estado límite definido por la función $Z(X)$, la simulación del método Monte Carlo consiste en aplicar la siguiente metodología (cálculo realizado para todos los defectos identificados):

1. Generación de valores para las variables de entrada básicas de acuerdo con las funciones de distribución respectivas;
2. Cálculo y almacenamiento de n valores de presión de falla y presión de operación de vectores respectivos;
3. Cálculo de la media y la desviación estándar de la presión de falla y la presión de operación;
4. Cálculo del índice de fiabilidad;
5. Cálculo de la probabilidad de falla.

El número de simulaciones (N) depende del orden de magnitud de la probabilidad de falla y de la función que describe el estado límite.

El cálculo de la forma analítica solo es válido cuando las dos variables siguen una distribución normal, por lo que todos los defectos considerados se probaron para determinar su normalidad.

Según el histograma generado en el PYTHON para un defecto en particular, presenta un formato que es extremadamente similar a la curva de la función de densidad de probabilidad para una distribución normal (figura 3).

De acuerdo con la Figura 4 (Hussein, p. 1469), se puede ver nuevamente que los resultados obtenidos siguen una distribución de probabilidad normal para la presión de falla del defecto analizado, lo que refuerza la hipótesis asumida de que el uso de la evaluación analítica de confiabilidad es perfectamente factible.

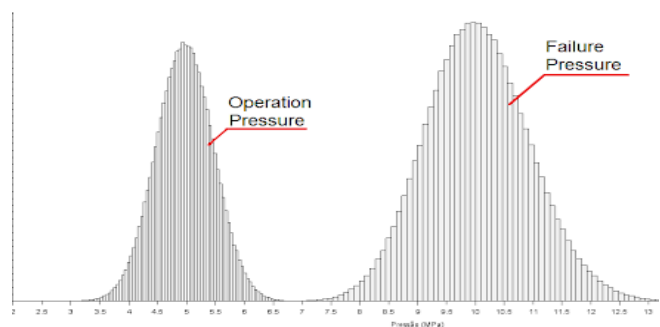


Figura 3 . Histogramas de presiones obtenidos en la simulación de Monte Carlo

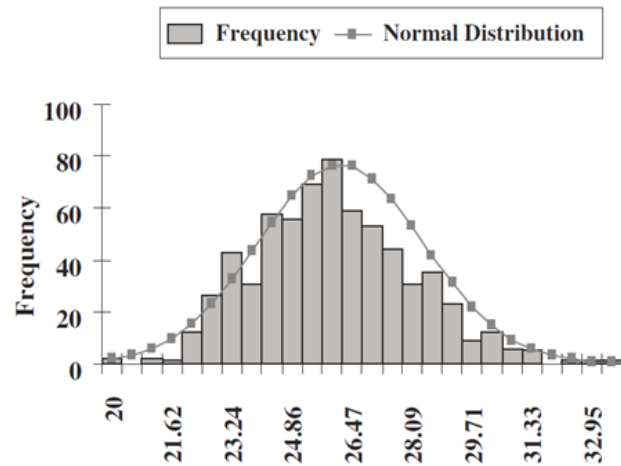


Figura 4 . Histograma de presión de falla

Evaluación de la tubería de confiabilidad estructural

En este estudio, el método llamado B31G modificado se usó para evaluar la presión de falla aplicada a cada uno de los defectos.

$$P_f = (SMYS + 68,95) \cdot \frac{2t}{D} \cdot \left[\frac{1-0,85 \cdot (d/t)}{1-0,85 \cdot (d/t) \cdot M^{-1}} \right] \quad \text{ECUACIÓN 9}$$

Donde:

Pf - falla de presión de cada defecto (MPa);
SMYS - fuerza de rendimiento mínima especificada;
t - espesor de la tubería (mm);
L - defecto de longitud (mm);
d - defecto de profundidad (mm);
M - factor de folias.

El cálculo del factor de Folias considera 2 tipos de defectos: Corto y largo.

Para defectos cortos:

$$L \leq \sqrt{50 \cdot D \cdot t} \quad \text{ECUACIÓN 10}$$

$$M = \sqrt{1 + 0,6275 \cdot \frac{L^2}{D \cdot t} - 0,003375 \cdot \left(\frac{L^2}{D \cdot t}\right)^2} \quad \text{ECUACIÓN 11}$$

Y para defectos largos

$$L > \sqrt{50 \cdot D \cdot t} \quad \text{ECUACIÓN 12}$$

$$M = 3,3 + 0,032 \cdot \frac{L^2}{D \cdot t} \quad \text{ECUACIÓN 13}$$

La función dev estado límite se puede definir de acuerdo con la siguiente relación:

$$Z = (SMYS + 68,95) \cdot \frac{2t}{D} \cdot \left[\frac{1-0,85 \cdot (d/t)}{1-0,85 \cdot (d/t) \cdot M^{-1}} \right] - P_{op} \quad \text{ECUACIÓN 14}$$

Cálculo de la probabilidad de falla de la tubería

- El estudio se realizó suponiendo que una sección de interés dada tiene 19 defectos hipotéticos (Tabla 1).
- En esta sección, se calculó la presión de falla, la probabilidad de falla y la confiabilidad para cada una de ellas.
- La confiabilidad de la sección se calculó considerando que todos los defectos son parte de un sistema donde los 19 componentes están conectados en serie (figura 5).
- Se asumió una tasa de crecimiento longitudinal (10 mm / año) y una tasa de crecimiento radial (0.5 mm / año), y se recalculó la confiabilidad y la probabilidad de falla de la sección para cada año.

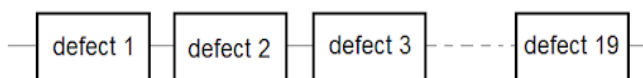


Figura 5. Defectos de sección como sistema en serie

Tabla 1. Dimensiones de defectos en la sección

Defect Position (m)	Lenght (mm)	Depth (mm)	Pressure (MPa)
1000	73,5	3,71	5
1007	67,2	3,71	4,9993
1253	118	3,99	4,9747
1328	149,7	2,1	4,9672
1447	130,7	3,31	4,9553
2513	124,4	3,3	4,8487
2919	314,8	2,84	4,8081
3020	314,8	3,56	4,798
3094	118	3,68	4,7906
3423	238	3,3	4,7577
4141	148,2	2,79	4,6859
4159	365,6	4,32	4,6841
4314	213,2	4,32	4,6686
4624	314,8	4,06	4,6376
5011	238,6	2,79	4,5989
5174	224,4	3,3	4,5826
5345	162,4	3,76	4,5655
5414	208,16	3,05	4,5586
6000	391,9	2,29	4,5

Esta tubería hipotética tiene las siguientes características; diámetro = 762 mm; espesor = 9,53 mm, SMYS = 404,4 MPa e inicio de operación en 2000.

Se consideró que la probabilidad de falla en función del tiempo de operación sigue una distribución de Weibull. Weibull Distribution es ampliamente utilizada en el estudio de la vida útil o el tiempo para la falla de componentes mecánicos, en este caso, cada uno de los 19 defectos identificados.

La ecuación característica de la función de distribución de fallas es:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{ECUACIÓN 15}$$

Donde, β y η son los parámetros de distribución, β es el factor de forma y η es el factor de escala. Es necesario realizar un análisis estadístico para verificar la adherencia de la distribución supuesta.

Se calculó la probabilidad de falla (F_i) y la confiabilidad (R_i) para cada defecto.

$$R_i = 1 - F_i \quad \text{ECUACIÓN 16}$$

Luego, la confiabilidad y probabilidad de falla de la tubería se obtiene por las ecuaciones siguientes:

Después de calcular la probabilidad de falla calculada para cada año de operación, la linealización de la función Weibull se realiza de la siguiente manera:

$$R(t) = R_1 * R_2 * \dots * R_{19} = \prod_{i=1}^{19} R_i \quad \text{ECUACIÓN 17}$$

$$F(t = T_i) = 1 - \prod_{i=1}^{19} R_i \quad \text{ECUACIÓN 18}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

ECUACIÓN 19

$$\frac{1}{1-F(t)} = e^{+\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

ECUACIÓN 20

$$\ln \frac{1}{1-F(t)} = \ln e^{\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \rightarrow \ln \frac{1}{1-F(t)} = \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta$$

ECUACIÓN 21

$$\ln \ln \frac{1}{1-F(t)} = \ln \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \rightarrow \ln \ln \frac{1}{1-F(t)} = \beta * \ln t - \beta * \ln \eta$$

ECUACIÓN 22

La ecuación 22 representa la ecuación de una línea recta, donde β es la pendiente y $\beta * \ln(\eta)$ es la intercepción, la figura 6 se obtuvo con el análisis de regresión de estos datos (Tablas 1 y 2).

La distribución de Weibull resultó adecuada para los resultados obtenidos por las simulaciones con una correlación de 0.998, donde los parámetros obtenidos fueron $\beta = 6.62$ y $\eta = 98$ años.

Tabla 2. Fiabilidad y probabilidad de falla de la sección

T (year)	λ (occ/year.km)
2019	1,32812E-06
2020	1,77197E-06
2021	2,33111E-06
2022	3,02781E-06
2023	3,88727E-06
2024	4,9379E-06
2025	6,21151E-06
2026	7,74361E-06

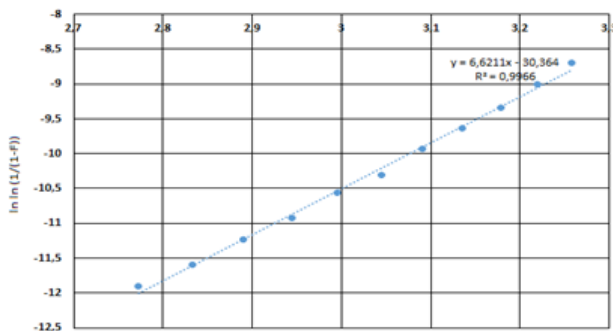


Figura 6. Análisis de regresión de la fecha de falla

Finalmente, la tasa de falla puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

ECUACIÓN 23

Cálculo de la tasa de falla de la tubería

La ecuación (23) proporciona la tasa de falla de acuerdo con una distribución de Weibull, reemplazando los parámetros obtenidos en el análisis de regresión, expresión final:

ECUACIÓN 26

$$\lambda(t) = \frac{6,62}{98*5} * \left(\frac{t-2000}{98}\right)^{5,62}$$

La Tabla 3 muestra la evolución de la tasa de falla en función del tiempo para la tubería estudiada.

Tabla 3. Evolución de la tasa de falla

Year	R	F
2016	0,99999	6,76162E-06
2017	0,99999	9,265E-06
2018	0,99999	1,32975E-05
2019	0,99998	1,79978E-05
2020	0,99997	2,59481E-05
2021	0,99997	3,33236E-05
2022	0,99995	4,88672E-05
2023	0,99993	6,57951E-05
2024	0,99991	8,84602E-05
2025	0,99988	0,000123011
2026	0,99983	0,000167172

Las agencias ambientales requieren estudios de riesgo cuantitativos para usar la tasa de falla de CONCAWE, que es equivalente al valor de 5.2.10-4 occ / año.km considerando todos los modos de falla.

Según el informe de CONCAWE, los procesos corrosivos contribuyen con un 18% a la falla de las tuberías. De esta manera, la tasa de falla correspondiente solo a este modo de falla es igual a 9.72.10-5 occ / año.km, este valor es al menos 10 veces mayor que el calculado por la confiabilidad estructural para el mismo modo de falla.

FALLAS POR PROCESOS CORROSIVOS

18%

Conclusiones

El objetivo de este trabajo fue presentar una aplicación basada en un estándar de evaluación de defectos (B31G modificado) para evaluar las probabilidades de falla en tuberías presurizadas afectadas por la corrosión. La falla del sistema se caracteriza por una función de desempeño estructural. El análisis considera que la tubería comienza su ciclo de vida cuando se pone en funcionamiento y que, en ese momento, no hay defectos de corrosión en la tubería.

1. La aplicación demostró ser eficiente para predecir la evolución de los defectos causados por la corrosión y la confiabilidad de la tubería, pudiendo predecir la evolución en el tiempo de la probabilidad de falla de cada defecto y la sección evaluada.
2. Es importante mencionar que los mecanismos de crecimiento del defecto defectuoso son fundamentales. Esto se hace con el objetivo de una mayor comprensión del fenómeno y la aplicación al cálculo de la confiabilidad estructural, lo que permite una evaluación mucho más realista.
3. La falla de la sección de la tubería se caracteriza por una función del desempeño estructural, el análisis considera que la tubería comienza su ciclo de vida cuando se pone en funcionamiento y que, en ese momento, no hay defectos de corrosión.
4. La metodología fue completamente aplicable para el cálculo de la tasa de falla particular para una tubería, o para una sección específica en la cual los criterios de aceptabilidad del riesgo requeridos por las agencias ambientales no se cumplen usando la tasa de falla de CONCAWE.
5. La metodología puede contribuir al manejo de la integridad de la tubería, indicando cuáles son los defectos más críticos debido a la probabilidad de falla, ya que dependen no solo de las características geométricas, constructivas y operativas, sino que también incluyen el tiempo en su análisis.

Agradecimientos

Deseo agradecer a Vitor Jose das Neves Rodrigues por su ayuda con el código Python desarrollado y utilizado en este informe.

Referencias

1. Ahammed M. "Estimación probabilística de la vida restante de una tubería en presencia de defectos de corrosión activa". Revista internacional de recipientes a presión y tuberías 75 (1998) 321–329.
2. Ahammed, M. "Predicción de la resistencia restante de tuberías presurizadas corroídas", int. J. Pres. Ves. Tuberías, v.71, p.213-217, 1997.
3. Ahammed, M.; MELCHERS, RE. "Estimación de confiabilidad de tuberías presurizadas sujetas a defectos de corrosión localizados", int. J. Pres. Ves. Tuberías, v.69, p.267-272, 1996.
4. Amaral RS, Sisquini GR, Freitas MSR. "Análise de Segurança de Dutos com Defeitos de Corrosão via Método FORM", Revista Escola de Minas (2012) Vol. 65, No 4 467-473.
5. Benjamin, AC, Vieira, RD, Freire, JLF y Castro, JTP. "Pruebas de explosión en tuberías con corrosión externa larga", Volumen 2, Actas de la Tercera Conferencia Internacional de tuberías (IPC 2000), Calgary, Alberta, Canadá, Sociedad Americana de Mecánica Ingenieros, 1-5 de octubre de 2000, pp. 793-799.
6. Bettayeb M., Abdelbaki N., Gaceb M., "Pipeline Test encuentra a Monte Carlo Superior a FORM", Oil & Gas Journal / Vol.113, N° 1 (2015)
7. Caleyof, González JL y Hallen JM. "Un estudio sobre la metodología de evaluación de confiabilidad para tuberías con defectos de corrosión activa". Revista Internacional de Recipientes a Presión y Tuberías 79 (2000) 77–86.
8. Cosham A., Hopkins P., "The Assessment of Corrosion in Pipelines - Orientación en el Manual de evaluación de tuberías (PDAM)", Pipeline Pigging and Integrity Management Conference 17-18 de mayo de 2004 - Amsterdam, Países Bajos.
9. Cronin DS, Pick RJ. "Base de datos experimental para tubería corroída: Evaluación de RSTRENG y B31G", Volumen 2, Actas de la Tercera Conferencia Internacional de Tuberías (IPC 2000), Calgary, Alberta, Canadá, Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, 1-5 de octubre de 2000, pp 757-767.
10. Cunha SB. "Comparación y análisis de estadísticas de fallas en tuberías". Actas de la 9na Conferencia Internacional de Oleoductos 2012 (IPC2012) 24-28 de septiembre de 2012, Calgary, Alberta, Canadá.
11. DavisPM, Dubois J., Gambardella F., Sánchez-García E., Uhlig F. "Desempeño de oleoductos europeos a través del país" - Resumen estadístico de derrames reportados en 2017 y desde 1971. Informe no. 19/3, CONCAWE.
12. Hussein AW, Teixeira AP, Soares CG. "Evaluación de confiabilidad de la resistencia al estallido de las tuberías corroídas".
13. Lihang W. "Análisis de confiabilidad del gasoducto con defectos de corrosión". Revista de Ciencia e Ingeniería de Materiales B 6 (3-4) (2016) 101-104.
14. Maes MA, Dann M y Salama, MM. "Influencia del grado en la confiabilidad de las tuberías corroídas", Ingeniería de confiabilidad y seguridad del sistema 93 (3) (marzo de 2008) 447–455.
15. McConnelRA, JV de Haswell. "Incidentes de pérdida de tubería de propipelina" (1962-2010). (2011) Informe 11/076, Reino Unido Onshore Pipeline Operators' Association, Derbyshire.
16. NahalM., Khelif R., Evaluación de probabilidad de falla para tuberías bajo los defectos de corrosión, American Journal of Mechanical Engineering (2014), vol. 2 No 1 15-20.
17. Ossai CI. "Análisis de confiabilidad y predicción de corrosión de tuberías: un enfoque sistemático con modelos de simulación y degradación de Monte Carlo", International Journal of Scientific and Technology Research (2013) Vol 2, NÚMERO 3, 56-69.
18. Teixeira, AP, Guedes, S., Netto TA y Estefen SF. "Fiabilidad de tuberías con defectos de corrosión". International Journal of Pressure Vessels and Piping, 85 (4) (abril de 2008) 228–237.
19. Toro, RJN. "Pressão de ruptura de dutos contendo defeitos de corrosão". Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.



Fuente: <https://adtsgroup.com/control-de-gasoductos-y-oleoductos-para-transporte>



PROGRAMAS DE CAPACITACIÓN ONLINE

- SOLUCIÓN DE PROBLEMAS MEDIANTE ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ: ACR
- FUNDAMENTOS DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA
- ALINEACIÓN DE MAQUINARIA ROTATIVA CON REFERENCIA A API 686 Y ANSI S 2.75 2017
- BALANCEO DE ROTORES INDUSTRIALES
- MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD: PLANES DE CUIDADOS DE EQUIPOS
- ANÁLISIS DE VIBRACIONES NIVELES I Y II CONTENIDO SEGÚN ISO 18436-2



academia@confiabilidad.com.ve



Gyogi Mitsuta
David Trocel



ACADEMIA DE
CONFIABILIDAD 

www.confabilidad.com.ve

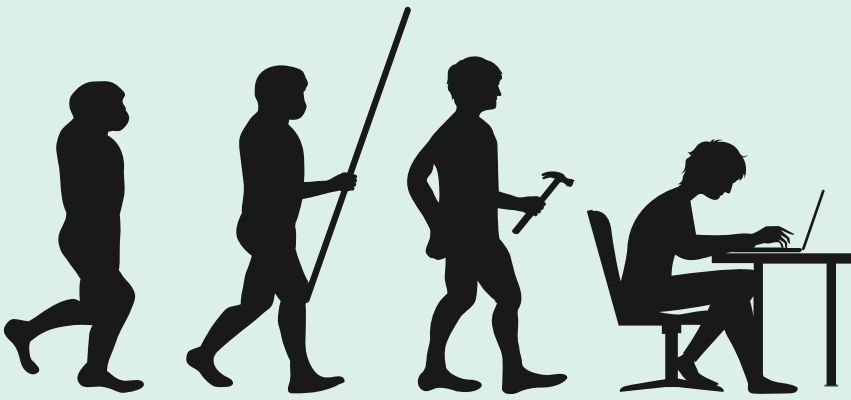
Confiabilidad en rodamientos Online en vivo

24 de agosto al 4 de septiembre



Inscripciones y descuentos aplicables: capacitacion@mtfrodamientos.com

Tel: (+52) 222.957.1359 | Wa: (+521) 221.358.3356



El Mantenimiento y su Evolución

Irene González

irene.gonzalez@predictiva21.com

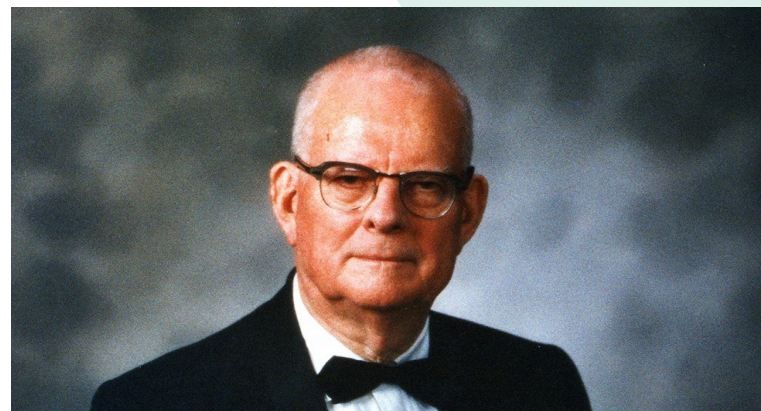
A principios del siglo XIX, luego de iniciada la Revolución Industrial, se comenzó a implementar el mantenimiento industrial toda vez que requería mejorar la producción de bienes y servicios- Con el tiempo, se fueron especializando los procesos y capacitando al personal hasta llegar a lo que conocemos hoy como uno de los mayores beneficios de la industria.

El mantenimiento industrial es aquel conjunto de medidas de carácter técnico organizativo, que pueden ser o no elaboradas previamente, que tiene como propósito sostener la funcionalidad de los equipos y garantizar un estado óptimo de las máquinas a través del tiempo.

Desde el inicio de las máquinas, se hizo un mantenimiento correctivo total. En él se espera que se origine alguna avería para proceder a repararla. Los costos de mantenimiento resultaban altos por el largo tiempo de paro que se empleaba para solucionar el problema

Durante la Primera Guerra Mundial se capacitó al personal de mantenimiento correctivo enviándolos a los laboratorios de prevención para evitar fallas. Dieron origen a los departamentos de mantenimiento preventivo.

Con la Segunda Guerra Mundial se sistematizan los trabajos de mantenimiento preventivo.



William Edward Deming

En **1946** es creada la Sociedad Americana de Control de Calidad.

1950. William Edward Deming Aplica en la industria japonesa el Control Estadístico de Calidad, donde el criterio de la empresa comienza con el proveedor y termina en el cliente. Se creó al mantenimiento productivo para obtener calidad y cantidad de producto, al tiempo de cuidar las máquinas.

1960. La necesidad de mantener naves en vuelo generó el mantenimiento enfocado en la confiabilidad.

1970. Se crea el Software Sistema Computarizado para la administración de Mantenimiento, CMMS, centrado en resolver la administración del área de mantenimiento.

1971. Seiichi Nakajima crea el Mantenimiento Productivo Total, involucrando a todo el personal de la empresa en la ejecución de todo tipo de mantenimiento, apoyado en los círculos de calidad.

1980. El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad fue modificado hacia la Optimización del Mantenimiento Planificado (PMO). Enfoque hacia la confiabilidad = RCM Enfoque hacia los costos = PMO.

Desde **2005** se maneja la filosofía de la conservación, preservación y mantenimiento.

LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

La gestión de mantenimiento garantiza la continuidad de la actividad operativa, evitando rupturas en el proceso como consecuencia de averías de máquinas y equipos. Un mantenimiento eficaz es uno de los elementos más importantes para el logro de la competitividad y operatividad empresarial en el actual marco de competencia global.

Describe la gestión exitosa y eficaz de los problemas de mantenimiento que participan en el mantenimiento, el funcionamiento y la productividad de una fábrica, instalación o planta de fabricación. Las principales áreas de enfoque de gestión de mantenimiento incluyen operaciones de producción, control ambiental y ecológico, control de inventario, control de calidad y opciones de outsourcing.

Realizar una correcta Gestión del Mantenimiento, es un claro indicador de beneficios para los resultados globales de las pequeñas, medianas y grandes compañías. El Mantenimiento industrial se tiene que valorar como una inversión, que genera beneficios y no como un gasto.

Los costos de Mantenimiento Industrial pueden llegar a alcanzar entre un 30 y 60 % de los costos operativos y es por ello que su actuación en la Industria tiene una incidencia notable sobre los resultados económicos de las compañías, haciendo necesario la correcta planificación y organización de su gestión.

OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO

El objetivo general del mantenimiento es garantizar la producción necesaria en el momento justo, con el mínimo costo integral. El costo integral abarca además del mantenimiento de las máquinas, aspectos como el medio ambiente, el ahorro de energía, la seguridad y la calidad.

Costos mínimos:

Asegurar la máxima productividad de la nómina de mantenimiento
Reducir al mínimo el mantenimiento correctivo
Minimizar el stock inactivo en almacén
Extender la vida útil y productiva de las máquinas

Ahorro energético

Controlar el rendimiento energético de las máquinas
Evitar y controlar fugas de vapor, aire presurizado y demás formas de energía

Máxima producción

Asegurar máxima disponibilidad de las máquinas
Reparar fallas en el menor tiempo posible con el menor costo

Calidad

Eliminar desperfectos de las máquinas que afectan la calidad de los productos
Asegurar que los equipos que controlan la calidad de producto funcionen perfectamente

Higiene y seguridad laboral

Mantener las protecciones de seguridad de los equipos
Capacitar al personal en la prevención de accidentes

Conservación del medio ambiente

Controlar fugas y derrames de materiales peligrosos al momento de realizar trabajos
Evitar fugas de agua y desperdicios de energía eléctrica

MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

El TPM (Mantenimiento Productivo Total) surgió en Japón gracias a los esfuerzos del Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) como un sistema destinado a lograr la eliminación de las llamadas <seis grandes pérdidas> de los equipos, con el objetivo de facilitar la implantación de la forma de trabajo "Just in Time" o "justo a tiempo". Es una filosofía de mantenimiento cuyo objetivo es eliminar las pérdidas en producción debidas al estado de los equipos, o en otras palabras, mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima productos de la calidad esperada, sin paradas no programadas. Esto supone:

Cero averías

Cero tiempos muertos

Cero defectos achacables a un mal estado de los equipos

Sin pérdidas de rendimiento o de capacidad productiva debidos al estos de los equipos

TPM emergió como una necesidad de integrar el departamento de mantenimiento y el de operación o producción para mejorar la productividad y la disponibilidad. En una empresa en la que TPM se ha implantado toda la organización trabaja en el mantenimiento y en la mejora de los equipos. Se basa en cinco principios fundamentales:

Participación de todo el personal. Incluir a todos y cada uno de ellos permite garantizar el éxito del objetivo.

Creación de una cultura corporativa orientada a la obtención de la máxima eficacia en el sistema de producción y gestión de los equipos y maquinarias.

Implantación de un sistema de gestión de las plantas productivas para facilitar la eliminación de las pérdidas antes de que se produzcan.

Implantación del mantenimiento preventivo como medio básico para alcanzar el objetivo de cero pérdidas mediante actividades integradas en pequeños grupos de trabajo y apoyado en el soporte que proporciona el mantenimiento autónomo.

Aplicación de los sistemas de gestión de todos los aspectos de la producción, incluyendo diseño y desarrollo, ventas y dirección.

LAS SEIS GRANDES PERDIDAS

Desde la filosofía del TPM se considera que una máquina parada para efectuar un cambio, una máquina averiada, una máquina que no trabaja al 100% de su capacidad o que fabrica productos defectuosos produce pérdidas a la empresa. TPM identifica seis fuentes de pérdidas que reducen la efectividad por interferir con la producción:

Fallos del equipo, que producen pérdidas de tiempo inesperadas.

Puesta a punto y ajustes de las máquinas (o tiempos muertos) que producen pérdidas de tiempo al iniciar una nueva operación u otra etapa de ella. Por ejemplo, al inicio en la mañana, al cambiar de lugar de trabajo, al cambiar una matriz o matriz, o al hacer un ajuste.

Marchas en vacío, esperas y detenciones menores (averías menores) durante la operación normal que producen pérdidas de tiempo, ya sea por problemas en la instrumentación, pequeñas obstrucciones, etc.

Velocidad de operación reducida (el equipo no funciona a su capacidad máxima), que produce pérdidas productivas al no obtenerse la velocidad de diseño del proceso.

Defectos en el proceso, que producen pérdidas productivas al tener que rehacer partes de él, reprocesar productos defectuosos o completar actividades no terminadas.

Pérdidas de tiempo propias de la puesta en marcha de un proceso nuevo, marcha en vacío, periodo de prueba, etc.

El análisis cuidadoso de cada una de estas causas de baja productividad lleva a encontrar las soluciones para eliminarlas y los medios para implementar estas últimas. Es fundamental que el análisis sea hecho en conjunto por el personal de producción y el de mantenimiento, porque los problemas que causan la baja productividad son de ambos tipos y las soluciones deben ser adoptadas en forma integral para que tengan éxito.

Involucrar al operador en tareas de mantenimiento logra que éste comprenda mejor la máquina e instalaciones que opera, sus características y capacidades, su criticidad; ayuda al trabajo en grupo, y facilita compartir experiencias y aprendizajes mutuos; y con todo esto, se mejora la motivación del personal.

Existe una diferencia fundamental entre la filosofía del TPM y la del RCM: mientras que en la primera son las personas y la organización el centro del proceso, es en estos dos factores en los que está basado, en el RCM el mantenimiento se basa en el análisis de fallos, y en las medidas preventivas que se adoptarán para evitarlos, y no tanto en las personas.

¿QUÉ ESPACIO OCUPARÁ EL MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA 4.0?

Estamos entrando a una nueva revolución tecnológica. ¿Qué papel tendrá el mantenimiento en innovaciones como la fabricación aditiva, la conectividad, la robótica autónoma o incluso la simulación y la realidad aumentada, el big data, el cloud computing, la ciberseguridad?

El blog.kriptogroupcom hace un recorrido corto por los aspectos de la Industria 4.0 que incluyen elementos físicos.

LA FABRICACION AUDITIVA

Los makers. Gracias a la impresión 3D, en breve podremos fabricar nuestros propios componentes (al menos, eso se especula). Quizás en un futuro más lejano, incluso se podrán fabricar mecanismos enteros. Como sabemos, uno de los ocho pilares del TPM es el control previo. Hay que estudiar el estado original de la maquinaria y sus componentes para detectar y prever fallos futuros. Cuando estos equipos vienen con la firma de un fabricante, existe una garantía. ¿Qué ocurrirá si cualquiera puede "imprimirse" sus propias piezas? ¡O incluso sus propias máquinas!

CONECTIVIDAD

Ya sabemos que en las fases de implantación del TPM es importante formar nuestro equipo humano e integrar a los operarios en las propias tareas de mantenimiento. La conectividad y la integración de sistemas (existen dos modalidades, vertical u horizontal) no nos queda tan lejos. Ante un escenario de integración física-digital habrá que redoblar esfuerzos en la formación de los operarios para que ejecuten tareas de mantenimiento físico y digital.

ROBÓTICA AUTÓNOMA

En este campo la pregunta es: ¿Los robots autónomos también realizarán tareas de mantenimiento de forma autónoma? Y ante las dos posibles respuestas, se abren otras preguntas igual de millonarias. En el caso de un "sí": ¿confiaremos plenamente en la capacidad de los robots industriales para auto-mantenerse?. En el caso que sea un "no": ¿acabaremos siendo sus médicos y sus mecánicos? Puede que el futuro de los operarios sea la supervisión y el mantenimiento y poco más- ¿Nos asusta este futuro? ¿O es un alivio? Da que pensar...

LA SIMULACIÓN Y LA REALIDAD AUMENTADA

Para finalizar... un poco más de ciencia-ficción. El campo de la simulación y la realidad aumentada se circunscribe (por ahora) a la proyección de prototipos, ensayos, pruebas teóricas, etc. Algunas (grandes) empresas ya cuentan con tecnología de simulación para facilitar la colaboración entre las plantas y procesos físicos y los digitales, entre la producción real y la virtual. En algunas otras, la simulación forma parte ya de la formación de los operarios. Y es una ayuda muy efectiva que agiliza la instrucción en el manejo de maquinaria de forma sorprendente.

Sin embargo, ¿podremos integrar no solo el funcionamiento de toda una planta sino también las tareas de mantenimiento en las simulaciones de rendimiento? La cantidad de factores a tener en cuenta es ingente. ¿Simularemos el comportamiento de las grasas, aerosoles y lubricantes? ¿Podremos incorporar factores externos, medioambientales, situaciones excepcionales, sucesos imprevistos o incluso fallos humanos?

De ser así, gracias a la Industria 4.0 el salto del mantenimiento industrial será gigantesco y el ahorro de costos, monumental. Bueno... por algo lo llaman revolución, ¿verdad?

Fuentes

1. <https://www.lifeder.com/evolucion-mantenimiento-industrial>
2. <https://www.valborsoluciones.com/mantenimiento/objetivo-mantenimiento-industrial/>
3. <http://mantenimientopetroquimica.com/tpm.html>
4. <https://mantenimiento.win/mantenimiento-productivo-total/>



SERIE DE CURSOS



CONFIABILIDAD EN LA PRÁCTICA

Logrando la confiabilidad para el negocio no para el Benchmark.

La serie de cursos "Confiabilidad en la Práctica" se desarrollará para todos los profesionales de habla hispana mediante 6 actividades presenciales, tres de ellas teóricas y tres talleres de discusión donde se afianzarán conocimientos, el curso está diseñado para que desde los más novatos hasta los más expertos adquieran una visión holística sobre el tema y cómo encaja este en la gestión del mantenimiento y hoy en la gestión de activos.



JUAN CARLOS ORREGO BARRERA
DIRECTOR MANTONLINE SAS

MÓDULO 1 TEÓRICO: CONCEPTOS BÁSICOS DE CONFIABILIDAD

SESIÓN 1:

07 DE AGOSTO

CONFIANZA, CONFIABILIDAD
PROBABILIDAD, DISPONIBILIDAD,
MANTENIBILIDAD.

SESIÓN 2:

21 DE AGOSTO

TALLER: REFERIDO AL ELEMENTO
TEÓRICO

MÓDULO 2 TEÓRICO: CONCEPTOS BÁSICOS DE CONFIABILIDAD 2

SESIÓN 3:

04 DE SEPTIEMBRE

CÁLCULO $R(T)$ PARA ELEMENTOS CON
EXPONENCIAL Y WEIBULL Y
ASOCIARLO A ROCE.

SESIÓN 4:

18 DE SEPTIEMBRE

TALLER: REFERIDO AL ELEMENTO
TEÓRICO

MÓDULO 3 TEÓRICO: CONCEPTOS BÁSICOS DE CONFIABILIDAD 3

SESIÓN 5:

02 DE OCTUBRE

DIAGRAMAS DE BLOQUES
FUNCIONALES PARA CONFIABILIDAD Y
DISPONIBILIDAD Y ASOCIAR A ROCE.

SESIÓN 6:

16 DE OCTUBRE

TALLER: REFERIDO AL ELEMENTO
TEÓRICO

CURSOS CORTOS

VIERNES CADA 15 DÍAS **SIN COSTO**
10:00 hrs. (México)

zoom **EN VIVO**

<https://bit.ly/zoomcopiman>



Cronograma de cursos

Agosto - Septiembre 2020

ONLINE LIVE

Curso	Inicio	Fin	Horas
RCM-R® Basic Yellow Belt Certification – Online – Clase en español	10-Aug	14-Aug	18
RCM-R® Basic Yellow Belt Certification – Online – Clase en inglés	17-Aug	21-Aug	18
RCM-R® Advanced Green Belt Certification – Online – Clase en español	24-Aug	28-Aug	30
Planning, Scheduling and Work Management - Online en español	24-Aug	28-Aug	18
Maintenance Inventory Management and optimization - Online en español	24-Aug	27-Aug	18
Introduction to Reliability Improvement Techniques, Online - Clase en español	1-Sep	4-Sep	12
RCM-R® Basic Yellow Belt Certification – Online – Clase en español	7-Sep	11-Sep	18
FRCA-R® – Online – Clase en español	8-Sep	11-Sep	12
RCM-R® Basic Yellow Belt Certification – Online – Clase en inglés	14-Sep	18-Sep	18

¡Desarrolla tu carrera!

Visítanos ahora en
consciousreliability.com

Experience | Expertise | Excellence

El Mantenimiento en una Central Hidroeléctrica

Francisco Javier Martínez Moseco
Técnico de Mantenimiento Enel Green Power Hydro
Jmartinez1638@alumno.uned.es



Fotografía 1. Central hidroeléctrica de Susqueda-Girona (España).
Fuente: Endesa Generación-Enel Green Power Hydro.

1. RESUMEN

La sociedad actual requiere que cada vez más existan procesos industriales en los que se debe garantizar la máxima disponibilidad de los sistemas, y a la vez exista el mínimo número de incidencias que eviten la indisponibilidad del proceso. En los últimos 20 años, las estrategias de mantenimiento se han basado en asegurar que los procesos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que hagan y en el momento que lo quieren hacer.

En el presente artículo presentamos una aproximación sobre un caso práctico en relación al mantenimiento que se realiza en una central hidroeléctrica para garantizar su funcionamiento.

Palabras clave.

**Mantenimiento Industrial
Centrales Hidroeléctricas
RCM,
Fiabilidad**

2. Estrategia del mantenimiento del siglo XXI

En el siglo XXI no se puede justificar la creencia que todo equipo o máquina debe estar supeditada a un mismo tipo de mantenimiento (correctivo, preventivo, predictivo, etc..), cada equipo ocupa una posición diferente en el proceso industrial de generación eléctrica y tiene unas características que lo hacen funcionalmente diferente al resto de los equipos. Los factores a tener en cuenta en el tipo de mantenimiento a definir de cada equipo están relacionados con las siguientes consideraciones:

- Coste económico de las paradas de producción por indisponibilidad
- Problemas con la seguridad y el medioambiente
- Coste económico de una reparación del equipo afectado

Ventajas de análisis del proceso productivo dividido en equipos:

- El presupuesto anual del mantenimiento se puede definir mejor al dividir el proceso en equipos (repuestos, subcontratas, paradas, mano de obra)
- Repuestos necesarios en stock en la central eléctrica
- Contratos con proveedores de algunos equipos

3. Función del mantenimiento

Se entiende por Mantenimiento a la función empresarial a la que se encomienda el control del estado de las instalaciones de todo tipo, tanto las productivas como las auxiliares y de servicios. En ese sentido, se puede decir que el mantenimiento es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un coste mínimo. Conforme con la anterior definición se deducen distintas actividades:

- Prevenir y/ó corregir averías
- Cuantificar y/ó evaluar el estado de las instalaciones
- Aspecto económico (costes)

Todo ello nos lleva a la idea de que el mantenimiento empieza en el proyecto de la máquina. En efecto, para poder llevar a cabo el mantenimiento de manera adecuada es imprescindible empezar a actuar en la especificación técnica (normas, tolerancias, planos y demás documentación técnica a aportar por el suministrador) y seguir con su recepción, instalación y puesta en marcha; estas actividades cuando son realizadas con la participación del personal de mantenimiento deben servir para establecer y documentar el estado

de referencia. A ese estado nos referimos durante la vida de la máquina cada vez que hagamos evaluaciones de su rendimiento, funcionalidades y demás prestaciones.

Son misiones de mantenimiento:

- La vigilancia permanente y/o periódica
- Las acciones preventivas
- Las acciones correctivas (reparaciones)
- El reemplazamiento de maquinaria

Los objetivos implícitos son:

- Aumentar la disponibilidad de los equipos hasta el nivel preciso
- Reducir los costes al mínimo compatible con el nivel de disponibilidad necesario
- Mejorar la fiabilidad de máquinas e instalaciones
- Asistencia al departamento de ingeniería en los nuevos proyectos para facilitar la mantenibilidad

Muchas veces el mantenimiento a realizar de cualquier sistema industrial se realiza en base al "libro de mantenimiento" que hay en cada industria y que es intocable desde "siempre", pero la experiencia del mantenimiento diario nos tiene que servir para tener la información necesaria a aportar en la mejora y modificación del propio mantenimiento del sistema.

4. Evolución de la explotación y mantenimiento de la generación hidroeléctrica

Generalmente las centrales de generación hidroeléctrica y las presas hidroeléctricas tuvieron turno de mantenimiento y explotación 24 horas hasta los años 80, donde después de una automatización de la instalación, implicó que su funcionamiento se realizara de manera telemática desde un centro de control que está pendiente de todos los parámetros de control del sistema:

- Niveles de presa.
- Caudales de consigna de funcionamiento
- Restricciones de funcionamiento de cuencas.
- Restricciones de funcionamiento del sistema eléctrico
- Alarmas
- Monitorización on-line de parámetros
- Gestión de los procedimientos de seguridad en los trabajos en la instalación (descargos eléctricos e hidráulicos)

Esta nueva configuración de la explotación de manera remota, llevó consigo la correspondiente eliminación de los turnos de personal en central, pasando a no tener personal dedicado en la instalación y por lo tanto con la necesidad de tener que definir cómo y cuándo dedicar los recursos de mantenimiento (limitados) en estas condiciones de explotación del activo.

En la mayoría de centrales hidroeléctricas existe un sistema de monitorización y control (SCADA) tanto en cada grupo hidroeléctrico como en los sistemas comunes de la central, pudiendo controlarse y funcionar garantizando la seguridad del propio activo físico (fiabilidad), así como también de las personas y el medioambiente. El funcionamiento automatizado de la central nos puede permitir diferentes secuencias:

- Arranque paso a paso desde equipos
- Arranque secuencial desde central
- Arranque secuencial desde centro de control y centro de control redundante
- Arranque secuencial desde centro de control local de centrales hidroeléctricas de la cuenca del río

Para conseguir los objetivos de fiabilidad de este activo físico automatizado, es necesario poder planificar una estrategia de mantenimiento que permita implementar un plan de mantenimiento donde se combinen diferentes técnicas de mantenimiento con el objetivo de un funcionamiento seguro a todos los niveles. Para ello primeramente se debe analizar dicho activo, revisando todos los posibles problemas que podemos llegar a tener y seguidamente analizar las acciones correspondientes y la periodificación de realización de dichas acciones. Para ello, una de las estrategias posibles de análisis puede ser el mantenimiento centrado en fiabilidad (RCM, Reliability Centered Maintenance).



Fotografía 2. Planta turbinas central hidroeléctrica de Susqueda-Girona (España). Fuente: Endesa Generación-Enel Green Power Hydro.

5. Estrategia de mantenimiento de una central hidroeléctrica. RCM Mantenimiento centrado en fiabilidad

El objetivo principal de RCM es definir una política de mantenimiento de equipo componente basada en varios criterios, incluyendo falta, coste, fiabilidad y seguridad. RCM es realmente una guía para los gerentes de mantenimiento en la toma de decisiones sobre mantenimiento basado en el planeamiento desarrollado durante el análisis RCM. A pesar de ser la herramienta de gestión de mantenimiento, RCM debe actualizarse con la nueva información según sea necesario.

RCM fue desarrollado primero por la aeronáutica durante la década de 1960. A mediados del siglo XX las nuevas tecnologías en las plantas de energía nuclear, aviones, submarinos nucleares, dispositivos aeroespaciales condujeron a la necesidad de desarrollar herramientas que permitan el uso seguro de estas tecnologías. En particular, en la industria aeronáutica se inició la estrategia de mantenimiento conocida como mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

Mediante el análisis RCM podemos definir el estado actual del sistema industrial, realizar el análisis del funcionamiento del sistema en cuanto a fiabilidad y definir los fallos que se han producido (análisis histórico) así como las posibles acciones de mejora en el funcionamiento y en el mantenimiento. Este análisis no llevará a una serie de acciones a planificar que pueden incluso basarse en un rediseño que mejore aspectos importantes de la instalación como son la seguridad y el medioambiente. (Moubray, 1997. Smith, 2003).



Fotografía 3. Planta válvulas central hidroeléctrica de Susqueda-Girona (España). Fuente: Endesa Generación-Enel Green Power Hydro.

Su objetivo es optimizar recursos asociados al mantenimiento

Cualquier procedimiento de trabajo de la central, se basa en los siguientes principios:

Seguridad
Aspectos ambientales
Costes operativos
Costes de oportunidad en la realización de los trabajos.

Mediante un sistema informatizado de gestión del mantenimiento, se gestiona la información y se realiza una toma de decisiones del mantenimiento a desarrollar (estrategia de mantenimiento), en base a la combinación de las acciones indicadas en el gráfico 1.



Grafica 1. Mecanismos básicos de mantenimiento en una central hidroeléctrica. Fuente: Mantenimiento Endesa Generación, 2014.

6. Definición de sistemas, equipos, grado de criticidad y modelo de mantenimiento de una central hidroeléctrica

Uno de los aspectos más importantes en la aplicación de la estrategia de mantenimiento de una central hidroeléctrica es poder dividir el activo físico en una serie de sistemas definidos por una agrupación de funciones a cumplir en el funcionamiento normal.

Se definen en la figura 1 los diferentes sistemas y equipos que componen cada sistema en una central hidroeléctrica.

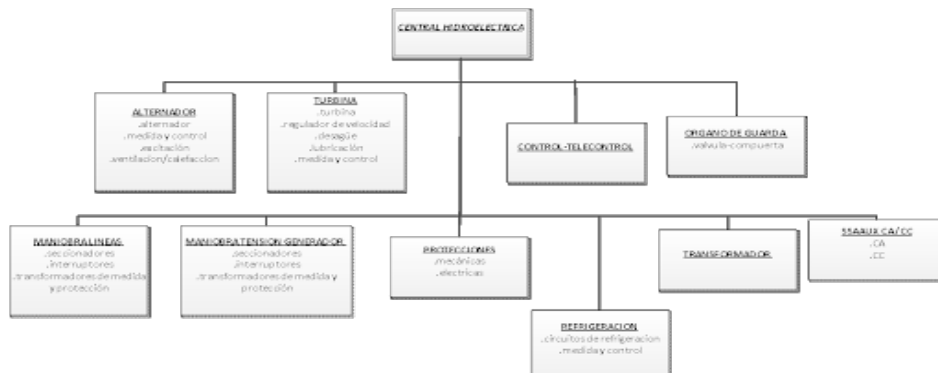


Figura 1. Sistemas y equipos que componen cada sistema de una central hidroeléctrica.

Fuente: El autor.

6.1 Modos de falla y tipos de falla standard de una central hidroeléctrica

En base a los sistemas definidos así como a las funciones a cumplir de cada sistema, podemos definir los modos de falla y tipos de falla asociados a una central hidroeléctrica en base a varias consideraciones:

- Experiencia aportada en el mantenimiento histórico de las centrales hidroeléctricas, así como de las incidencias acaecidas.
- Experiencia profesional de los mantenedores de este tipo de sistemas.
- Análisis de las estrategias de mantenimiento y sus resultados en desarrollos quinquenales.

En el gráfico 2 se refleja el tanto por ciento de incidencias asociadas a cada uno de los sistemas de la central hidroeléctrica en relación a la hipótesis de análisis histórico de incidencias considerado.

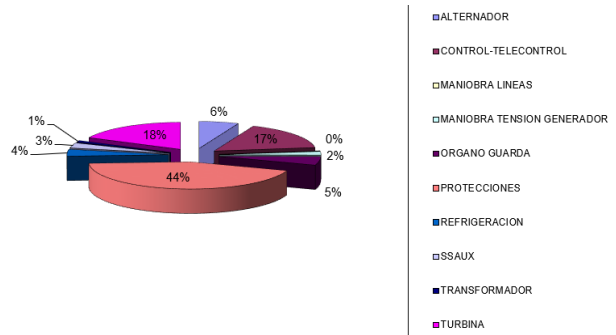


Grafico 2. Porcentaje de incidencias por sistemas en un grupo hidroeléctrico. Fuente: M. Monseco, 2013.

6.2 Análisis de criticidad de los equipos de la central hidroeléctrica

Una vez se han analizado los posibles fallos y se han considerado las hipótesis sobre los efectos de dichos fallos en el sistema podemos llegar a dividir cada equipo que constituye los sistemas analizados en base a las características que se indican en la tabla 2 las características consideradas en el análisis de cada equipo de la central hidroeléctrica, para definir el grado de criticidad propio.

Tabla 2. Características de cada tipo de equipo en función de su criticidad en el funcionamiento. Fuente: M. Monseco, 2013.

EQUIPO ALTA FIABILIDAD (C)	Seguridad y medioambiente	Accidente muy grave Revisiones periódicas Se han producido accidentes
	Producción	Su parada afecta al plan de producción
	Calidad	Es clave para la calidad del producto Es el causante de un alto porcentaje de incidencias
	Mantenimiento	Alto coste de reparación en caso de avería Averías muy frecuentes Consumo una parte importante de los recursos de mto.
EQUIPO IMPORTANTE (I)	Seguridad y medioambiente	Necesita revisiones periódicas (anuales) Puede ocasionar un accidente grave
	Producción	Afecta a la producción, pero es recuperable
	Calidad	Afecta a la calidad, pero no es problemático
	Mantenimiento	Coste en mantenimiento
PRESCINDIBLE (P)	Seguridad y medioambiente	Poca influencia en seguridad
	Producción	Poca influencia en producción
	Calidad	No afecta a la calidad
	Mantenimiento	Bajo coste en mantenimiento

En función del grado de disponibilidad necesario del sistema a analizar, podemos definir los modos de mantenimiento a realizar (tabla 3).

Tabla 3. Planificación del mantenimiento en función de la disponibilidad del sistema. Fuente: El autor.

DISPONIBILIDAD >90%	DISPONIBILIDAD ALTA	DISPONIBILIDAD BAJA
Modo Mantenimiento alta fiabilidad	Modo Mantenimiento sistemático	Modo Mantenimiento Condicional
Mantenimiento Legal	mantenimiento subcontratado	
Normativa legal	Falta medios o conocimientos	
Indisponibilidad muy baja		

6.3 Operaciones de mantenimiento según el modo de mantenimiento de los equipos de una central hidroeléctrica

Una vez definidos los sistemas, equipos, grados de criticidad de cada sistema, así como objetivos de mantenimiento de la central hidroeléctrica, el siguiente paso es definir las operaciones a realizar dentro de cada modo de mantenimiento a implementar en el desarrollo del plan de mantenimiento en cuestión (tabla 4).

Tabla 4. Listado de operaciones de mantenimiento en cada modo de mantenimiento de equipo. Fuente: M. Monseco, 2013.

1. MODO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO
Reconocimientos de inspección
2. MODO DE MANTENIMIENTO CONDICIONAL
Recorridos de inspección
Operaciones de mantenimiento condicionales (a falta de)
3. MODO DE MANTENIMIENTO SISTEMÁTICO
Recorridos de inspección
Operaciones de mantenimiento condicionales
Operaciones mantenimiento reacondicionamiento cíclico
Operaciones de mantenimiento preventivos
4. MODO DE MANTENIMIENTO DE ALTA FIABILIDAD
Recorridos de inspección
Operaciones de mantenimiento condicionales
Operaciones de mantenimiento reacondicionamiento cíclico
Operaciones de mantenimiento preventivos
Operaciones de mantenimiento predictivos
Operaciones de rediseño.

7. Principios básicos de la estrategia de mantenimiento de la central hidroeléctrica

A continuación, se explican las diferentes acciones a gestionar dentro de la estrategia del mantenimiento de la central hidroeléctrica (Sifonte, 2017):

Sistema de vigilancias

- Sistema de captación y seguimiento del estado de una instalación
- Inspección visual de los elementos de la central
- Asegurar la presencia y supervisión en la instalación de manera periódica
- Detección de anomalías y garantía de correcto estado de la instalación
- Lectura de puntos de medida para analizar la evolución del funcionamiento dentro de parámetros correctos con los resultados obtenidos, evaluación a modo de oportunidad de los planes de mantenimiento y correctivo de equipos

Mantenimiento preventivo

- Basado en la experiencia acumulada (know how)
- Recomendación del fabricante
- Normativa legal
- Evaluación de la fiabilidad de cada sistema (punto óptimo de actuación)

En base a:

- Planificación periódica y automatizada de las actuaciones de mantenimiento a realizar.
- Descripción de los equipos y tareas mediante hojas de ruta de mantenimiento
- Actualización de las frecuencias de actuación en función de los equipos (sustitución de equipos, nuevas periodicidades)
- Coste real empleado (análisis)

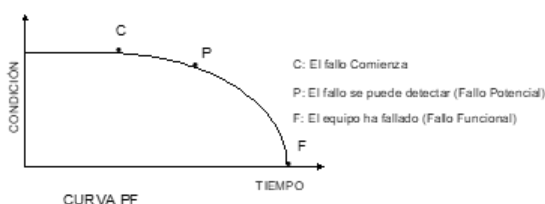


Figura 2. Curva P-F. Fuente: El autor.

Mantenimiento predictivo

Una falla potencial es un estado identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir en el proceso. Las tareas de chequeo consisten en revisar si hay fallas potenciales para que se pueda actuar previniendo la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional.

El funcionamiento de las máquinas modifica su respuesta dinámica, bien por origen mecánico, eléctrico o mecánico. El mantenimiento predictivo intenta diagnosticar la avería cuando empieza a manifestarse y aún no es de gravedad para el sistema.

La figura 2 muestra este proceso. Se le denomina curva P-F porque muestra cómo un fallo comienza y prosigue el deterioro hasta un punto en el que puede ser detectado (el punto P de fallo potencial). A partir de allí, si no se detecta y no se toman las medidas oportunas, el deterioro continúa hasta alcanzar el punto F de fallo funcional:

El seguimiento y control de los parámetros se puede hacer mediante vigilancia periódica, en cuyo caso es importante establecer una frecuencia tal que nos permita detectar el deterioro en un momento entre P y F, y que no sea demasiado tarde para reaccionar.

Asimismo, se puede hacer mediante monitorizado en continuo lo que evita el inconveniente anterior, pero no siempre es factible y, en cualquier caso, es más costoso. De manera que finalmente los parámetros a controlar y la forma depende de factores económicos:

- Importancia de la máquina en el proceso productivo
- Instrumentación necesaria para el control

Los equipos a los que actualmente se les puede aplicar distintas técnicas de control de estado con probada eficacia son básicamente los siguientes:

- Máquinas rotativas
- Motores eléctricos
- Equipos estáticos
- Aparatación eléctrica
- Instrumentación

Técnicas de mantenimiento predictivo en una central hidroeléctrica

Para una central hidroeléctrica, podemos considerar las siguientes técnicas de mantenimiento predictivo:

Seguimiento vibratorio

- Detección de daños
- Evitar condiciones de operación perjudiciales
- Identificación y solución de problemas vibratorios (inestabilidades, desgaste en cojinetes, daños en alternador, daños en rodetes, cavitaciones, resonancia, etc.)

Análisis de aceites

Toma de muestras de aceites dieléctrico de transformador y aceites de lubricación y mando de grupos hidráulicos. Diagnóstico de posible degradación de los sistemas mecánicos y eléctricos

EDAS. diagnosis de alternadores

- Pruebas de acuerdo con normativa IEEE
- Análisis de problemas reversibles humedad superficial, etc..
- Análisis de problemas irreversibles (degradación eléctrica, envejecimiento, etc.)

Diagnosis de transformadores ETP

Prueba que define el estado de los transformadores en términos de circuito eléctrico, magnético, dieléctrico o geométrico (normativa IEEE).

Termografías

Inspección por termovisión de elementos característicos de la instalación. El hecho que se detecte un punto caliente implica una degradación futura del equipo.

Análisis de incidencias

- Causa raíz de la incidencia
- Forma de solucionarla y evitar la repetición
- Acciones a tomar, plazos y responsables.
- Descripción de la acción
- Aplicación en otras instalaciones

Conclusiones

Cualquier equipo humano de mantenimiento de un Sistema industrial tiene como objetivo diario conseguir el funcionamiento óptimo del Sistema industrial objeto del mantenimiento. Para ello cualquier dirección va a marcar como hitos para la consecución del objetivo, poder emplear unos recursos económicos limitados y conseguir la máxima eficiencia tanto del propio activo como de todos los recursos utilizados. En el día a día del equipo de mantenimiento muchas veces la falta de planificación en la estrategia del mantenimiento implica que no se pueda realizar un análisis justificado de la utilización de los recursos (priorización en función de riesgos). En el presente artículo se ha reflejado un caso práctico de análisis de estrategia de mantenimiento para un sistema de alta fiabilidad como puede ser una central hidroeléctrica.

Referencias y Bibliografía

1. M. Monseco, "Diseño de un plan de mantenimiento para un equipo de alta fiabilidad", *Técnica Industrial*, vol. 301, pp. 40-53, 2013.
2. J. Moubay, *Reliability-Centered Maintenance*. Industrial Press Inc., 1997.
3. J. R. Sifonte and J. V. Reyes-Picknell, *Reliability Centered Maintenance—Reengineered: Practical Optimization of the RCM Process with RCM-R®*. Productivity Press, 2017.
4. A. M. Smith and G. R. Hinchcliffe, *RCM—Gateway to World Class Maintenance*. Elsevier, 2003.
5. v5. *Apuntes Curso Mantenimiento en centrales hidroeléctricas*. Endesa Generación. 2014.



A NEW KIND OF RELIABILITY LEADER IS NEEDED FOR THE 21ST CENTURY

In the past, technical skills were enough to get by, but today's demanding business landscape demands much more.

Since 2013, Reliabilityweb.com® has trained over **30,000 PEOPLE** on **6 CONTINENTS** on RELIABILITY LEADERSHIP.

Why Choose the Certified Reliability Leader® (CRL) Workshop?

1. Learn Uptime® Elements, the world's most adopted Reliability Framework and Asset Management System™.
2. Create an engaged, empowered and cross-functional reliability leadership culture.
3. Discover for yourself what it is to "be" a reliability leader and to "do" reliability leadership.
4. Be included in a community of thousands of reliability leaders from the world's best-run companies.
5. Advance your career with professional certification and accomplish even more professional validation with the Uptime Elements Black Belt program.

Registration Includes:

- Uptime Elements Body of Knowledge **\$225 VALUE!**
- Trial access* to the Uptime Elements Academy Learning Management System (LMS) **\$299 VALUE!**

*Access will run through the end of the workshop. Individual subscriptions are available.



CRL WORKSHOP DATES AND OPTIONS

LIVE TRAINING

Co-located at IMC-2020
Marco Island, Florida
December 7-10, 2020

ONLINE TRAINING

Accelerated Program
5-day (1 week) • 4-hour sessions
• 2-hour cohort discussion
October 5-9, 2020

Extended Program

12-week • 2-hour sessions
• 2-hour cohort discussion

Upcoming dates: Coming Soon!



CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD LATINOAMÉRICA

¡PRÓXIMAMENTE!

CURSOS ON-LINE EN VIVO **LIVE** -STREAM-

ESPECIALIZADOS EN **MANTENIMIENTO, CONFIABILIDAD Y GESTIÓN DE ACTIVOS**, CON LOS MAYORES EXPERTOS DE CADA TEMA.

Cursos llevados a cabo de manera simultánea en tres fechas disponibles

28 de septiembre al
9 de octubre

22 y 23 / 29 y 30 de octubre

16 al 27 de noviembre

CURSOS

- Análisis causa raíz (RCA)
- Indicadores de Mantenimiento y confiabilidad
- Análisis de modos y efectos de falla y criticidad FMEA Y FMECA
- Técnicas de gestión de riesgo y criticidad en mantenimiento
- Mantenimiento centrado en Confiabilidad - RCM
- Mantenimiento basado en condición
- Buenas prácticas de mantenimiento y confiabilidad bajo los 5 pilares del Bok de la SMRP
- Estrategias de monitoreo de condición
- Gestión y optimización de inventarios de mantenimiento
- Gestión de presupuestos de mantenimiento
- Pilares y mejores prácticas de la gestión de activos (Orientado para examen de certificación IAM CERTIFICATE®)

¿SIGUEN ACTIVOS TUS
PLANES DE CAPACITARTE?

¡CONTÁCTANOS!



Técnicas de Análisis de Coste de Ciclo de Vida, utilizadas para justificar la aplicación de Herramientas de Optimización de Mantenimiento, propuestas por la Industria 4.0

Caso de estudio: Sector Oil and Gas.

Palabras clave: Análisis de Costes de Ciclo de Vida, Confiabilidad, Mantenimiento, Industria 4.0

RESUMEN

El análisis de coste de ciclo de vida (ACCV) es una metodología desarrollada para evaluar como varían los costes de un activo en su ciclo de vida útil. En este trabajo se exploran los aspectos relacionados con el impacto de la confiabilidad en los costes totales de ciclo de vida y se analizan y cuantifican de forma objetiva, el impacto real de la aplicación de las herramientas de optimización del mantenimiento, propuestas por la industria 4.0: digitalización, internet de las cosas, machine learning, etc., a lo largo de la vida de un activo. El artículo también incluye la presentación de un caso de estudio desarrollado en el sector Oil & Gas, cuyos resultados permiten analizar las fortalezas y las limitaciones (realidades y mitos) de las técnicas de mejora del mantenimiento propuestas por la Industria 4.0. Finalmente, el trabajo concluye mostrando los posibles caminos para investigaciones futuras dentro del área de evaluación del impacto económico de la confiabilidad a lo largo del ciclo de vida de un activo industrial.

PhD. MSc. Eng. Carlos Parra Márques
parrac@ingecon.net.in
IINGEMAN Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Mantenimiento, sede en la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla, España www.ingeman.net

INTRODUCCIÓN

El Análisis de Coste de ciclo de Vida (ACCV) es una metodología desarrollada para evaluar cómo varían los costes de un activo a lo largo de su vida útil. En este trabajo se exploran los aspectos relacionados con el impacto de la confiabilidad en los costes totales de ciclo de vida y se describe el modelo básico de Tasa de Fallos Constante (Modelo de Woodward), que incluye dentro de su proceso de evaluación, la cuantificación de las consecuencias (costes por baja confiabilidad) que podrían ocasionar los diversos eventos de fallos de un activo dentro de un sistema de producción. En los últimos años, especialistas en las áreas de Ingeniería de Valor, Diseño y Organización de la Producción, han mejorado el proceso de cuantificación de los costes, incluyendo el uso de técnicas que cuantifican el factor Confiabilidad y el impacto de los eventos de fallos sobre los costes totales de un sistema de producción a lo largo de su Ciclo de Vida (Woodhouse, 1993). Estas mejoras han permitido disminuir la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones de áreas de vital importancia tales como: diseño, desarrollo, sustitución y adquisición de activos de producción. Es importante aclarar que en todo este proceso de ACCV existen muchas decisiones y acciones, tanto técnicas como no técnicas, que deben adoptarse a través de todo el período de uso de un activo industrial. Markeset and Kumar (2001) plantean que la mayoría de estas acciones, particularmente las que corresponden a la fase de Diseño del Sistema de Producción, tienen un alto impacto en el Ciclo de Vida del activo e influyen en gran medida sobre los costes totales de producción. Son de interés particular aquellas decisiones relacionadas con el proceso de mejoramiento del factor “Confiabilidad” (calidad del diseño, tecnología utilizada, complejidad técnica, frecuencia de fallos, costes de mantenimiento preventivo/correctivo, niveles de mantenibilidad y accesibilidad), ya que estos aspectos tienen una gran influencia sobre el coste total del ciclo de vida del activo e influyen en gran medida sobre las posibles expectativas para extender la vida útil de los sistemas de producción a costes razonables (ver detalles en Blanchard, 2001, Blanchard and Fabrycky, 1998, Goffin, 2000, Markeset and Kumar, 2001, Smith and Knezevic, 1996 y Woodward, 1997).

En este trabajo se exploran los aspectos relacionados con el impacto de la confiabilidad en los costes totales de ciclo de vida y se analizan y cuantifican de forma objetiva, el impacto real de la aplicación de las herramientas de optimización del mantenimiento propuestas por la industria 4.0: digitalización, internet de las cosas, machine learning, etc., a lo largo de la vida de un activo. El artículo también incluye la presentación de un caso de estudio desarrollado en el sector Oil & Gas, cuyos resultados permiten analizar las fortalezas y

las limitaciones (realidades y mitos) de las técnicas de mejora del mantenimiento propuestas por la Industria 4.0 (Crespo et.al, 2018). En resumen, en el siguiente artículo se describen los detalles del Modelo de ACCV de Woodward y se presentan los resultados de un caso de estudio, el cual se cita a continuación:

Selección del mejor sistema de Moto-compresión a ser utilizado en la nueva Estación Compresora “PTS1”, comparación entre los moto-compresores marca CATA (escenario tradicional) versus los compresores marca MOP Gas pipeline compression system (incluye equipos de digitalización y monitorización inteligente en línea – herramientas de la Industria 4.0)

Como punto final, el trabajo concluye presentando algunas recomendaciones orientadas a consolidar el proceso de ACCV dentro de una organización industrial.

1. INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE ANÁLISIS DE COSTES DE CICLO DE VIDA (ACCV)

El concepto de Análisis de Coste del Ciclo de Vida (ACCV) comenzó a aplicarse de manera estructurada a partir de la década del 70, específicamente en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, en el área de la aviación militar (Asiedu and Gu, 1998). Sin embargo la mayoría de las metodologías, desarrolladas en esta etapa por el Departamento de Defensa, estaban orientadas hacia los procesos de procura y logística y no incluían la fase de diseño y producción.

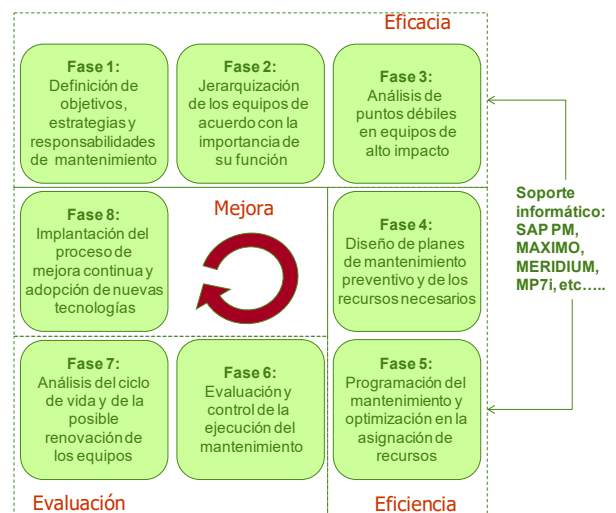


Figura 1. Modelo integral del proceso de gestión del mantenimiento (MGM)

Una vez reconocida la necesidad de aplicar las metodologías de ACCV en los procesos de diseño, planificación y control de la producción, la US National Science Foundation patrocinó una conferencia en 1984, integrada por las principales academias y organizaciones industriales (Fleischer and Khoshnevis 1986 y Fabrycky, 1987). En esta conferencia se identificaron y priorizaron 34 áreas de investigación, recibiendo las calificaciones más altas de priorización las áreas de: evaluación económica en fase de diseño, análisis de ciclo de vida y diseño asistido por ordenador (CAD - CAE: computer-aided estimating).

En el intento para mejorar el diseño de los activos y reducir los cambios en el tiempo, la denominada ingeniería concurrente (ingeniería de ciclo de vida) ha emergido como una técnica efectiva dentro del proceso de optimización de los costes (Keys, 1990). La ingeniería de ciclo de vida considera que la fase inicial de desarrollo de un activo comienza con la identificación de la necesidad del mismo y posteriormente se generarán otras fases tales como diseño (conceptual, preliminar, detallado), producción (manufactura), utilización (operaciones, mantenimiento), soporte (logística) y desincorporación (sustitución).

Kirt and Dellisola (1996) define el ACCV como una técnica de cálculo económico que permite optimizar la toma de decisiones asociadas a los procesos de diseño, selección, desarrollo y sustitución de los activos que conforman un sistema de producción. La misma propone evaluar de forma cuantitativa todos los costes asociados al período económico de vida útil esperado, expresados en unidades monetarias equivalentes anualizadas (Dólares/año, Euros/año, Pesos/año). Alting (1993) distingue 6 fases en el ciclo de vida de un activo: reconocimiento de la necesidad, desarrollo del diseño, producción, distribución, utilización y desincorporación. El proceso de ciclo de vida comienza con la definición de las diferentes tareas de producción para el diseño preliminar (Kriwet et al. 1995). Luego se desarrollan actividades tales como: plan de producción, trazado de planta, selección de equipos, definición de procesos de manufactura y otras actividades similares. Posteriormente, se considera la logística

previa a la fase de diseño. Esta fase envuelve el desarrollo del soporte necesario para el diseño y las diferentes etapas de producción, el soporte a los posibles usuarios, el plan de mantenimiento previsto para el uso del activo (ver Figura 1: Modelo Integral de Gestión del Mantenimiento) y el proceso de desincorporación del activo. Dentro de la técnica de análisis de ciclo de vida, Alting (1993) sugiere que se evalúen los siguientes aspectos: procesos de manufactura ágil, protección ambiental, condiciones de trabajo, procesos de mantenimiento, optimización de recursos humanos y económicos.

En los últimos años, especialistas en las áreas de Ingeniería de Valor, Diseño y Optimización de la Producción, han mejorado el proceso de cuantificación de los costes, incluyendo el uso de técnicas que cuantifican el factor Confiabilidad y el impacto de los eventos de fallos sobre los costes totales de un sistema de producción a lo largo de su Ciclo de Vida (Woodhouse, 1993). Estas mejoras han permitido disminuir la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones de áreas de vital importancia tales como: diseño, desarrollo, mantenimiento, sustitución y adquisición de activos de producción. Es importante aclarar que, en todo este proceso, existen muchas decisiones y acciones, tanto técnicas como no técnicas, que deben adoptarse a través de todo el período de uso de un activo industrial. Markeset and Kumar (2001) plantean que la mayoría de estas acciones, particularmente las que corresponden a la fase de Diseño del Sistema de Producción, tienen un alto impacto en el Ciclo de Vida del activo e influyen en gran medida sobre los costes totales de producción. Son de interés particular, aquellas decisiones relacionadas con el proceso de mejoramiento del factor "Confiabilidad" (calidad del diseño, tecnología utilizada, complejidad técnica, frecuencia de fallos, costes de mantenimiento preventivo/correctivo, niveles de mantenibilidad y accesibilidad), ya que estos aspectos, tienen una gran influencia sobre el coste total del ciclo de vida del activo, e influyen en gran medida sobre las posibles expectativas para extender la vida útil de los sistemas de producción a costes razonables (ver detalles en Blanchard, 2001; Blanchard and Fabrycky, 1998; Goffin, 2000; Markeset and Kumar, 2001; Smith and Knezevic, 1996 and Woodward, 1997).

2. ASPECTOS TEÓRICOS BÁSICOS DE LOS COSTES

El total de costes de un activo desde su conceptualización hasta su retiro serán soportados por el usuario y tendrán un impacto directo sobre la comercialización del activo (Wilson, 1986).

Como compradores, nosotros pagaremos por los recursos requeridos para diseñar y comercializar el activo y como usuarios del activo, nosotros pagaremos por los recursos requeridos para utilizar, operar y desincorporar el activo. El total de costes de ciclo de vida se puede descomponer en diferentes categorías como se muestra en la figura 2. Esta descomposición es conocida como: estructura desglosada de costes (CBS - cost breakdown structure). La CBS presentada en la figura 2, representa en términos generales los principales tipos de costes asociados al proceso de diseño, producción, comercialización, utilización y desincorporación de un activo específico, aunque hay que tener en cuenta que el nivel de desglose y las diferentes categorías de los costes dependerán de distintos factores, tales como: la naturaleza del activo a desarrollar, el tipo de información disponible, el proceso de diseño y manufactura, las variables económicas, el recurso humano, la tecnología existente, entre otros.

Otro aspecto de interés está relacionado con la diferencia de importancia entre los distintos tipos de costes, por ejemplo, mientras la organización quiere conocer el total de los costes del activo a desarrollar, el diseñador solo está interesado en los costes que él/ella pueden controlar. Algunos de los costes incurridos en la vida del activo son difíciles de visualizar en la fase de diseño, estos costes están relacionados con la forma de cómo la organización va a desarrollar el producto. De tal manera que la definición de los costes totales del ciclo de vida de un activo deben clasificarse en costes relacionados con el proceso global de desarrollo y en costes relacionados con el proceso de diseño del activo. Algunas de las categorías de costes en las cuales el diseñador no estaría interesado serían los costes de producción y construcción del activo. En la fase de diseño, estos costes no son relevantes para el diseñador, lo cual no significa que la organización deba obviar este tipo de costes, ya que más adelante deberán ser considerados por las personas encargadas de producir y manufacturar el activo (Fabrycky and Blanchard, 1991 y Ahmed, 1995).

2.1. COSTES DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO INICIAL

Los costes relacionados a esta etapa están vinculados con las fases iniciales de desarrollo del sistema (visualización del proyecto, ingeniería básica, conceptual y de detalles). Es importante mencionar que los resultados obtenidos en un proceso de análisis de costes alcanzan su máxima efectividad, justamente, durante esta fase de: desarrollo inicial. Como se presenta en la figura 3, una vez que se ha completado el diseño, resulta difícil modificar sustancialmente los resultados económicos. Es más, las consideraciones económicas relacionadas con el ciclo de vida deben plantearse específicamente durante las fases citadas anteriormente, si es que se quieren explotar totalmente las posibilidades de una ingeniería económica efectiva. Hay que tener en cuenta que casi dos tercios del coste del ciclo de vida de un activo o sistema se ven ya determinados en la fase conceptual y de diseño preliminar (65-85 % de oportunidades de creación de valor y reducción de costes), según (Dowlatshahi, 1992).

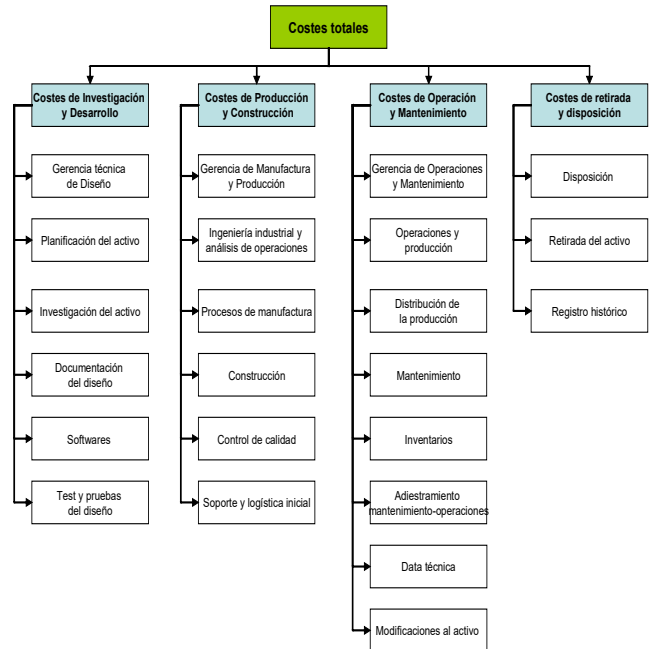


Figura 2. Estructura desglosada de costes (CBS - Cost Breakdown Structure). Fuente: (Fabrycky and Blanchard, 1991)

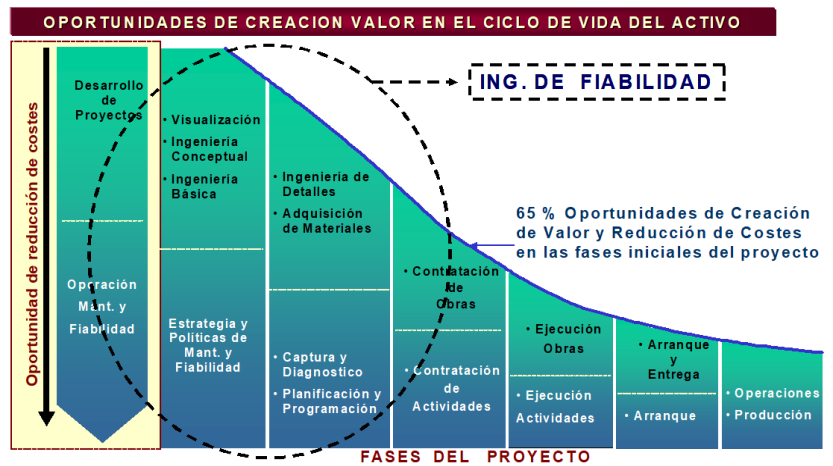


Figura 3. Oportunidades de reducción de Costes

2.2. COSTES DE PRODUCCIÓN Y CONTRUCCIÓN

Los costes en esta fase están asociados con: actividades de manufactura (fabricación, ensamble y pruebas), facilidades de producción, operaciones de producción, control de calidad y costes iniciales de soporte y logística (repuestos para el proceso de manufactura, pruebas y equipos de soporte de producción) (Fabrycky and Blanchard, 1991).

El objetivo principal de esta fase consiste en determinar las secuencias y los procesos más eficientes para poder desarrollar el activo diseñado. Dos de las más exitosas metodologías desarrolladas para optimizar esta fase son: el diseño del proceso de manufactura (design for assembly - DFA) desarrollado por Boothroyd and Dewhurst (Dewhurst and Boothroyd, 1984; Boothroyd, 1994) y el método de evaluación de manufactura (assembly evaluation method - AEM) desarrollado por Hitachi (Miyakawa and Ohashi, 1986). Estos métodos evalúan las diferentes opciones de diseño de manufactura y estiman de forma numérica el proceso de producción que genera los menores costes de ensamblaje.

2.3. COSTES DE OPERACIÓN Y SOPORTE

Los costes en esta etapa afectan especialmente a los usuarios que utilizan el activo desarrollado y están asociados a costes de: operación, energía, insumos y materia prima, mantenimiento preventivo y correctivo, overhaul, diseño y modificaciones de ingeniería, logística de repuestos, adiestramiento y cualquier otro coste que se genere a lo largo de ciclo de vida del activo (Fabrycky and Blanchard, 1991).

2.4. COSTES DE DESINCORPORACIÓN Y RETIRADA

Los costes de esta etapa se relacionan específicamente con actividades de conversión de materiales y manejo de recursos energéticos, estas actividades generan desperdicios que son liberados al ambiente. El consumo de energía, la polución del aire y el manejo de los desperdicios en la actualidad son temas de interés mundial y son el centro de debates públicos de tal forma que, en el futuro, los sistemas de producción para poder ser competitivos deberán desarrollar procesos y tecnologías de manufactura que sean ambientalmente limpias (Weule, 1993).

En algunos países, el proceso de toma de conciencia ha comenzado a surgir a partir de la creación y aplicación de las nuevas leyes medioambientales, un ejemplo de esta situación está reflejado en la nueva legislación ambiental de los países de la comunidad Europea, la cual es un ejemplo a seguir y está sustentada en el siguiente principio: quien ocasione daños al ambiente tendrá que pagar por la limpieza de estos daños (Zussman et al. 1994).

Un análisis completo de los costes de ciclo de vida debe incluir todas las actividades que se van a desarrollar durante el proceso de retirada y desincorporación de los activos: disposición y limpieza de desperdicios,

Los costes de operación y soporte son los más significativos del ciclo de vida de un activo y adicionalmente, son los más difíciles de predecir. En algunos casos, estos costes podrían llegar a exceder hasta 10 veces más los costes iniciales de adquisición (Wilson, 1986). Un aspecto importante en esta etapa está relacionado con la disponibilidad que debe tener el activo para cumplir con las expectativas de producción del usuario. En relación a la disponibilidad, el activo deber diseñarse de tal forma que pueda ser mantenido en el menor tiempo y coste posible sin afectar de forma negativa las características de Confiabilidad y seguridad del activo diseñado. En la mayoría de los procesos de producción cada minuto en que el activo esté fuera de servicio, representa pérdidas financieras para el usuario. En este escenario el tiempo es "coste", de tal forma que las actividades de mantenimiento deben ejecutarse de forma rápida (tiempos de reparación cortos) y eficiente para poder cumplir con los niveles de disponibilidad requeridos por el usuario (Smith and Babb, 1973 y Ruff and Paasch, 1993).

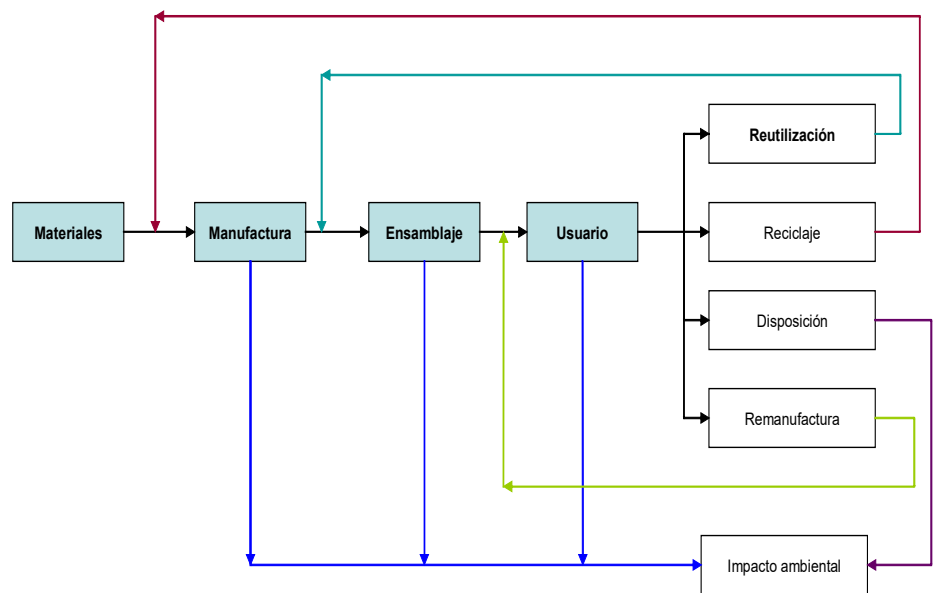


Figura 4. Ciclo de vida del activo y el proceso de retirada
Fuente: Adaptada por (Ishii et al. 1994)

control de emisiones al ambiente, saneamiento ambiental de la zona de producción, manejo y almacenamiento de productos de desecho, etc., actividades que conceptualmente son muy buenas pero en la práctica en la realidad son difíciles y engorrosas de ejecutar, ver (Navinchandra, 1991, Züst and Wagner, 1992, Benda et al. 1993, Tipnis, 1993, Zussman et al. 1994 y Sullivan and Young, 1995). Adicionalmente, procedimientos sobre las actividades de desincorporación de un activo y datos sobre el manejo de residuos ambientales son escasos, no son fáciles de conseguir y no hay un consenso sobre cómo medir el impacto de los costes en esta etapa del proceso de producción (Glantsching, 1994). En la actualidad, un estudio interesante relacionado con la etapa de desincorporación se puede ver en con detalles en (Zussman et al. 1994). Como resultado de esta investigación, se definen los siguientes procesos dentro de la etapa de retirada del activo - ver figura 4:

Los costes para reciclar, reutilizar y desincorporar son un factor de alto impacto dentro del análisis de los costes totales de ciclo de vida de un activo de producción, estos aspectos se discuten en detalle en: Jovane et al. (1993), Scheuring et al. (1994), Kriwet et al. (1995) y Zussman et al. (1994).

3. PROCESO DE APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ACCV

Tradicionalmente, aspectos costes y de diseño han sido considerados y evaluados como dos procesos separados. En el caso del diseño, se considera como objetivo principal el diseñar el mejor activo posible y en el caso de los costes, se considera como objetivo principal el minimizar los costes de diseño y producción, aunque hay que tener en cuenta, que ambos procesos, tienen en realidad objetivos comunes, los cuales son: el desarrollar un activo que cumpla y satisfaga de forma eficiente la necesidad de los usuarios y que a su vez sea competitivo desde el punto de vista económico (Noble and Tanchoco, 1990).

El uso de los técnicas de ACCV se ha incrementado de forma notable debido principalmente al desarrollo de un gran número de metodologías, las cuales proponen métodos para evaluar distintos diseños o vías alternativas de acción, con el objetivo de poder escoger la mejor forma de emplear los recursos humanos y económicos disponibles al momento de desarrollar un sistema de producción (Durairaj and Ong, 2002). Es importante volver a comentar, que los resultados obtenidos de los Análisis de Costes de Ciclo de Vida alcanzan su máxima efectividad durante el diseño conceptual y preliminar. Una vez que se ha completado el diseño, resulta difícil modificar sustancialmente los resultados económicos. Es más, las consideraciones económicas relacionadas con el ciclo de vida deben plantearse específicamente durante la fase de diseño del activo, si es que se quiere explotar totalmente las posibilidades de una ingeniería económica efectiva. Hay que tener en cuenta que casi dos tercios del coste del ciclo de vida de un activo o sistema se ven ya determinados en la fase conceptual y de diseño preliminar (Dowlatsahi, 1992). El cálculo del coste del ciclo de vida se debe aplicar en todas las fases de diseño del sistema: diseño, desarrollo, producción, construcción, uso operativo y apoyo logístico. Al principio del ciclo de vida se debe poner énfasis en los aspectos de costes, al establecer ciertos factores cuantitativos de coste como requisitos propios del diseño. A medida que transcurre el ciclo de vida, el coste se emplea como un parámetro de importancia en la evaluación de configuraciones de diseño alternativos y en la selección de una solución de preferencia. Por tanto, los datos de costes se preparan basándose en las características establecidas del diseño y la producción, y se usan en el desarrollo de la estimación del coste del ciclo de vida. A su vez, estas estimaciones se comparan con los requisitos iniciales para determinar

el grado de cumplimiento y la necesidad de una acción correctiva. En esencia, el coste del ciclo de vida evoluciona desde una serie de estimaciones cualitativas hasta una metodología relativamente refinada, empleándose como una herramienta de gestión orientada a la optimización del proceso de toma de decisiones (Durairaj and Ong, 2002).

Existen diferentes facetas dentro del diseño y desarrollo de un activo que pueden ser estudiadas mediante el uso de modelos de ACCV. Hay que tener mucho cuidado en el uso y en la aplicación de las técnicas de ACCV ya que su relativa fácil implementación podría orientar por caminos erróneos el proceso de toma de decisiones relacionados con los costes de un activo (Fabrycky and Blanchard, 1991). Un paso importante al inicio del proceso de implantación de un ACCV, consiste en definir de forma clara cuál es el objetivo básico del proceso de evaluación de costes, según Blanchard (1979), las técnicas de ACCV se pueden utilizar en la evaluación de los siguientes procesos:

- Alternativas de sistemas de producción.
- Alternativas de sistemas de mantenimiento, tipos de actividades de mantenimiento (preventivo vs. correctivo), mantenimiento por condición, tecnologías de la industria 4.0 (internet de las cosas, digitalización, etc.).
- Alternativas de configuraciones de diseño: esquemas de operación, diagnóstico, niveles de Confiabilidad y mantenibilidad, estandarización de repuestos, esquemas de monitorización.
- Alternativas de sistemas de control y automatización.
- Alternativas de procesos de producción: Continua vs. Discontinua.
- Alternativas de sistemas de logística, procura y selección de diferentes proveedores.
- Alternativas de canales de distribución, métodos de transporte y manejo de la producción, localización de almacenes.
- Alternativas de manejo de residuos, desechos, reciclaje.
- Alternativas de procesos de sustitución y reemplazo.
- Alternativas de sistemas de protección y seguridad.

La falta de precisión dentro del proceso de estimación de costes, es un factor de alto impacto que puede llegar a generar consecuencias financieras desastrosas durante el desarrollo de un activo industrial. En términos generales, la falta de precisión en la estimación de los costes de desarrollo de un activo se puede presentar en dos escenarios, el caso en el que se estimen costes por debajo de los costes reales, o el caso contrario, que es cuando los costes estimados sean superiores a los costes reales (Daschbach and Apgar, 1988). Cuando los costes estimados están por debajo de los costes reales, los planes iniciales de contratación de mano de obra, la ejecución de ciertas actividades claves y la compra de ciertos materiales y equipos, resultan inalcanzables. Sin embargo, los planes de desarrollo previstos con anterioridad deberán continuar, en este escenario, se tendrá que recurrir a procesos de replanificación y reorganización que normalmente resultarán en un incremento de los costes que a su vez permitirán que se cumplan con las metas y objetivos de los proyectos asociados al desarrollo del activo (Daschbach and Apgar, 1988). En el otro escenario, cuando los costes estimados son superiores a los costes reales, se esperaría que se incrementen los beneficios del proyecto, lo cual normalmente no ocurre y lo que sucede con el dinero que queda disponible es que el mismo se gasta. Solo en el caso de que la organización tenga un control estricto de los costes, este dinero sobrante no será gastado, lo cual en la práctica resulta muy poco probable (Daschbach and Apgar, 1988).

En el proceso de estimación de costes asociados al desarrollo de un activo, existen una gran cantidad de requerimientos que van a variar de forma considerable dependiendo de la fase del programa de diseño y producción, de la complejidad de los procesos y de la profundidad de las técnicas de análisis (Fabrycky and Blanchard, 1991). Durante las fases iniciales de desarrollo y diseño conceptual, los datos disponibles son limitados y los análisis de costes dependen normalmente de modelos paramétricos, el nivel de precisión de los datos en esta etapa es entre el 20 y el 50% (Creese and Moore, 1990). En las fases intermedias de diseño, se tiene mayor información disponible y se pueden utilizar modelos análogos de costes que permitan comparar los costes de activos similares, el nivel de precisión de los datos en esta etapa es entre el 70 y el 85% (Creese and Moore, 1990). En la fase de diseño a nivel de detalle, se cuenta con toda la información del activo y se conocen las especificaciones de producción, los procesos de fabricación - manufactura y los requerimientos de soporte y logística, en esta fase es muy frecuente utilizar modelos detallados de estimación de costes, el nivel de precisión de los datos en esta etapa es entre el 85 y el 95% (Creese and Moore, 1990).

3.1. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA CONFIABILIDAD EN LOS MODELOS DE ACCV

Woodhouse (1991) plantea que para poder diseñar un sistema productivo eficiente y competitivo en el ámbito industrial actual, es necesario evaluar y cuantificar de forma detallada el impacto económico del factor fiabilidad a lo largo del ciclo de vida de un activo industrial. La cuantificación del factor Confiabilidad permite, en primer lugar, predecir la forma en que los procesos de producción pueden perder su continuidad operacional debido a eventos de fallos imprevistos (comportamiento de la frecuencia de fallos); y en segundo lugar, analizar y evaluar el impacto económico (costes) que ocasionan los fallos a la seguridad, el ambiente, las operaciones y la producción.

El aspecto clave del término Confiabilidad está relacionado con la continuidad operacional. En otras palabras, se puede afirmar que un sistema de producción es "Fiable" cuando es capaz de cumplir su función de forma segura y eficiente a lo largo de su ciclo de vida. Ahora, cuando el proceso de producción comienza a estar afectado por una gran cantidad de eventos de fallos imprevistos (baja Confiabilidad), este escenario provoca altos costes, asociados principalmente con la recuperación de la función (costes directos) e impacto en el proceso de producción (costes de penalización).

Los costes totales por Confiabilidad (provocados por fallos imprevistos), se pueden caracterizar de la siguiente forma (Barlow, Clarotti and Spizzichino, 1993, Ruff and Paasch, 1993 and Woodhouse, 1993):

Costes por penalización:

- Downtime (indisponibilidad de producción), pérdidas de oportunidad/producción diferida, pérdidas de producción, pérdidas operacionales, impacto en la calidad, impacto en seguridad y ambiente.

Costes directos por mantenimiento correctivo:

- Mano de obra: costes directos relacionados con la mano de obra (propia o contratada) en caso de una acción no planificada.
- Materiales y repuestos: costes directos relacionados con los consumibles y los repuestos utilizados en caso de una acción no planificada.

El impacto en los costes que genera un activo de baja Confiabilidad está asociado directamente con el comportamiento de los siguientes dos índices:

El tiempo promedio entre fallos (MTBF):

$$MTBF = \frac{\text{tiempos} \cdot \text{operacionales}}{\text{número} \cdot \text{de} \cdot \text{fallos}} \quad \text{Ec. (1)}$$

- Sistemas con MTBF pequeños, reflejan valores de Confiabilidad bajos y un alto número de fallos.

El tiempo promedio para reparar (MTTR):

$$MTTR = \frac{\text{tiempos} \cdot \text{de} \cdot \text{reparación}}{\text{número} \cdot \text{de} \cdot \text{fallos}} \quad \text{Ec. (2)}$$

- Sistemas con MTTR largos, reflejan valores de Mantenibilidad bajos (sistemas en los que se necesita gran cantidad de tiempo para poder recuperar su función).

Según Woodhouse (1991), un factor importante en el aumento de los costes a lo largo del ciclo de vida es ocasionado, en muchas oportunidades, por la falta de previsión ante la aparición inesperada de eventos de fallos, escenario provocado básicamente por el desconocimiento y por la falta de análisis en la fase de diseño de los aspectos relacionados con el factor Confiabilidad. Esta situación trae como resultado un incremento en los costes de operación (costes que no fueron considerados en un principio) afectando de esta forma la rentabilidad del proceso de producción. En la próxima sección, se explicarán los detalles de un modelo básico que permita evaluar el impacto económico de la Confiabilidad a lo largo del ciclo de vida de un activo industrial.

3.2. MODELO DE ACCV DE WOODWARD

En términos generales, el Modelo de ACCV de Woodward (Woodward, 1997) propone el siguiente esquema para calcular el impacto de los costes de fallos en el ciclo de vida de un activo industrial (Woodhouse, 1993):

1. Establecer las condiciones operacionales del sistema. Describir los modos de operación del sistema (carga completa, media carga, sin carga) y las capacidades de producción a satisfacer.
2. Establecer los factores de utilización. Estos factores deben indicar el estado de funcionamiento dentro de cada modo de operación.

3. Identificar las distintas opciones a ser evaluadas. Seleccionar las alternativas existentes que pueden cubrir con las necesidades de producción exigidas.
4. Identificar para cada alternativa todas las categorías de costes básicos: inversión inicial, desarrollo, adquisición, mantenimiento planificado, reposición.
5. Determinar para cada alternativa los costes totales por Confiabilidad (TCPF). Identificar los principales tipos de fallos y la frecuencia de ocurrencia en el tiempo, la cual será un valor constante a lo largo del ciclo de vida del activo (este aspecto se detalla más adelante).
6. Determinar los costes críticos. Identificar las categorías de costes de mayor impacto, y analizar los factores que propician los altos costes (proponer estrategias de control).
7. Calcular todos los costes en valor presente (P) para cada alternativa. Definir el factor de descuento y el período de vida útil esperado y estimar los costes totales en valor presente por cada alternativa evaluada.
8. Seleccionar la alternativa ganadora. Comparar los costes totales de las alternativas evaluadas y seleccionar la opción que menor coste genere para el período de vida útil esperado.

En referencia al esquema anterior, el modelo de Woodward propone la siguiente expresión para calcular los diferentes costes que genera un activo industrial a lo largo de su ciclo de vida (Woodward, 1997, Blanchard and Fabrycky, 1998):

$$CTCV(P) = \sum_{T=1}^T CI + CO + CMP + TCPf + CMM \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

(P) = Valor presente.

CTCV(P) = Costes totales del ciclo de vida en valor presente (P), para una tasa de descuento (i) y un período de vida útil esperado (T).

CI = Coste inicial de adquisición e instalación, normalmente dado en valor Presente.

CO = Costes operacionales, normalmente dado como valor Anualizado**.

CMP = Costes de Mantenimiento Preventivo, normalmente dado como valor Anualizado**.

TCPf = Costes Totales por Confiabilidad (costes por fallos), normalmente dado como valor Anualizado. En este caso se asume tasa de fallos constante, por lo cual el impacto en costes es igual en todos los años **.

CMM = Costes de Mantenimiento Mayor - Especiales, normalmente dado como valor Futuro**.

** *Todas las categorías de costes se convertirán a valor presente (P) a una tasa de interés (i) y un período de vida útil esperado (T).*

En relación a la cuantificación de los costes por Confiabilidad (TCPF), el modelo de Woodward propone evaluar el impacto de los principales fallos sobre la estructura de costes de un sistema de producción, a partir de un proceso sencillo, el cual se resume a continuación: primero, se determinan los tipos de fallos más importantes, luego, se asigna a cada tipo de fallo un valor constante de frecuencia de ocurrencia por año (este valor no cambiara a lo largo de la vida útil esperada), posteriormente, se estima el impacto en costes por año, generado por los fallos en la producción, las operaciones, el ambiente y la seguridad, y finalmente, se estima en valor presente a una tasa de descuento específica, el impacto total en costes de los fallos para los años de vida útil esperada. A continuación se detallan los pasos a seguir para estimar los costes por fallos según el Modelo de Woodward:

1 Definir los tipos de fallos (f). Dónde $f = 1... F$ para F tipos de fallos.

2 Definir la frecuencia de fallos esperada por año δ_f . Se expresa en fallos por año. Esta frecuencia se asume como un valor constante por año para el ciclo de vida útil esperado y se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\delta_f = \frac{N}{T} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

N = número total de fallos

T = número total esperado de años de vida útil

3 Calcular los costes asociados a cada tipo de fallo C_f (\$/fallo). Estos costes incluyen: costes de repuestos, mano de obra, penalización por pérdida de producción e impacto operacional.

$$C_f = \sum_{f=1}^F MTTR_f \times Cpe_f \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

MTTR = tiempo medio para reparar cada fallo = horas/fallo

Cpe = costes de penalización por hora (producción, mano de obra, repuestos) = \$/hora

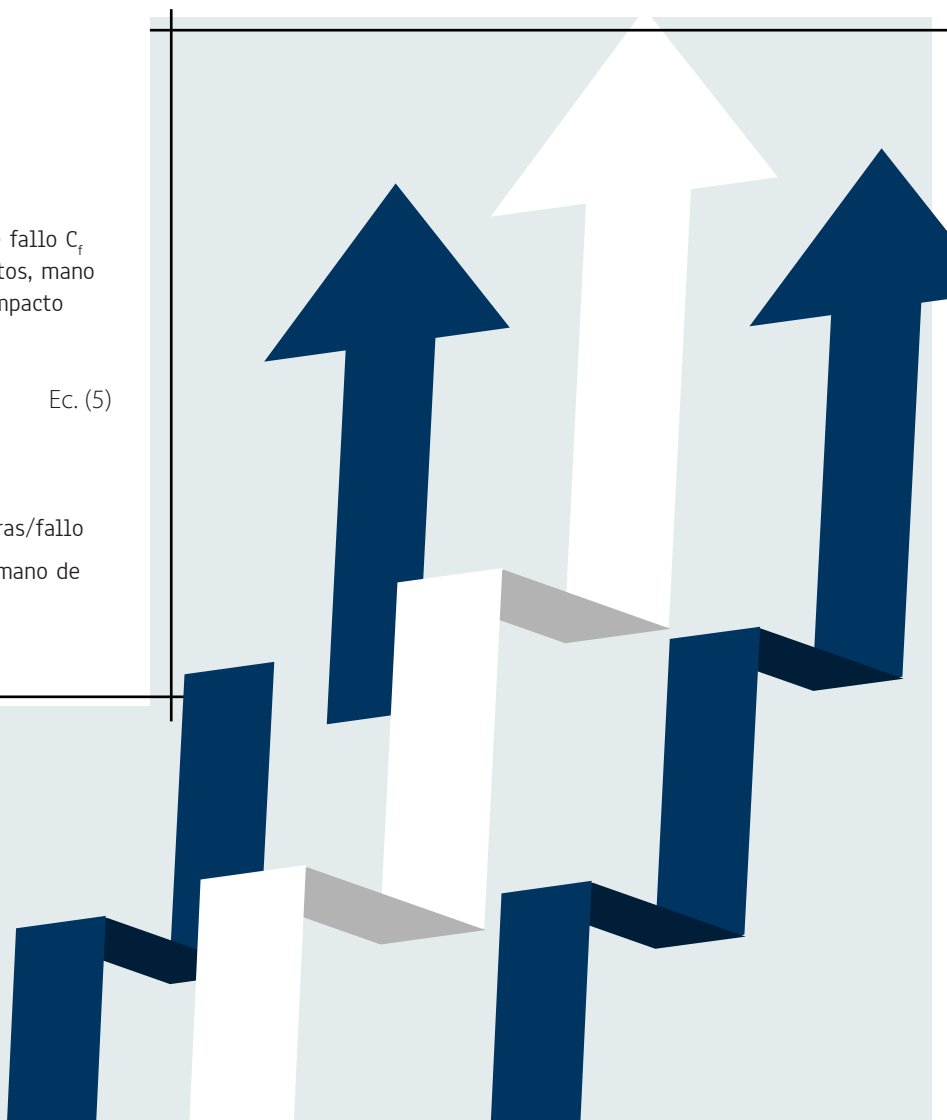
4 Calcular los costes totales por fallos por año TCP_f (\$/año), que se calculan a partir de la siguiente expresión:

$$TCP_f = \sum_{f=1}^F C_f \times \delta_f \quad \text{Ec. (6)}$$

5 Calcular los costes totales por fallo en valor presente $PTCP_f$ (\$). Dado un valor anualizado TCP_f , se estima su valor monetario en función del número de años de vida útil esperada (T), para una tasa de descuento (i). La expresión a utilizar para estimar los en valor presente es:

$$PTCP_f = TCP_f \times \frac{(1+i)^T - 1}{i \times (1+i)^T} \quad \text{Ec. (7)}$$

Posteriormente, a los costes calculados por Confiabilidad, se adicionarían el resto de costes evaluados (inversión, mantenimiento planificado, operaciones, etc.). Se calcula el coste total en valor presente para la tasa de interés seleccionada y los años de vida útil esperados y se compara el resultado obtenido con los costes totales de las otras opciones evaluadas.



4. CASO DE ESTUDIO DE APLICACIÓN DEL MODELO DE ACCV DE WOODWARD EN LA ORGANIZACIÓN T-ENERGY: SELECCIÓN DEL MEJOR SISTEMA DE COMPRESIÓN A SER UTILIZADO EN LA NUEVA ESTACIÓN COMPRESORA “PTS1”

El siguiente caso de aplicación del modelo de ACCV de Woodward, se desarrolló para identificar la mejor opción técnico - económica, entre diferentes opciones de moto-compresores (CATA versus MOP) a ser seleccionados dentro del Proyecto de instalación de la Estación de Compresión de Gas “PTS1”, de la compañía de transporte de Gas (T-ENERGY). Se evaluaron dos posibles escenarios:

Escenario 1: Con penalización por producción. Se estima una demanda de transporte de gas en la nueva estación de Compresión PTS1 de: 270 MMCFD, la cual sería cubierta con las siguientes alternativas:

Opción 1: 3 moto-compresores CATA de 3.600 hp/unidad (configuración 3 de 3) para cubrir la demanda de transporte de gas de 270 MMCFD. En este caso al perder una unidad CATA, se producirá penalización por falta de transporte de gas (capacidad promedio por día 120 MMCFD/unidad, pérdida de producción por perder un equipo: 18.750 \$/hora).

***Se incluyen sistemas básicos de monitorización en línea de variables más importantes.*

Opción 2: 2 compresores rotativos MOP de 13.410 hp/unidad (configuración 2 de 2) para cubrir la demanda de transporte gas de 270 MMCFD. En este caso al perder una unidad MOP, se generará penalización por falta de transporte de gas (capacidad promedio por día 270 MMCFD/unidad, pérdida de producción por perder un equipo: 28.125 \$/hora).

***Se incluye un sistema integral de herramientas de la industria 4.0: digitalización y monitorización total.*



Escenario 2: Sin penalización por producción. Se estima una demanda de transporte de gas en la nueva estación de Compresión PTS1 de: 270 MMCFD, la cual sería cubierta con las siguientes alternativas:

Opción 1: 3 moto-compresores CATA de 3.600 hp/unidad (configuración 2 de 3) para cubrir la demanda de transporte de gas de 270 MMCFD. En este caso al perder una unidad CATA, no se producirá penalización por falta de transporte de gas (capacidad promedio por día 120 MMCFD/unidad).

***Se incluyen sistemas básicos de monitorización en línea de variables más importantes.*

Opción 2: 2 compresores rotativos MOP de 13.410 hp/unidad (configuración 1 de 2) para cubrir la demanda de transporte gas de 270 MMCFD. En este caso al perder una unidad MOP, no se generará penalización por falta de transporte de gas (capacidad promedio por día 270 MMCFD/unidad).

***Se incluye un sistema integral de herramientas de la industria 4.0: digitalización y monitorización total.*

4.1. ESCENARIO 1: CON PENALIZACIÓN POR PRODUCCIÓN (DEMANDA DE TRANSPORTE DE GAS: 270 MMCFD)

A continuación se definen las características generales y datos de costos de las dos opciones a evaluar:

Datos	Opc. 1 CATA	Opc. 2 MOP
CI: coste inicial (inversión), [\$]	52.656.000	57.086.400 (*)
CO: costes operacionales, [\$/año]		
Operaciones	1.704.594	848.500
Lubricantes	131.701	0
Consumibles	459.680	89.334
Energía	3.898.383	2.524.000
CMP: costes mantenimiento preventivo, [\$/año]	643.850	343.650
CMM: costes mantenimiento mayor (overhaul), [\$]		
Año 5	2.162.162	450.000
Año 10	2.270.270	472.500
Año 15	2.383.784	496.125
Año 20	2.502.973	520.931
i: tasa de interés, [%]	16	16
T: período de vida útil esperada, [años]	20	20

(*) Aprox. 4.000.000 \$, tecnologías de la Industria 4.0

Tabla 1. Datos Económicos. Escenarios 1 y 2

Para la estimación de los costes generados por los eventos de fallos se utilizará el procedimiento propuesto por el modelo de ACCV de Woodward. Los datos de frecuencia de fallos (δ_f), de tiempos medios de reparación (MTTR) y de costos de penalización relacionados con los fallos (C_{pe}) son presentados en las tablas 2a y 2b.

Modos de falla	Frecuencia de fallos δ_f	Tiempo medio de reparación MTTR	Costes		
			Por Producción C_{pe1}	Por Materiales y mano de obra, C_{pe2}	Penalización Total, $C_{pe} = C_{pe1} + C_{pe2}$
			[fallos/año]	[hrs/fallo]	[\$/hr]
1. Compresor					
1.1. Cilindro	0,20	1.440	18.750	35,57	18.785,57
1.2. Válvulas	5,00	9	18.750	100,84	18.850,84
1.3. Gas Packing	1,00	11	18.750	74,46	18.824,46
1.4. Barras	0,20	1.440	18.750	2,46	18.752,46
1.5 Eq. Auxiliares	0,33	720	18.750	2,78	18.752,78
1.6 Bancadas	0,50	72	18.750	20,29	18.770,29
1.7 Estructural	2,00	1	18.750	40,00	18.790,00
1.8 Cruetas	0,20	1.440	18.750	3,08	18.753,08
2. Motor					
2.1 Cúlatas	0,33	72	18.750	141,91	18.891,91
2.2 Cilindros	0,33	72	18.750	47,75	18.797,75
2.3 Bancada	0,20	48	18.750	35,16	18.785,16
2.4 Chumaceras	2,00	24	18.750	56,32	18.806,32
2.5 Turbos	0,33	24	18.750	17,23	18.767,23
2.6 Accesorios	0,20	24	18.750	115,48	18.865,48
2.7 Estructural	2,00	1	18.750	40,00	18.790,00

Tabla 2a. Costes de fallos, mantenibilidad y confiabilidad. Escenario 1. Opción 1 (CATA)

Modos de falla	Frecuencia de fallos δ_f	Tiempo medio de reparación MTTR	Costes		
			Por Producción C_{pe1}	Por materiales & mano de obra C_{pe2}	Penalización Total, $C_{pe} = C_{pe1} + C_{pe2}$
			[fallos/año]	[hrs/fallo]	[\$/hr]
1. Motor					
1.1. Cojinetes Magnéticos	0,10	72	28.125	2.291,66	30.416,66
1.2. Sistema de Control (AMB system)	0,20	9	28.125	1.666,66	29.791,66
1.3 Accesorios y Cableado	0,10	11	28.125	454,45	28.670,45
1.4 Filtros refrigeración motor	0,33	24	28.125	125,00	28.250,00
1.5 Sistema Control (ABB-ACS-5000)	1,00	24	28.125	83,33	28.208,33
2. Compresor					
2.1 Turbina - compresor	0,10	120	28.125	1.125,00	29.250,00
2.2 Motor eléctrico	0,10	120	28.125	958,33	29.083,33

Tabla 2b. Costes de fallos, mantenibilidad y confiabilidad. Escenario 1. Opción 2 (MOP)

Con la información de las tablas 2a y 2b, se calculan los costes totales por fallo en valor presente (PTCP_f). El coste total por fallos por año (TCP_f) se calcula a partir de las ecuaciones (5) y (6); los costes totales por fallas en valor presente (PTCP_f) se calculan con la ecuación (7). A continuación se presentan los resultados de los costes totales por fallos de las dos opciones evaluadas:

Costes Totales por Fallo	Opc. 1 CATA	Opc. 2 MOP
TCP _f : costes total por fallo por año, [\$/año]	24.619.807,30	2.031.052,50
PTCP _f : costes total en valor presente (*), [\$]	145.966.960,50	12.041.787,10

(*) Valor presente para una tasa de interés $i=16\%$, y un periodo $T=20$ años

Tabla 3. Resultados de los costes por fallos. Escenario 1

A continuación se presentan los resultados totales del ACCV en valor presente de las Opciones 1 y 2 de este Escenario, incluyendo el impacto económico de los eventos de fallos.

Resultados - Costes en Valor Presente (tasa $i=16\%$, periodo $T=20$ años)	Opc. 1 CATA [\$]	Opc. 2 MOP [\$] (*)
CI: coste inicial (inversión)	52.656.000,00	57.086.400,00
CO: costes operacionales		
Operaciones	10.106.266,62	5.030.621,50
Lubricantes	780.834,27	0,00
Consumibles	2.725.369,58	529.647,07
Energía	23.112.892,57	14.964.394,40
CMP: costes mantenimiento preventivo	3.817.284,21	2.037.446,18
CMM: costes mantenimiento mayor (overhaul)		
Año 5	1.029.433,47	214.250,85
Año 10	514.632,98	107.108,00
Año 15	257.274,68	53.545,28
Año 20	128.616,40	26.768,27
PTCP _f (P): costes totales por fallos	145.966.960,50	12.041.787,10
CTCV(P): costes totales de ciclo de vida	241.095.525,40	92.091.968,74
PTCP _f (P) / CTCV(P): (costes totales por fallos / costes totales de ciclo de vida, [%])	61%	13%

(*) Inversión con aprox. 4.000.000 \$, en tecnologías de la Industria 4.0

Tabla 4. Resultados totales del ACCV. Escenario 1 (con penalización por producción)

RESUMEN DE RESULTADOS DEL ESCENARIO 1: SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN. ESTACIÓN “PTS1”. CON PENALIZACIÓN POR PRODUCCIÓN

Analizando los resultados económicos obtenidos en el ACCV (tabla 4), **la opción 2, sistema de compresión MOP que incluye herramientas integrales de diagnóstico y análisis de fallas de la Industria 4.0, se convierte en la mejor alternativa económica**, comparada con la opción 1 (sistema de compresión CATA). **El porcentaje de costos adicionales por agregar herramientas de digitalización y monitorización inteligente es del 14,2% del costo total de inversión inicial del sistema de Compresión MOP.** La diferencia económica entre ambas opciones es de **149.003.556,60 \$** (esta cantidad representa el

potencial ahorro por seleccionar la opción del sistema de compresión MOP). Un aspecto de vital importancia a ser considerado en este análisis, está relacionado con la evaluación de los costes totales por fallos (PTCP_f), al incluir esta categoría de costes en el proceso de evaluación económica, la misma se convierte en el factor económico de mayor peso dentro del proceso de comparación de las dos alternativas evaluadas (**la posible minimización de los costes totales por fallos, están relacionados en gran medida, por el uso eficiente que se le debe dar, a las herramientas de monitorización y diagnóstico inteligente propuestas por la Industria 4.0, incluidas en el sistema de compresión MOP**). En resumen, la opción 2 (sistema de compresión MOP), la cual resultó ganadora en el ACCV, la categoría de costes por fallos (PTCP_f) sólo representa el 13% de los costes totales de ciclo de vida, en comparación con la opción 1 (sistema de compresión CATA), en la cual, la categoría de costes por fallos (PTCP_f) representa el 61% de los costes totales de ciclo de vida.

4.2. ESCENARIO 2: SIN PENALIZACIÓN POR PRODUCCIÓN (DEMANDA DE TRANSPORTE DE GAS: 270 MMCFD)

A continuación se definen las características generales y datos de costos de las dos opciones a evaluar en este escenario.

La tabla 1, previamente presentada, resume los costos de inversión, operación, mantenimiento preventivo y mantenimiento mayor para ambas opciones.

Modos de falla	Frecuencia de fallos δ_f	Tiempo medio de reparación MTTR	Costes		
			Por Producción Cpe1	Por Materiales y mano de obra, Cpe2	Penalización Total, Cpe = Cpe1 + Cpe2
			[\$/hr]	[\$/hr]	[\$/hr]
	[fallos/año]	[hrs/fallo]			
1. Compresor					
1.1. Cilindro	0,20	1.440	0	35,57	35,57
1.2. Válvulas	5,00	9	0	100,84	100,84
1.3. Gas Packing	1,00	11	0	74,46	74,46
1.4. Barras	0,20	1.440	0	2,46	2,46
1.5. Eq. Auxiliares	0,33	720	0	2,78	2,78
1.6. Bancadas	0,50	72	0	20,29	20,29
1.7. Estructural	2,00	1	0	40,00	40,00
1.8. Crucetas	0,20	1.440	0	3,08	3,08
2. Motor					
2.1. Culatas	0,33	72	0	141,91	141,91
2.2. Cilindros	0,33	72	0	47,75	47,75
2.3. Bancada	0,20	48	0	35,16	35,16
2.4. Chumaceras	2,00	24	0	56,32	56,32
2.5. Turbos	0,33	24	0	17,23	17,23
2.6. Accesorios	0,20	24	0	115,48	115,48
2.7. Estructural	2,00	1	0	40,00	40,00

Tabla 5a. Costes de fallos, mantenibilidad y confiabilidad. Escenario 2. Opción 1 (CATA)

Para la estimación de los costes generados por los eventos de fallos se utilizará el procedimiento propuesto por el modelo de ACCV de Woodward. Los datos de frecuencia de fallos (δ_f), de tiempos medios de reparación (MTTR) y de costos de penalización relacionados con los fallos (Cpe) son presentados en las tablas 5a y 5b.

Modos de falla	Frecuencia de fallos δ_f	Tiempo medio de reparación MTTR	Costes		
			Por Producción Cpe1	Por materiales & mano de obra Cpe2	Penalización Total Cpe = Cpe1 + Cpe2
			[\$/hr]	[\$/hr]	[\$/hr]
	[fallos/año]	[hrs/fallo]			
1. Motor					
1.1. Cojinetes Magnéticos	0,10	72	0	2.291,66	2.291,66
1.2. Sistema de Control (AMB system)	0,20	9	0	1.666,66	1.666,66
1.3. Accesorios y Cableado	0,10	11	0	454,45	454,45
1.4. Filtros refrigeración motor	0,33	24	0	125,00	125,00
1.5. Sistema Control (ABB-ACS-5000)	1,00	24	0	83,33	83,33
2. Compresor					
2.1 Turbina - compresor	0,10	120	0	1.125,00	1.125,00
2.2 Motor eléctrico	0,10	120	0	958,33	958,33

Tabla 5b. Costes de fallos, mantenibilidad y confiabilidad. Escenario 2. Opción 2 (MOP)

Con la información de las tablas 5a y 5b, se calculan los costes totales por fallo en valor presente (PTCP_f). El coste total por fallos por año (TCP_f) se calcula a partir de las ecuaciones (5) y (6); los costes totales por fallas en valor presente (PTCP_f) se calculan con la ecuación (7). A continuación se presentan los resultados de los costes totales por fallos de las dos opciones evaluadas:

Costes Totales por Fallo	Opc. 1 CATA	Opc. 2 MOP
TCP _f : costes total por fallo por año, [\$ / año]	26.557,31	50.490,00
PTCP _f : costes total en valor presente (*), [\$]	157.454,08	299.347,17

(* Valor presente para una tasa de interés $i=16\%$, y un periodo $T=20$ años

Tabla 6. Resultados de los costes por fallos. Escenario 2

A continuación se presentan los resultados totales del ACCV en valor presente de las Opciones 1 y 2 de este Escenario, incluyendo el impacto económico de los eventos de fallos.

Resultados - Costes en Valor Presente (tasa $i=16\%$, período $T=20$ años)	Opc. 1 CATA [$\$$]	Opc. 2 MOP [$\$$] (*)
CI: coste inicial (inversión)	52.656.000,00	57.086.400,00
CO: costes operacionales		
Operaciones	10.106.266,62	5.030.621,50
Lubricantes	780.834,27	0,00
Consumibles	2.725.369,58	529.647,07
Energía	23.112.892,57	14.964.394,40
CMP: costes mantenimiento preventivo	3.817.284,21	2.037.446,18
CMM: costes mantenimiento mayor (overhaul)		
Año 5	1.029.433,47	214.250,85
Año 10	514.632,98	107.108,00
Año 15	257.274,68	53.545,28
Año 20	128.616,40	26.768,27
PTCP _f (P): costes totales por fallos	157.454,08	299.347,17
CTCV(P): costes totales de ciclo de vida	95.286.058,91	80.349.528,79
PTCP _f (P) / CTCV(P): (costes totales por fallos / costes totales de ciclo de vida, [%])	0,165%	0,373%

(*) Inversión con aprox. 4.000.000 \$, en tecnologías de la Industria 4.0

Tabla 7. Resultados totales del ACCV. Escenario 2 (sin penalización por producción)

RESUMEN DE RESULTADOS DEL ESCENARIO 2: SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN. ESTACIÓN "PTS1". SIN PENALIZACIÓN POR PRODUCCIÓN

Analizando los resultados económicos obtenidos en el ACCV (tabla 7), **la opción 2 (sistema de compresión MOP) se convierte en la mejor alternativa económica** comparada con la opción 1 (sistema de compresión CATA). **El sistema MOP incluye herramientas integrales de diagnóstico y análisis de fallas de la Industria 4.0, se convierte en la mejor alternativa económica, aunque en este escenario 2 (sin penalización), la diferencia de los ahorros por seleccionar el sistema de compresión MOP es menor que la presentada en el análisis anterior (escenario 1), en este caso, invertir en las tecnologías de digitalización y monitorización inteligente (herramientas de la Industria 4.0), no son el factor principal de minimización de costes, en este caso los factores de costes más importantes son los costes operacionales, específicamente el coste por consumo de energía del sistema MOP, es el factor de mayor impacto en la reducción de los costes en el ciclo de vida de los activos evaluados.** La diferencia económica entre ambas opciones es de **14.936.530,13 \$** (esta cantidad representa el potencial ahorro por seleccionar la opción 2).

En resumen, la opción 2 (sistema de compresión MOP), la cual resultó ganadora en el ACCV, la categoría de costes por fallos (PTCP_f) es un poco mayor con respecto a la opción 1 y representa el 0,373% de los costes totales de ciclo de vida, en comparación, con la opción 1 (sistema de compresión CATA), en la cual, la categoría de costes por fallos (PTCP_f) representa el 0,165% de los costes totales de ciclo de vida (a pesar que los costes por fallos de la opción 1 son menores con respecto a la opción 2, en términos de costes totales de ciclo de vida de la opción 2 (sistema de compresión MOP) representa la mejor alternativa técnico - económica.

En resumen, los resultados del proceso de ACCV para este caso de estudio, en los dos escenarios evaluados, con y sin penalización (escenario 1 y escenario 2), siempre resultó como mejor opción el sistema de Compresión MOP comparado con el sistema de Compresión CATA. **Se recomienda hacer un ACCV mucho más detallado del último caso presentado, con el fin de evaluar la renovación de los sistemas de moto-compresión actuales (CATA), por la tecnología de compresores rotativos (MOP), ya que, en función de la información técnico-económica tomada como referencia, los resultados obtenidos a nivel de costos totales de ciclo de vida de la tecnología de los sistemas de compresión MOP, resulta más rentable que la tecnología tradicional de moto-compresores recíprocos (CATA).**

5. CONSIDERACIONES FINALES Y ÁREAS FUTURAS DE TRABAJO

A partir de los resultados obtenidos del ejercicio anterior, es muy fácil comprender el verdadero impacto económico que pueden traer consigo los eventos de fallos de un sistema de producción, razón por la cual, es muy importante incluir el proceso de evaluación de la confiabilidad (comportamiento de fallos) propuesto por el modelo de Woodward e integrarlo con el proceso de evaluación económica (impacto económico de los eventos de fallos), todo esto, con el fin de optimizar la toma de decisiones (disminuir la incertidumbre) dentro de los procesos de evaluación, selección y justificación de compra y reemplazo de activos en la organización T-ENERGY.

El modelo propuesto de ACCV propuesto por Woodward, es usualmente utilizado en fases de diseño y selección de sistemas de producción, ya que el mismo proporciona estimaciones relativamente rápidas de costes y con un nivel mínimo de complejidad matemática, que pueden ayudar a orientar el proceso de selección (compra) de diferentes alternativas y/o reemplazo de activos. La principal limitación del modelo de Woodward está asociada con la forma de cálculo del impacto económico de la confiabilidad, ya que este modelo propone que se consideren frecuencias de fallos constantes a lo largo del ciclo de vida del activo a ser evaluado, lo cual, en la realidad no ocurre de esta manera ya que, normalmente, la frecuencia de fallos cambia a medida que van pasando los años por la influencia de diferentes factores (operaciones, mantenimiento preventivo, calidad de materiales, etc.).

La orientación de este informe, hacia el estudio y el análisis del factor Confiabilidad y su impacto en los costes, se debe a que gran parte del incremento de los costes totales durante el Ciclo de Vida útil esperado de un sistema de producción, es ocasionado en su mayoría, por la falta de previsión ante la aparición inesperada de eventos de fallos, escenario provocado básicamente por el desconocimiento y por la ausencia de una evaluación técnica en la fase de diseño de los aspectos relacionados con la Confiabilidad. Esta situación trae como resultado un incremento en los costes de totales de operación (costes que no fueron considerados en un principio) afectando de esta forma la rentabilidad del proceso de producción.

En el proceso de Análisis de los Costes a lo largo del Ciclo de Vida de un activo existen muchas decisiones y acciones que deben ser tomadas, siendo de interés particular para este trabajo aquellos aspectos relacionados con el proceso de mejoramiento de la Confiabilidad (calidad del diseño, tecnología utilizada, complejidad técnica, frecuencia de fallos, costes de mantenimiento preventivo/correctivo, niveles de mantenibilidad y accesibilidad), ya que estos, tienen un gran impacto sobre el coste total del ciclo de vida del activo, e influyen en gran medida sobre las posibles expectativas para extender la vida útil de los activos a costes razonables.

Finalmente, la aplicación objetiva de las técnicas de ACCV, permitirá que las organizaciones seleccionen de forma eficiente y con un menor nivel de incertidumbre sus activos físicos, contribuyendo a no caer en la simplicidad de seleccionar sus activos tomando en cuenta solo las tendencias actuales "la moda del momento", escenario que hoy en día está ocurriendo de forma reiterativa, sobre todo en el proceso de justificación de las diversas herramientas propuestas por la denominada Industria 4.0. Por estos motivos, es de suma importancia dentro del proceso de análisis de costos de ciclo de vida de los activos, evaluar y analizar detalladamente todos los aspectos relacionados con el impacto económico de los factores de la Confiabilidad y de la Mantenibilidad. En el futuro cercano, pensamos que las nuevas propuestas de evaluación de los Costes de Confiabilidad en los ACCV, aprovecharán el desarrollo en el área de las matemáticas y se utilizarán métodos tales como:

- Técnicas de la Industria 4.0: digitalización, internet de las cosas, monitorización inteligente, etc.) (Crespo et al., 2018, Crespo et al., 2014, González et al., 2018, Villar et al., 2018).
- Técnicas avanzadas de análisis estadístico de Confiabilidad, ver (Elsayed, 1982, Barlow, Clarotti and Spizzichino, 1993, Ireson, et al., 1996, Elsayed, 1996, Scarf, 1997, Ebeling, 1997 and Dhillon, 1999, Barringer, 1997, Barringer and Webber, 1996, and Kaminskiy and Krivtsov, 1998, Tejms, 1986, Karyagina et al., 1998, Bloch-Mercier, 2000 and Yañez et al., 2002, Parra y Crespo, 2015, Parra and Crespo, 2006).

Finalmente, estos métodos tendrán sus características particulares, ya que no es factible desarrollar una metodología única de ACCV que cubra todas las expectativas y exigencias técnicas. Sin embargo, es necesario incluir dentro de las metodologías actuales de ACCV, modelos que permitan estimar el impacto de la Confiabilidad, con el fin de poder disminuir el nivel de incertidumbre en el proceso de evaluación de los costes totales esperados en el ciclo de vida útil de un activo de producción.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Ahmed, N. U. (1995). A design and implementation model for life cycle cost management system. *Information and Management*, 28, 261-269.
2. Alting, L. (1993). Life-cycle design of products: a new opportunity for manufacturing enterprises. In *Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques*. A. Kusiak (ed.) (New York: Wiley), 1± 17.
3. Asiedu, Y. and Gu, P. (1998). Product lifecycle cost analysis: state of art review. *International Journal of Production Research*, Vol. 36 No. 4, 883-908.
4. Barlow, R.E., Clarotti, C.A. and Spizzichino, F. (1993). *Reliability and Decision Making*. Chapman & Hall.
5. Barringer, H. Paul and David P. Weber. (1996). *Life Cycle Cost Tutorial*. Fifth International Conference on Process Plant Reliability, Gulf Publishing Company, Houston, TX.
6. Blanchard, B. S. (1979). Life cycle costing - a review. *Terotechnology*, 1, 9± 15.
7. Blanchard, B.S. (2001). Maintenance and support: a critical element in the system life cycle. Proceedings of the International Conference of Maintenance Societies, May, Melbourne, Paper 003.
8. Blanchard, B.S. and Fabrycky, W.J. (1998). *Systems Engineering and Analysis*. 3rd ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
9. Benda, J., Narayan, R., and Sticklen, J. (1993). Use of expert systems for life cycle analysis. *Automobile Life Cycle Tools and Recycling Technologies SAE Special Publications*, 966 (Warrendale, PA: SAE), 53± 57.
10. Bloch-Mercier, S. (2000). Stationary availability of a semi-Markov system with random maintenance. *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 16, 219-234.
11. Boothroyd, G. (1994). Product design for manufacture and assembly. *Computer-Aided Design*, 26 (7), p.505± 520.
12. Creese, R. C., and Moore, L. T. (1990). Cost modeling for concurrent engineering. *Cost Engineering*, 32 (6) June, 23± 27.
13. Crespo A., González-Prida V., Gómez J., 2018. *Advanced Maintenance Modelling for Asset Management. Techniques and Methods for Complex Industrial Systems*. Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-58045-6, Germany.
14. Crespo, A., Macchi, M., Holgado, M., Fumagalli, M., Barberá, L. (2014). Cyber physical systems implementation for asset management improvement: A framework for the transition. *Journal of Manufacturing Technology Management*. Volumen 25, p. 568-598.
15. Daschbach, J.M., and Apgar, H. (1988). Design analysis through techniques of parametric cost estimation. *Engineering Costs and Production Economics*, 14, 87± 93.
16. Dewhurst, P., and Boothroyd, G. (1984). Design for assembly: automatic assembly. *Machine Design*, January 26, p.87± 92.
17. Dowlatshahi, S. (1992). Product design in a concurrent engineering environment: an optimization approach. *Journal of Production Research*, 30 (8), 1803-1818.
18. Durairaj, S. and Ong, S. (2002). Evaluation of Life Cycle Cost Analysis Methodologies. *Corporate Environmental Strategy*, Vol. 9, No. 1, p.30-39.
19. Elsayed, E. A. (1996). *Reliability Engineering*. Addison Wesley Longman INC, New York.
20. Fabrycky, W. J. (1987). Designing for the life cycle. *Mechanical Engineering*, January, 72± 74.
21. Fabrycky, W. J. and Blanchard, B. S. (1991). *Life Cycle Costing and Economic Analysis*. Prentice Hall, Inc, Englewood Cliff, New Jersey.
22. Glantsching, W. J. (1994). Green design: an introduction to issues and challenges. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology ± Part A*, 17 (4), 508± 513.
23. Goffin, K. (2000). Design for supportability: essential component of new product development. *Research-Technology Management*, Vol. 43 No. 2, March/April. p. 40-7.
24. Gonzalez-Prida, V., Zamora, J., Crespo Márquez, A., Villar-Fidalgo, L., De la Fuente, A., Martínez-Galán, P., Guillén, A. (2018). An overview on the obsolescence of physical assets for the defence facing the challenges of industry 4.0 and the new operating environments. *Safety and Reliability-Safe Societies in a Changing World*. P. 2959-2963
25. Ishii, K., Eubanks, C. F., and Di Marco, P. (1994). Design for product retirement and material life-cycle. *Materials and Design*, 15 (4), 225± 233.
26. Jovane, A., Atling, L., Armillotta, A., Eversheim, W., Feldmann, K., Seliger, G., and Roth, M. (1993). A key issue in product life cycle: disassembly. *Annals of the CIRP*, 42, 651± 658.
27. Kaminskiy M, Krivtsov V. (1998). *A Monte Carlo approach to repairable system reliability analysis. Probabilistic safety assessment and management*, New York: Springer; 1998. p. 1063-8.
28. Karyagina, M., Wong, W., Vlacic, L. (1998). Life cycle cost modelling using marked point processes. *Reliability Engineering & System Safety*, 59, p. 291-298
29. Keys, L. K. (1990). System life cycle engineering and DF X. *IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology*, 13 (1), p. 83± 93.
30. Kirk, S. and Dellisola, A. (1996). *Life Cycle Costing for Design Professionals*. McGraw Hill, New York, 6-57.
31. Kriwet, A., Zussman, E., and Seliger, G. (1995). Systematic integration of design for recycling into product design. *International Journal of Production Economics*, 38, p.15± 22.
32. Markeset, T. and Kumar, U. (2001). R&M and risk analysis tools in product design to reduce life-cycle cost and improve product attractiveness. *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 22-25 January, Philadelphia. p. 116-22.
33. Miyakawa, S., and Ohashi, T. (1986). The Hitachi new assemblability evaluation method (AFM). *Proceedings of the Ontario Conference on Product Design for Assembly*, Newport, RI, USA.
34. Navinchandra, D. (1991). Design for environmentability. *Design Theory and Methodology*, ASME, DE-31, 119± 125.
35. Noble, J.S., and Tanchoco, J.M.A. (1990). Concurrent design and economic justification in developing a product. *International Journal of Production Research*, 28 (7), 1225± 1238.
36. Parra, C., Crespo, A., Cortés, P. and Fygueroa, S. (2006). On the consideration of reliability in the Life Cycle Cost Analysis (LCCA). A review of basic models. *Safety and Reliability for Managing Risk*. Guedes Soares & Zio (eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 0-415-41620-5, p.2203-2214
37. Parra, C y Crespo A. (2015). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada en la Gestión de Activos*. INGEMAN, Sevilla, España, 203-226.
38. Ruff, D. N., and Paasch, R. K. (1993). Consideration of failure diagnosis in conceptual design of mechanical systems. *Design Theory and Methodology*, ASME, DE- 53, 175-187.
39. Scheuring, J. F., Bras, B., and Lee, K.-M. (1994). Significance of design for disassembly in integrated disassembly and assembly process. *International Journal of Environmentally Conscious Design and Manufacturing*, 3 (2), 21± 33.
40. Smith, C. and Knezevic, J. (1996). Achieving quality through supportability: part 1: concepts and principles. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 2 No. 2, p.21-9.
41. Smith, D. J., and Babb, A. H. (1973). *Maintainability Engineering*, Halsted Press.
42. Sullivan, J. L., and Young, S. B. (1995). Life cycle analysis/assessment. *Advanced Materials and Processes*, 147 (2), 37± 40.
43. Tejms, H.C. (1986). *Stochastic Modelling and Analysis*. Wiley.
44. Tipnis, V. A. (1993). Evolving issues in product life cycle design. *Annals of the CIRP*, 42 (1), 169± 173.
45. Villar-Fidalgo, L., Crespo Márquez, A., González Prida, V., De la Fuente, A., Martínez-Galán, P., Guillén, A. (2018). Cyber physical systems implementation for asset management improvement: A framework for the transition. *Safety and Reliability-Safe Societies in a Changing World*. CRC Editor, p. 3063-3069.
46. Weule, H. (1993). Life cycle analysis a strategic element for future products and manufacturing technologies. *Annals of the CIRP*, 42 (1), 181± 184.
47. Wilson, R. L. (1986). Operations and support cost model for new product concept development. *Proceedings of the 8th Annual Conference on Components and Industrial Engineering*, 128± 131.
48. Woodhouse, J. (1991). *Turning engineers into businessmen*. 14th National Maintenance Conference, London.
49. Woodhouse, J. (1993). *Managing Industrial Risk*. Chapman Hill Inc, London, 200-241.
50. Woodward, D. G. (1997). Life Cycle Costing - Theory, Information Acquisition and Application. *International Journal of Project Management*, 15(6). p. 335-344.
51. Yañez, M., Joglar, F., Mohammad, M. (2002). Generalized renewal process for analysis of repairable systems with limited failure experience. *Reliability Engineering & System Safety*, 77. p. 167-180.
52. Zussman, E., Kriwet, A., and Seliger, G. (1994). Disassembly-oriented assessment methodology to support design for recycling. *Annals of the CIRP*, 43 (1), 9± 14.
53. Züst, R., and Wagner, R. (1992). Approach to the identification and quantification of environmental effects during product life. *Annals of the CIRP*, 41 (1), 473± 476.

¿Qué aprenderas?

1. Conceptos y Metodologías de la Confiabilidad Humana
2. Confiabilidad Humana para mejora de Confiabilidad de los Procesos
3. Modelo General para el estudio de la Confiabilidad Humana
4. Diagnostico Cualitativo y Cuantitativo. Causas y Jeraquización
5. Técnica HEART, SHARP, SLIM, THERP, ATHEANA y otras
6. Desempeño Individual y Organizacional
7. Plan de Acción, Soluciones y Mejora. Generación de valor en el Ciclo de Vida de los Activos

05 - 26 Agosto

CURSO EN LÍNEA

Confiabilidad
Humana



PREDICTIVA21

LISTA DE 130 MODOS DE FALLA POR LUBRICACIÓN Y ENGRASE DE RODAMIENTOS QUE AÚN NO CONOCES



LISTA DE 130 MODOS DE FALLA POR LUBRICACIÓN Y ENGRASE DE RODAMIENTOS QUE AÚN NO CONOCES

NORIA



Quizás uno de los componentes más utilizados en la industria son los **rodamientos**. Los encontramos en la mayoría de los componentes, desde motores eléctricos, cajas de engranajes y sistemas de transportación. Básicamente, si un eje necesita girar, la mayoría de las veces es soportado por un rodamiento.

La **lubricación de precisión es indispensable** para su confiabilidad. Lamentablemente, existen diversos modos de falla relacionados con la lubricación de rodamientos que disminuyen en gran medida su vida útil.

Este artículo lista **130 modos de falla relacionados con lubricación** que podrían estar matando sus rodamientos, o al menos, recortando significativamente su vida en servicio.

DESCARGA AQUÍ

PREDICTIVA 21

Revista Digital de Mantenimiento,
Confiabilidad y Gestión de
Activos



Descubre nuevos enfoques y poderosas herramientas gerenciales para obtener el mejor resultado en la Industria del Mantenimiento a través de las experiencias y los conocimientos de los mejores en el ramo.