

PREDICTIVA 21



WIRAM

Women in Reliability
and Asset Management

EL LADO FEMENINO DEL MANTENIMIENTO

Modelos matemáticos de cálculo de criticidades de activos industriales

Modelamiento de Confiabilidad Utilizando MINITAB Como Herramienta de Análisis.

Gestión del Mantenimiento a Generadores eléctricos

La Inteligencia Artificial para el mantenimiento 4.0



Índice

- 3** **Editorial**
- 6** **Entrevista a integrantes de WIRAM**
Maura Abad, Johanna Valera y Vestanna McGuigan
por Andrés González
- 21** **La Inteligencia Artificial para el mantenimiento 4.0. El aprendizaje automático no supervisado aplicado a la optimización del programa de mantenimiento basado en la vida útil remanente**
Eduardo Calixto
- 32** **RCM2**
Carlos Villegas
- 36** **Cálculo de la viscosidad del aceite básico en la grasa para la lubricación de rodamientos**
José Páramo
- 37** **Modelamiento de Confiabilidad Utilizando MINITAB Como Herramienta de Análisis.**
Jaime Rigoberto Díaz Fernández
- 43** **Modelos matemáticos de cálculo de criticidades de activos industriales**
Marc Gardella
- 51** **Gestión del Mantenimiento a Generadores eléctricos aplicando el método de Mantenimiento Basado en la condición**
Ángel Javier Aranda Carmona
- 58** **Alta eficiencia en las zonas de carga de las fábricas con SMED**
Richard Zamora Yansi
- 62** **El CEO de Emerson, David N. Farr, se jubila;**
Noticia por Emily Caine
- 66** **Vibraciones mecánicas. Herramienta de analisis del comportamiento dinámico de equipos**
Manuel Hernández Carmona

Editorial



Enrique González

Editor y CEO de Predictiva21

Más acercamientos

Iniciamos este 2021 con mucho optimismo y ganas de llevar adelante nuevas ideas. La actual “normalidad” nos ha obligado a buscar alternativas de cooperación y colaboración. Como a muchas otras empresas y grupos, el nuestro también se ha visto afectado. Es gracias a el conjunto de profesionales que conforman esta comunidad que hemos logrado dar continuidad a este proyecto que inició en 2013.

En este año planeamos hacer más acercamientos a las organizaciones e instituciones que se encargan de fomentar el mantenimiento, la confiabilidad y la gestión de activos. También buscaremos dar a conocer y compartir la experiencia de aquellos líderes que se encuentran rompiendo los paradigmas, tanto aquellos que representan la cara visible de la industria, como a quienes se encuentran tras bambalinas.

En esta Edición 34 conversamos con algunas de las integrantes de WIRAM (Women in Reliability and Asset Management), Maura Abad, Vestanna Mcguigan y Johanna Valera, quienes componen el primer grupo de personas entrevistadas que estaremos exponiendo en nuestras próximas ediciones.

Excelentes articulistas nos han compartido su trabajo, como siempre muy diverso, profesional y educativo. Desde Brasil Eduardo Calixto con un grán artículo de Inteligencia Artificial para el Mantenimiento 4.0, desde España Marc Gardella con un gran paper que plantea un modelo matemático para definir la criticidad de los activos y de la Universidad politécnica de Trujillo Manuel Hernandez explicando como afectan las vibraciones mecánicas en el comportamiento dinámico de los equipos. Así como estos, otros excelentes colaboradores nos acompañan desde diversas partes del mundo.

Agradecemos a quienes día a día nos comparten su mensaje de agradecimiento por la labor de Predictiva21. Este trabajo es un logro en conjunto. El agradecimiento es nuestro.

DIRECTORIO

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

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

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

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

CMMS /EAM. 100% MÓVIL
FÁCIL DE USAR Y RÁPIDO
DE IMPLEMENTAR.



—
**Optimice la gestión
de mantenimiento
para que todo
funcione.**

www.consuman.com
ventas@consuman.com

SDT Training es nuestra plataforma online de entrenamiento en confiabilidad dedicada a enseñar y a empoderar a los ingenieros de confiabilidad a través de nuestros cursos, webinaris gratis, artículos, y comentarios en blogs.

Esenciales de Ultrasonido™ 1 es un curso de 25 módulos llenos de información y recomendaciones útiles para cualquier nivel de técnico de monitoreo de condición; pero particularmente útil para aquellos comenzando su jornada en la confiabilidad

Quien Deben Tomar Esenciales de Ultrasonido™

- * Gerentes de Planta
- * Supervisores de Turno
- * Inspectores de Ultrasonido
- * Planeadores de Mantenimiento
- * Lideres de Confiabilidad
- * Técnicos de Monitoreo de Condición
- * Técnicos
- * Mecánicos
- * Electricistas
- * Operadores



Haga clic abajo en el link para registrarse y aprender mas. Utilice el codigo **Predictiva21** para el **50%** de descuento en **Esenciales Ultrasonido™ 1!**



Ultrasound Solutions

escuchar mas





WIRAM

Women in Reliability
and Asset Management



WIRAM: El lado femenino de la Ingeniería en Mantenimiento

Las ingenierías y las ciencias duras en general siempre se han asociado con actividades masculinas. La presencia de científicos e investigadores, a lo largo de la historia, recoge la amplia presencia de hombres y muy pocas mujeres. Evidentemente, los roles y las diferencias sociales de otras épocas, la imposibilidad de las mujeres de acceder al estudio y su reducción a roles caseros y de género, incidió notablemente en la tardía aparición de la mujer en el ámbito científico.

WIRAM es una organización norteamericana que agrupa a las damas que hacen vida en el ámbito de la ingeniería, y nos referimos a ingenierías “duras”, como mantenimiento y Asset Management.

Conozcamos algunas de las integrantes de WIRAM



Maura Abad

Lider de relaciones Globales
para Reliabilityweb www.reliabilityweb.com

Directora del Grupo Mujeres en
Confabilidad y Gestión de Activos
para AMP Association of Asset Management
Professionals www.maintenance.org

Lider de relaciones Globales
para Reliability Leadership Foundation
www.reliabilityleadership.org



¿Cómo entraste en el mundo de la confiabilidad?

En el año 2013 conecté con Terrence O'Hanlon a través del Ing. Henry Ellmann, el cual nos presentó. Terrence me comentó de la labor que Reliabilityweb.com realiza para la comunidad de Confiabilidad y Gestión de Activos y fui a Fort Myers desde New York donde estaba viviendo y decidí que quería formar parte de esta comunidad, puesto que mi pasión por los idiomas es muy grande, para mi aprender el lenguaje de la confiabilidad fue muy atractivo.

¿Cuál ha sido tu experiencia al trabajar en Reliabilityweb?

En Reliabilityweb nuestra misión es que los profesionales trabajen de forma segura, exitosa y sostenible. Con orgullo y felicidad indico que ya tengo 8 años en este campo, el cual me ha permitido conocer líderes y profesionales de alto nivel alrededor del mundo. Adicionalmente he podido presenciar en el campo las actividades y el día a día de la vida de un profesional en Confiabilidad.



¿Quién ha sido tu inspiración profesional?



Cuando me hacen esta pregunta pienso inmediatamente en el líder y mi mentor Terrence O'Hanlon. De él he aprendido que la sinergia es la fuerza para alcanzar grandes objetivos, la perseverancia, constancia y seguir trabajando para lograr 0 muertes en nuestra industria.

¿Cuáles son los objetivos y las actividades actuales de WIRAM?

La misión del grupo de interés especial de mujeres en confiabilidad y gestión de activos (WIRAM) es aumentar la diversidad en el liderazgo de la confiabilidad y la gestión de activos, además de fomentar la participación de las mujeres en la industria.

VALORES

- Integridad
- Honestidad
- Respeto
- Comunicación
- Ayuda y colaboración

Tenemos webinarios todos los meses que inspiran con temas positivos y que activan a los participantes a tomar acción inmediata. Para ver los webinarios (en Inglés) pasados <https://www.maintenance.org/g/wiram/pages/wiram-webinars>

Adicionalmente este año en los eventos de MaximoWorld 2021 https://reliabilityweb.com/maximoworld-2020?publisher_status=open

y La Conferencia Internacional de Mantenimiento nos estaremos reuniendo cara a cara <https://reliabilityweb.com/events/featured/the-international-maintenance-conference-co-located-with-the-reliability-co>





¿Cómo planean lograr mayor participación latinoamericana en WIRAM en este 2021?

En el 2021 vamos a reiniciar webinars en español. Los teníamos antes y ahora vamos a volver con más contenido.

Nuestra misión es empoderar a las mujeres de todo el mundo para que comprendan la importancia de la gestión de activos y la confiabilidad y su papel en la sociedad y cómo utilizar este conocimiento para aplicarlo en las mejores prácticas, y el logro de la excelencia operativa.

<https://www.maintenance.org/g/wiram/pages/convie-rtete-en-una-ora-dora-de-wiram>

¿Está interesado en convertirse en orador?

¡Esta es tu oportunidad de compartir un tema especial con el mundo!

Hablemos un poco acerca de la vida ¿Cuál es tu sueño?

Mi mayor sueño es poder hablar 13 idiomas. Sigo en este viaje. En la actualidad estudio 5 idiomas, yo misma me presiono y me incentivo a mi misma a seguir, pues al final para poder lograr las cosas hay que esforzarse. Nada vendrá con solo pensar o soñar, hay que tomar acción y hacerlo.

¿Qué es lo que más disfrutas del día a día? ¿Cuáles son tus pasatiempos?

Disfruto caminar con mi novio, jugar con mi ovejero inglés Rufo London y mi maltese Baby Twinkles, aprender a tocar batería, cantar karaoke, hablar con mi familia en Cuba, Ecuador y partes de USA, estar en contacto con mis amigos, aprender sobre meditación, estudiar sobre cultura, museos y catedrales del mundo, pero sobre todo valoro todos los detalles del día a día, vivir en el presente y agradecerle a Dios por estar con vida.





Johanna Valera

Ingeniero mecánico y de confiabilidad
senior en Inter Pipeline

¿Cómo entraste en el mundo de la confiabilidad?

Soy una profesional motivada a los retos. Siempre he estado en la búsqueda de desafiarme a mí misma de alguna manera, y todo esto empezó cuando decidí convertirme en Ingeniero Mecánico. Al comienzo de mi carrera profesional en la industria del Oil&Gas mi rol fue Ingeniero de planta lo cual me brindó una percepción amplia para conocer muchos procesos y equipos, luego en algún momento me promovieron a un puesto que requería de más experiencia y lo acepté. Era un departamento nuevo dentro de la compañía cuando ya la confiabilidad comenzó en muchas compañías globales a ser tendencia, iniciamos desde cero aplicando técnicas de confiabilidad y analizando datos para evaluar equipos y procesos. Fue un verdadero reto para mí como profesional.

¿Nos puedes contar algún suceso de tu vida que te haya guiado a ser quién eres?

El proceso de mudarme a un país nuevo, ser inmigrante y dejar mi país de origen para comenzar una nueva vida creo que puede ser uno de los retos más grandes que cualquier persona pueda tener. Esa decisión cambió mi vida y me hizo reflexionar y aprender cosas nuevas en muchos aspectos de mi vida profesional y personal.

Cuéntanos un poco acerca de tu participación en WIRAM. ¿Qué rol cumples?

He sido parte de WIRAM por los últimos 5 años. He participado activamente y haciendo seguimiento a las publicaciones, conferencias y webinars. También tuve la oportunidad de ser presentadora en una ocasión. Ser parte de WIRAM me ha permitido promover la diversidad de género y de origen en el lugar de trabajo, nos permite evolucionar hacia una sociedad más inclusiva, mejor informada y con valores.

¿Qué es lo que más disfrutas de tu trabajo? ¿Cuál sientes que es tu mayor contribución?

Lo que más disfruto es que elegí un área que me motiva y mantiene activa a investigar nuevas tendencias, tecnologías en la industria y de alguna manera me permite dejar una huella para que más mujeres confíen en su potencial y habilidades para elegir una carrera con aplicación en confiabilidad y mantenimiento. Cambiar paradigmas y percepciones es un trabajo de tiempo y dedicación. Lograr la paridad de género en esta área de la industria es una tarea difícil pero no imposible.

Citando a Confucio: "Elige un trabajo que te guste y no tendrás que trabajar ni un día de tu vida"

¿Algún trabajo que recuerdes que haya sido un verdadero reto?

En mi trayectoria profesional me he enfrentado a muchos trabajos con diferentes niveles de responsabilidad, pero dentro de los más exigentes podría mencionar el de hacer efectivo el cambio cultural y la percepción de la confiabilidad dentro de las organizaciones, es una experiencia que estoy segura que todos los profesionales de esta área se han enfrentado en algún momento. Es una meta que requiere tiempo, habilidades de comunicación para hacer llegar el mensaje y resultados tangibles para poder ser aceptado.

¿Cuál ha sido tu mayor éxito como profesional?

Haber alcanzado mi designación como Professional Engineer en Canadá, mi reconocimiento como Senior en el área de confiabilidad y el reconocimiento de la empresa, compañeros de trabajo como excelente profesional.

Vestanna McGuigan

Ingeniero de Confiabilidad en Mars

CRL, CMRP

Impulsando un cambio cultural hacia
la confiabilidad y el mantenimiento
proactivo en Mars Topeka.



¿Cómo llegaste al mundo de la confiabilidad?

Después de completar mi título en negocios, estaba perdida e insegura acerca de dónde quería llevar mi carrera. Me incorporé a una agencia de trabajo temporal y el primer puesto que me asignaron se tituló; Coordinador de mantenimiento. Me enamoré del mantenimiento de inmediato. A veces podía ensuciarme las manos y ayudar a realizar el mantenimiento preventivo, pero lo que más me gustaba eran los aspectos de resolución de problemas del puesto. Hay algo intrínsecamente satisfactorio en identificar una causa raíz, impulsar la mejora y luego observar cómo se desarrollan los resultados.

El primer desafío en el que trabajé al principio de mi carrera de mantenimiento fue mejorar el cumplimiento del mantenimiento preventivo. Para ello, realicé un análisis profundo de la causa raíz y pasé mucho tiempo recopilando datos y hablando con los técnicos. La dificultad radicaba en el tamaño del sitio y la falta de organización en los tiempos de PM. Los técnicos pasaban la mayor parte del día tratando de encontrar equipo o mudándose a diferentes lugares dentro de la instalación. El aprovechamiento de la programación logística y una descripción mejorada de la ubicación de los activos impulsó las tasas de cumplimiento de PM del 35% al 75% en promedio en un solo año. No solo eso, sino que los técnicos estaban más felices y eran más efectivos. El resultado de su final fue la aceptación casi inmediata de cualquier otro proyecto de confiabilidad que pudiera mejorar su vida laboral.

Siguieron más proyectos, pero después de ese primer proyecto, me enamoré de la fiabilidad. Sabía que eso era lo que quería seguir haciendo durante el mayor tiempo posible: resolver los misterios, mejorar la eficiencia de los procesos y la confiabilidad del equipo y aumentar el compromiso de los asociados. Todo encajaba de forma natural con mi personalidad y se ha convertido en mi pasión.

¿Cuál ha sido su mayor reto y éxito como profesional?

Si bien he tenido muchos desafíos durante mi carrera, creo que el desafío profesional más desafiante y más gratificante fue aprobar el examen Certified Maintenance and Reliability Professional (CMRP). No tenía ningún curso de formación que pudiera tomar para acelerar mis estudios para el examen, así que lo hice a la antigua. Leí libros, tomé notas, hice preguntas en toda mi red y aproveché los seminarios web en línea del sitio web SMRP.

Después de meses de auto-estudio, tomé el examen en un centro de exámenes a una hora en coche de mi casa. Me perdí varias veces a lo largo del camino y estaba aterrorizada de llegar tarde. Estoy irremediablemente desafiada geográficamente. De alguna manera, después de un sprint a través de un campus universitario, me las arreglé para hacerlo con sólo segundos de sobra. Mi corazón todavía corría mientras entraba en el intimidante y tenuemente iluminado centro de pruebas vacío y se asentaba en el terminal de la computadora, solo en el vasto espacio. Terminé el examen temprano y me sentí asustada porque todavía me quedaba tiempo. Revisé cada pregunta y pensé en varias de ellas. Finalmente, tuve que admitir que había completado el examen y espere lo mejor, así que lo entregue.

Salí del centro y caminé miserablemente de regreso a mi coche, esperando que había reprobado el examen. Toda mi carrera, he sufrido de dudas, algo a menudo referido como síndrome del impostor. Mi teléfono hizo ping que tenía un correo electrónico tan pronto como estaba en el coche. Lo leí cinco veces antes de que empezara a tener sentido. Había aprobado el examen en mi primer intento. Todavía estoy orgullosa de este logro y ahora animo a otros a ponerse a prueba de manera similar, incluso llegando a hacer sugerencias cuando piden ayuda. La certificación tiene una manera de proporcionar validez y orgullo a su trabajo y hacer que sea más buscado dentro de su industria, sea lo que sea.

¿Cómo es un día de trabajo para Vestanna en la fábrica de Topeka?

Una de las cosas que más me gusta de mi trabajo es que cada día es un poco diferente. La libertad es un principio que valoramos mucho en Mars, uno de los cinco principios básicos, que también incluye: Calidad, Responsabilidad, Eficiencia y Mutualidad. Estas no son solo palabras en las

paredes, sino que son nuestros valores fundamentales y la forma en que tomamos decisiones todos los días. Esa libertad me permite lanzarme a proyectos y ayudar a otros de formas que probablemente no podría hacer en otro lugar. Siento que tengo mucho control sobre mi destino.

Algunos días, paso mucho tiempo en reuniones para compartir información o desarrollar planes de acción para problemas. La comunicación es vital para mí, y con catorce subordinados directos y una variedad de proyectos que ocurren al mismo tiempo, paso mucho tiempo hablando y enviando correos electrónicos. También imparto capacitación sobre una variedad de temas, lo que significa aún más tiempo para hablar.

Una vez al mes, realizo un evento de optimización de activos. Con un equipo pequeño y multifuncional, seleccionamos un activo o un sistema pequeño y lo dividimos en componentes manejables. Luego, mejoramos el cuidado de ese activo o sistema, mejorando o agregando tareas y frecuencias preventivas o predictivas o actualizando los requisitos de limpieza o las tareas operativas. Hemos estado trabajando en el sitio desde 2017. Las mejoras en nuestra confiabilidad han sido muy beneficiosas.

También soy miembro de varios equipos que se enfocan en mejorar la confiabilidad de varias maneras. Pertenezco al pilar del mantenimiento progresivo y recientemente asumí un proyecto relacionado con el mantenimiento predictivo que ayudará a los sitios de Mars Wrigley en todo el mundo. Ayudo con el presupuesto, la planificación del mantenimiento, las actividades del almacén como la optimización de MRO e incluso las actividades de las 5S para el equipo técnico. Me pongo muchos sombreros, como dice el refrán.

Además de esas cosas, me encanta el mantenimiento predictivo. Reviso informes de análisis de vibraciones, ayudo a los asociados a aprender sobre termografía infrarroja e inspecciones de ultrasonido, e incluso realizo verificaciones en ocasiones. La termografía es mi favorita de las herramientas de mantenimiento predictivo. He estado trabajando con nuestro grupo de seguridad global para ayudar a los sitios de Mars a implementar la detección febril infrarroja para proteger a nuestros asociados de la propagación de enfermedades como COVID-19. El proyecto de detección febril ha sido único debido a la cantidad de personas nuevas con las que me he conectado y he aprendido sobre nuevas culturas.



Pensamos que una parada de mantenimiento no planificada de Mars Topeka puede representar miles de dólares en pérdidas. Desde tu espacio, ¿cómo contribuyes a evitar que esto suceda?

En Mars, nos gusta decir: “El mundo que queremos mañana comienza con cómo hacemos negocios hoy”. Nuestra mentalidad proactiva se evidencia en muchos aspectos de nuestro día a día. Como asociados, se nos respalda y alienta plenamente a ser proactivos. Nos tomamos muy en serio las paradas no planificadas. Para prevenirlas, aprovechamos los eventos de optimización de activos, la tecnología predictiva, las inspecciones visuales y las tareas tradicionales de mantenimiento preventivo basadas en el tiempo para mejorar el cuidado de los activos de forma proactiva. Analizamos cada avería importante utilizando herramientas estandarizadas para determinar la causa raíz e implementar las medidas correctivas. Trabajamos continuamente para reducir las pérdidas.

Es un momento emocionante para trabajar en Mars Wrigley mientras lanzamos nuestra versión de TPM, que llamamos Mars Supply Excellence o MSE. Estamos haciendo un trabajo emocionante para estandarizar los procesos en todos los sitios y presionar a cada sitio para que conduzca a cero pérdidas y a cada equipo de mantenimiento para que cambie de reactivo a proactivo. Tengo la suerte de ser parte del flujo de trabajo de MSE. Además, tengo la bendición de tener un equipo de personas dedicadas y trabajadoras que comparten mi pasión por la confiabilidad en diversos aspectos de mantenimiento, incluida la planificación y programación, la capacitación, la gestión del almacén, la calibración y el análisis de confiabilidad. Cada miembro del equipo juega un papel vital a nivel local y muchos de ellos trabajan con otros sitios de Mars para compartir las mejores prácticas y honrar nuestra mentalidad de mejora continua.

Tuviste una transición profesional: del diseño gráfico a la ingeniería. ¿Crees que este lado humano y artístico complementa el pensamiento científico que aplicas día a día en tu trabajo?

Existe un equilibrio entre arte y confiabilidad. Para mí, el equipo confiable es hermoso, y el proceso de construir esa confiabilidad es una forma de arte. Muchas herramientas predictivas tienen su propia belleza. Los momentos más emocionantes son cuando alcanzo a otro ser humano y veo la luz de la comprensión en sus ojos cuando se dan cuenta de que los esfuerzos de confiabilidad no son solo sobre el resultado final o el costo, sino que los esfuerzos también los ayudan en sus tareas diarias. Cuando otra persona se da cuenta de que juega un papel vital en la confiabilidad de su sitio, es un momento mágico.

Ese equilibrio también crea un proceso de pensamiento único en el que la lógica y la razón pueden alinearse con la filosofía y la estética. En ocasiones, plantea desafíos en la toma de decisiones porque puedo ver los problemas desde múltiples perspectivas. Tengo que flexionar mi punto de vista para llegar a una decisión final que tenga más sentido para la situación, nuestros objetivos comerciales y nuestros principios.

Mi experiencia artística ha sido fundamental en mi amor por la termografía, una tecnología que combina la ciencia y el arte en una poderosa herramienta de predicción. Disfruto de obtener imágenes de fallas pendientes porque sus firmas generalmente se evidencian mediante impresionantes gradientes térmicos que irradian desde el punto de falla en una ola tras otra de color. Puedo llevar esas imágenes a cualquiera, y ellos pueden presenciar la falla de una manera visual y casi intuitiva que no es posible con la mayoría

de las otras herramientas predictivas.

Más allá de esas cosas, encuentro que tener el conjunto de habilidades de diseño gráfico mejora mi capacidad para comunicar, presentar y entrenar de una manera más atractiva visualmente. En estos días, una de mis actividades favoritas es crear dibujos animados para explicar aprendizajes y procesos críticos. Encuentro que la animación tiende a ser más atractiva que las presentaciones tradicionales de PowerPoint y me permite acercarme a los asociados en cualquier momento del día o en cualquier lugar sin estar físicamente presente. Mi experiencia creativa es, sin duda, beneficiosa para mis esfuerzos de confiabilidad.

¿Por qué te uniste a WIRAM? ¿Qué significa para ti?

Al principio de mi carrera de mantenimiento, en mis días de Big Heart Pet Brands, ni siquiera sabía que había una palabra para lo que estaba haciendo. Mi gerente apoyó mis iniciativas y desarrollo; un día, me entregó un folleto para The Reliability Conference. Mientras leía el folleto, me di cuenta de que era un profesional de la confiabilidad y me tranquilizó tener finalmente una etiqueta para mí. Había un idioma entero para mis esfuerzos y quería desesperadamente aprender a hablarlo. Estaba muy emocionada de hablar con otros profesionales que estaban librando las mismas batallas y de ampliar mis conocimientos.

Mientras estaba en la conferencia, asistí a una cena con WIRAM, y fue como si encontrara a mi tribu perdida, un grupo de personas que había estado buscando sin siquiera saber que las había estado buscando. Aquí había mujeres y aliados, como yo, peleando la buena batalla de la confiabilidad y la gestión de activos en un campo dominado por hombres. Además de las batallas diarias relacionadas con los roles, todos habíamos enfrentado diversos grados de prejuicio e incluso acoso basado solo en nuestro género.

El mundo ha recorrido un largo camino en términos de acoger la diversidad. Para algunos de nosotros, el camino ha sido largo y accidentado. Espero que los problemas relacionados sigan disminuyendo, y aplaudo a Mars Wrigley por dar grandes pasos para mejorar la inclusión y la diversidad dentro y fuera de nuestra empresa. La diversidad es fundamental en el lugar de trabajo porque proporciona un espectro completo de experiencias e ideas, sin las cuales se ralentiza el progreso y se limita la innovación. Ahora más que nunca, necesitamos personas que puedan pensar fuera de la caja.

Me uní a WIRAM inmediatamente y he sido un miembro orgulloso desde esa primera cena. Unirme a WIRAM desvaneció todas esas veces que me había sentido solo y me brindó una sólida red de nuevos amigos y amigas que aún no había conocido con los que podía compadecerme, comparar y aprender. WIRAM ha hecho maravillas para mi desarrollo, tanto personal como profesional. Me sacaron de mi zona de confort introvertida y me animaron a compartir mis aprendizajes con el resto del mundo. Me han ayudado a convertirme en una negociadora más asertiva y defensora de mis derechos. Sin ellos, nunca me hubiera convertido en un orador. Sin convertirme en oradora, no estoy seguro de hacia dónde habría ido mi carrera. Aún así, sé que los resultados son una mayor confianza personal y la capacidad de buscar ayuda cómodamente cuando la necesito sin temor a represalias o alteración de la reputación de mi industria.

¿Cuál ha sido el mejor día de tu vida y por qué?

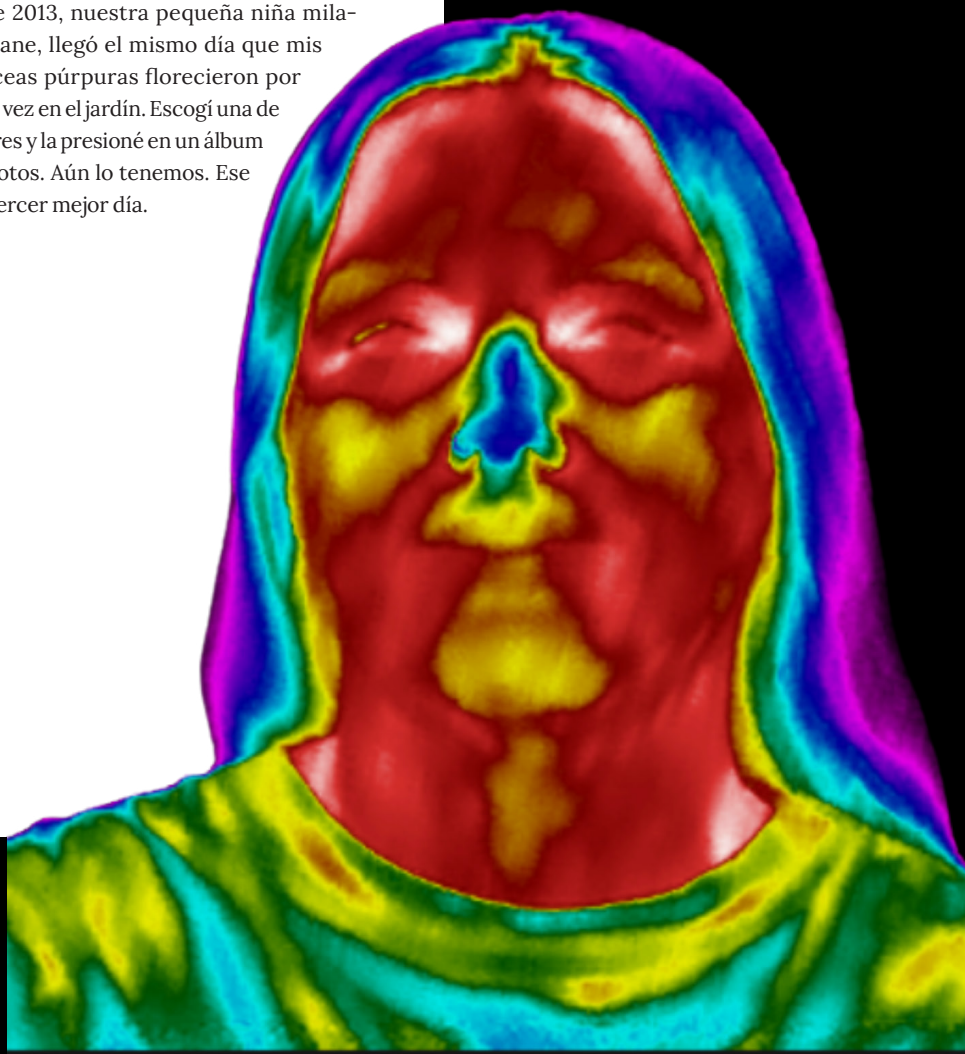
Espero que esta pregunta esté relacionada con los negocios y tengo muchos momentos de orgullo que podría compartir desde una perspectiva profesional. En cambio, les diré que he tenido tres mejores días, y cada uno fue muy personal. En septiembre de 2003, mi hijo, Edward, o como lo llamamos, Eddie, nació en un hospital en una pequeña ciudad en el noreste de Kansas. Interrumpió un torneo de golf porque hubo

complicaciones que requirieron apoyo médico adicional. Mi vida nunca fue la misma después. Donde anteriormente había estado trabajando en roles de salario mínimo y me las arreglaba, de repente tuve un pequeño ser humano que dependía únicamente de mí para su bienestar. Con este hermoso niño como mi motivador, regresé a la escuela, escapé de la inercia del pequeño pueblo y comencé a construir una vida para nosotros.

Mientras asistía a la universidad, conocí a un hombre llamado Brent, que tenía un hijo pequeño llamado Sheamus. Brent estaba tratando de hacer un mundo mejor para ellos dos. Teníamos mucho en común. Una amistad creció a través de nuestros estudios, y en mayo de 2012, tuve el mejor día número dos y me casé con él. Nuestras dos familias pequeñas se fusionaron para formar una familia más grande y ahora tenía dos hijos. Todos hemos estado juntos desde entonces, apoyándonos y animándonos unos a otros.

Debido a las complicaciones de mi primer hijo y los problemas médicos subyacentes, me habían dicho que no podía tener más hijos. Mi esposo y yo decidimos intentarlo de todos modos cuando aún éramos jóvenes. Nos gusta bromear y decir que queríamos que un niño nos recordara por qué una vez nos habían gustado los niños. En junio de 2013, nuestra pequeña niña milagrosa, Jane, llegó el mismo día que mis equinaceas púrpuras florecieron por primera vez en el jardín. Escogí una de esas flores y la presioné en un álbum de sus fotos. Aún lo tenemos. Ese fue mi tercer mejor día.

La termografía es mi herramienta favorita del mantenimiento predictivo.





ÚNASE A NUESTRA RED WIRAM

Sea parte de un grupo de colegas profesionales
Expanda su círculo de conexiones y contactos
Obtenga oportunidades de liderazgo en su grupo local
Desarrolle habilidades y cualidades de liderazgo
Participe mensualmente en conferencias virtuales para aumentar sus conexiones
Sea parte de mesas redondas en eventos de la industria
Reciba publicaciones en liderazgo intelectual

Para unirse al grupo WIRAM

<https://www.maintenance.org/pages/join-wiram>

[ver en sitio web](#)



Fundamentos Técnicos de Tribología y Lubricación

~~\$264.00~~ \$185.00 USD



Sistemas de Indicadores (KPI) para Evaluar la Gestión del Mantenimiento

~~\$264.00~~ \$185.00 USD



Taller de Análisis de Criticidad (Detección de Oportunidades)

~~\$198.00~~ \$138.00 USD



Auto Evaluación de Mantenimiento

~~\$100.00~~ \$70.00 USD



Análisis de Costo de Ciclo de Vida LCC

~~\$264.00~~ \$185.00 USD



Gestión y Optimización de Inventarios para Mantenimiento

~~\$264.00~~ \$185.00 USD



Generación de Planes Óptimos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM

~~\$330.00~~ \$231.00 USD



Planificación, Programación y Costos de Mantenimiento

~~\$264.00~~ \$185.00 USD



Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (RAM)

~~\$198.00~~ \$138.00 USD



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

~~\$330.00~~ \$231.00 USD



Mantenimiento Productivo Total (TPM)

~~\$100.00~~ \$70.00 USD



Introducción a la Confiabilidad Operacional

~~\$198.00~~ \$138.00 USD



Mantenimiento por Condición para Equipos Estáticos y Dinámicos (Mantenimiento Predictivo)

~~\$330.00~~ \$231.00 USD



Mantenibilidad y su soporte a la Confiabilidad Operacional

~~\$264.00~~ \$185.00 USD



Análisis de Vibración Nivel I

~~\$330.00~~ \$231.00 USD



Aplicación de la Norma ISO 14224 en sistemas CMMS para gestión de Activos

~~\$198.00~~ \$138.00 USD



EDUARDO CALIXTO
CONSULTING

CMMS SOFTWARE PARA GESTION DE MANTENIMIENTO

FUNCIONES DE SOFTWARE ALADDIN

- Monitorización de KPI de Mantenimiento;
- Registro de los activos físicos;
- Planificación de las tareas de mantenimiento incluso calendario;
- Gestión de equipos y de las actividad de mantenimiento;
- Integración de informaciones de clientes y proveedores;
- Gestión de estoque de los equipos;
- Integración con SAP y otros sistemas;
- Reportes automáticos basados em los datos de entrada;

VER MÁS

PARA MÁS INFORMACION:
EC@EDUARDOCALIXTO.COM



La Inteligencia Artificial para el mantenimiento 4.0

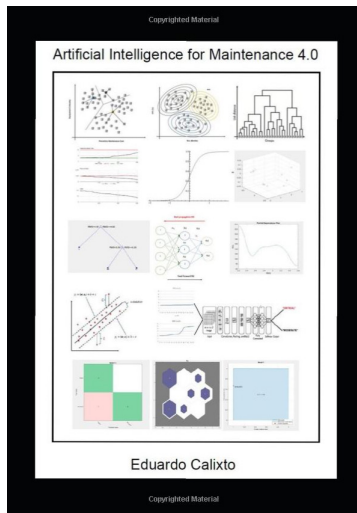
El aprendizaje automático no supervisado aplicado a la optimización del programa de mantenimiento basado en la vida útil remanente



Dr. Eduardo Calixto
ecduardocalixto.com

Fuente Libro:

[Artificial intelligence for Maintenance 4.0](#)



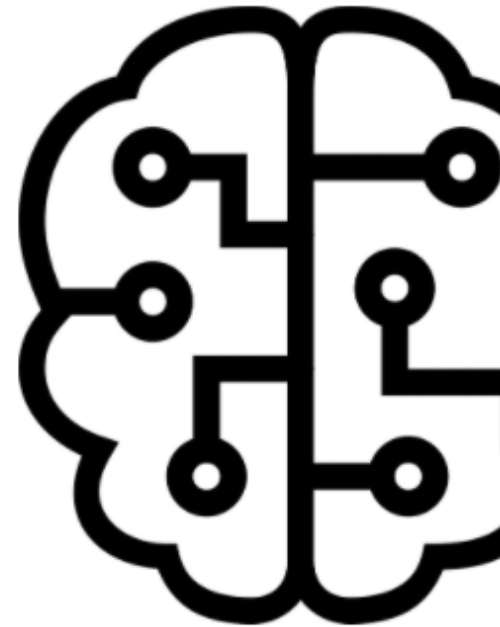
Introducción

El aprendizaje automático es un tema de inteligencia artificial que utiliza datos sobre las poblaciones de individuos con enfermedades, animales y muestras de plantas para la investigación, así como equipos/componentes del sistema e incluso datos financieros para realizar clúster, clasificación y predicción basadas en modelos matemáticos, en su mayoría apoyados por algoritmos informáticos.

Considerando la ingeniería de mantenimiento, la aplicación de aprendizaje automático se aplica para la clasificación de criticidad del equipo, predicciones de regresión de fallas y la estrategia de mantenimiento más avanzada, llamada Prognostic Health Management (PHM).

El PHM tiene por objeto definir la vida útil restante del equipo (RUL) y el estado de salud (SoH) sobre la base de datos en línea o de testes no destructivos mediante la medición de factores estresantes como la vibración, la tensión, la temperatura, humedad y otros parámetros físicos que degradan el equipo hasta la falla funcional.

Los conceptos detrás del aprendizaje automático es utilizar las características de los datos para agrupar, clasificar o predecir la futuras respuesta de las variables. Con el fin de clasificar y predecir la respuesta de los datos, el modelo de aprendizaje automático divide el conjunto de datos en los datos de entrenamiento (~70% de los datos) y los datos de prueba (~30% de los datos). El paso siguiente es aplicar un algoritmo a los datos de entrenamiento para el proceso de aprendizaje y luego salir con un modelo. El modelo se aplicará a los datos de prueba y se verificará el resultado. Si el resultado es satisfactorio, el nuevo conjunto de datos puede utilizar el mismo modelo definido sobre la base del conjunto de datos anterior para hacer predicciones y si el resultado es satisfactorio, el modelo se valida. El aprendizaje automático se puede realizar por diferentes métodos que se explicarán más a fondo. Los pasos generales del proceso de aprendizaje automático se describen en la figura 1.



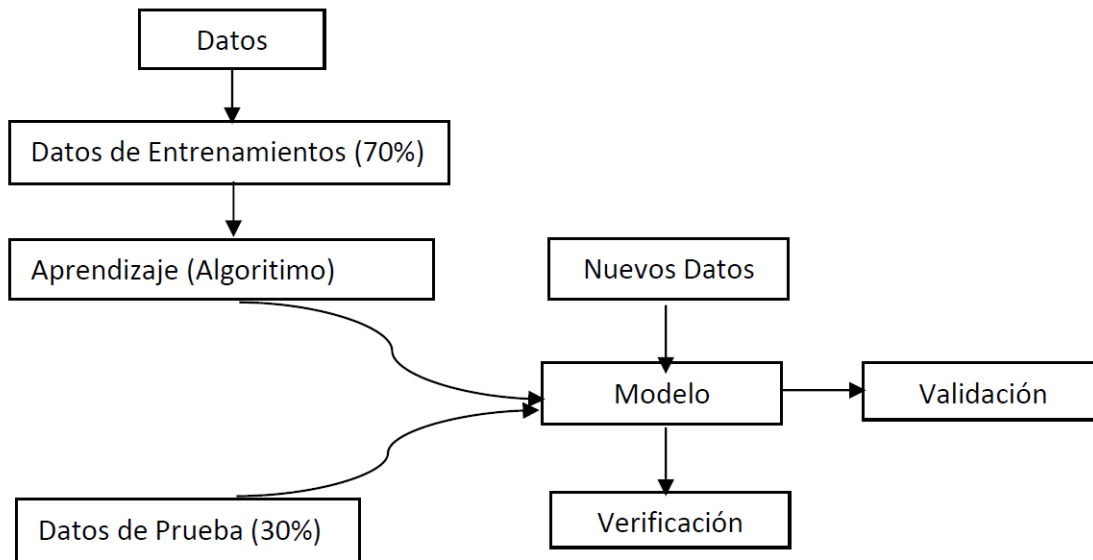


Figura 1: Pasos Generales del Machine Learning

Aprendizaje Automático No Supervisado

El Aprendizaje Automático No Supervisado tiene como objetivo definir un patrón en el conjunto de datos sin conocimiento previo de las características de los datos. Por lo tanto, la primera comprensión de su conjunto de datos puede comenzar aplicando los métodos de Aprendizaje Automático No Supervisado para entender cómo se puede organizar su conjunto de datos y si hay un patrón de tal conjunto de datos basado en sus variables independientes.

Los conceptos detrás del Aprendizaje Automático No Supervisado es agrupar un conjunto de datos sin conocer la clasificación previa o cualquier información sobre los datos. Para agrupar los datos, el Aprendizaje Automático No Supervisado modela el conjunto de datos e intenta organizarlo en un clúster. El paso posterior verifica el resultado y, finalmente, Si el resultado es satisfactorio, el nuevo conjunto de datos se puede utilizar el modelo definido sobre la base del conjunto de datos anterior y luego el modelo se valida. Los pasos generales del proceso de Aprendizaje Automático No Supervisado se describen en la figura 2.

Considerando la ingeniería del mantenimiento, el tipo de datos relacionados con el equipo abarca

las características físicas, así como el rendimiento, el costo de las operaciones, el costo del mantenimiento preventivo, el mantenimiento correctivo y el costo de las piezas de repuesto. Por lo tanto, al definir algunas de estas variables, es posible agrupar equipos con características similares. De hecho, la organización de datos basada en sus características comunes es el concepto detrás de los datos agrupados que es el resultado de tales métodos de Aprendizaje Automático No Supervisado como muestra la figura 2.

Los modelos de Aprendizaje Automático No Supervisados más comunes utilizados para la agrupación de los datos son:

- Principal Component Analysis;
- Multidimensional Scaling;
- K - Means ;
- Gaussian Mixture;
- Hierarchical Clustering;
- Neural Network Self-Organized Map.

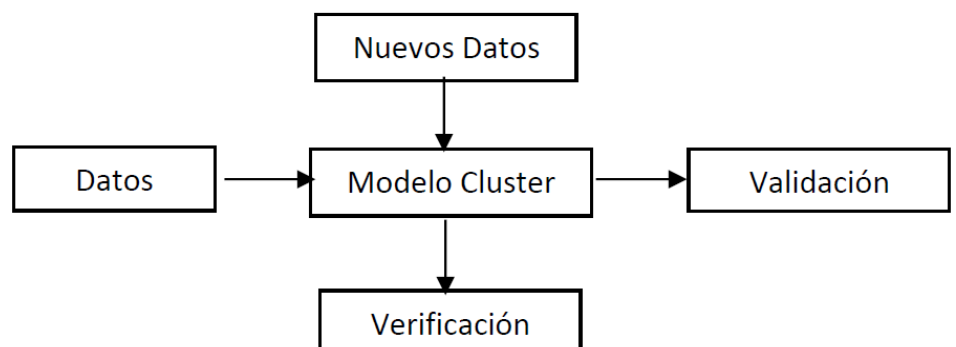


Figura 2: Pasos generales del modelo Aprendizaje Automático No Supervisado

The Principal Component Analysis (PCA), método tiene como objetivo reducir el número de variables del espacio multidimensional (múltiples variables independientes) a un espacio unidimensional o bidimensional (variables independientes) y definir las variables que tienen más influencia en la variabilidad de los datos.

The Multidimensional Scaling (MDS), tiene como objetivo reducir el número de variables del espacio multidimensional (múltiples variables independientes) a un espacio unidimensional o bidimensional (variables independientes) y definir las variables que tienen más influencia en la variabilidad de los datos. Sin embargo, el MDS permite la reducción de la complejidad de la visualización del espacio multidimensional en uno o espacio bidimensional con respecto a la distancia de pares entre los puntos.

El método K-Means tiene como objetivo organizar un conjunto de puntos de datos en k clústeres diferentes considerando los k centroides diferentes y agrupar los datos más cercanos a cada k centroides.

El método Gaussian Mixture tiene como objetivo organizar los datos en función de la distribución gaussiana de cada clúster en el que cada dato encaja mejor. La suposición principal de este modelo es que todos los clústeres K son los clústeres de conjuntos de datos normales distribuidos.

The Hierarchical Clustering tiene la intención de agrupar el conjunto de datos definiendo la distancia de emparejamiento entre los puntos y basándose en esa distancia agrupar los datos en diferentes niveles de clúster.

The Neural Network Self-Organized Map (SOM) agrupa los datos basados en el peso definido por la Red Neuronal a cada Neurona considerando el punto de la base de dato más cercano a cada neurona. Los principios de SOM son, básicamente, dados datos observados, la neurona más cercana se define, entonces la neurona se mueve más cerca de los datos observados. Así, el proceso se repite de nuevo mediante la selección de datos aleatorios del conjunto de datos.

La figura 3 muestra el concepto principal de organizar un conjunto de datos en clústeres que se pueden aplicar para la planificación de mantenimiento, optimización considerando el resultado de la Vida Útil Restante (RUL) y la Progresión de Degradación (DPS) de un grupo de equipos.

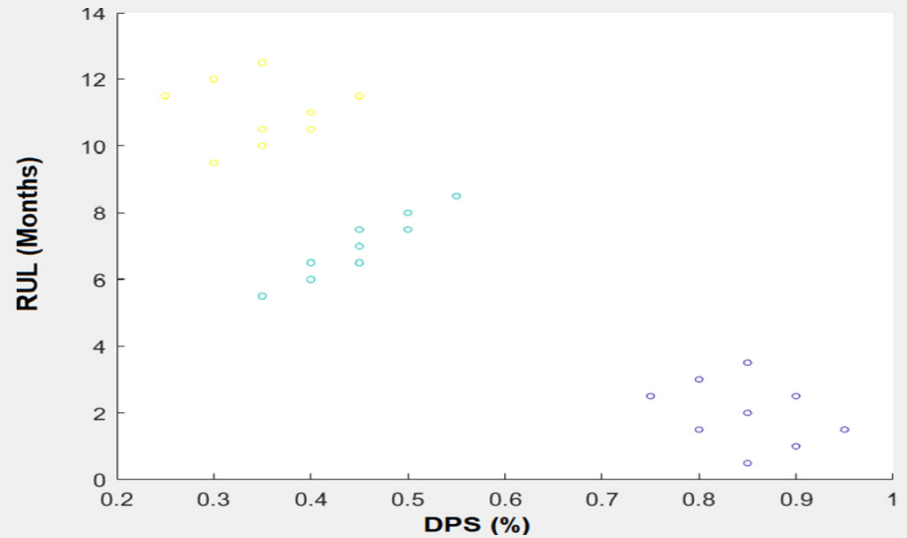


Figura 3: Clúster de planificación de mantenimiento basado en RUL y DPS

Aprendizaje Automático Supervisado de Clasificación (SMLC)

El Aprendizaje Automático Supervisado tiene como objetivo clasificar los datos de predicción basados en el conocimiento previo de un conjunto de características de datos. Por lo tanto, el SML se puede dividir en dos categorías como Clasificación y Regresión.

El modelo de Aprendizaje Automático Supervisado de Clasificación (SMLC) tiene el objetivo principal de clasificar los datos basados en las características observadas previamente en un conjunto de datos. Por lo tanto, se aplica para clasificar la criticidad del equipo nuevo, el riesgo, el alto rendimiento, los malos actores, y otra clasificación aplicada en el campo del mantenimiento. La principal ventaja de este enfoque es clasificar un gran número de datos basados en los modelos SMLC que permiten ahorrar la enorme cantidad de tiempo dedicado a estas actividades de clasificación, así como definir alarmas de alerta basadas en la clasificación de criticidad de equipos y componentes. Los modelos SMLC más comunes son los siguientes:

K-Nearest Neighbor (K-NN);

Decision Tree Classification;

Naïve Bayes;

Linear Discriminant Analysis;

Support Vector Machine;

Neural Network Classification;

Logistic Regression Classification.

Los pasos generales de la Clasificación Supervisada de Aprendizaje Automático se describen en la figura 4.

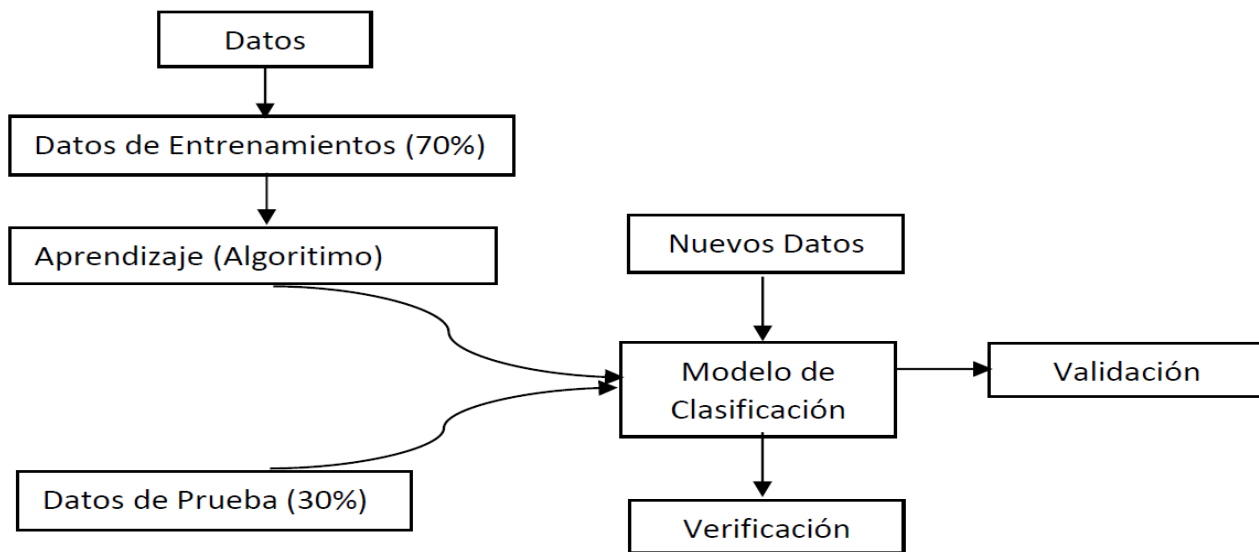


Figura 4: Pasos generales de clasificación de aprendizaje automático supervisado

En cuanto a la aplicación de mantenimiento, las características del equipo como la criticidad, el riesgo, el alto rendimiento, los malos actores y otras clasificaciones permiten a los líderes de mantenimiento priorizar los equipos para planear el mantenimiento preventivo. Además, el SMLC también permite definir los niveles límite de alerta para ser parte del programa PHM. La figura 5 muestra un ejemplo de SMLC aplicado a la clasificación de la criticidad del equipo basado en el nivel de vida útil restante (RUL) y vibración (RMS). Este ejemplo muestra la definición de diferentes niveles de criticidad, como crítica (C), moderada (M) y baja (L).

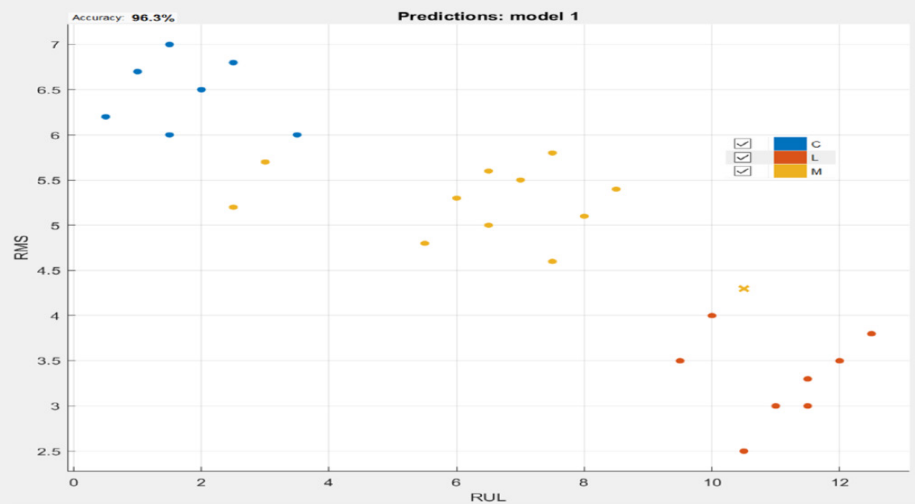


Figura 5: Clasificación de equipos basada en RUL y RMS (mm/s)

Aprendizaje Automático Supervisado de Regresión (SMLR)

La Aprendizaje Automático Supervisada de Regresión (SMLR) tiene el objetivo principal de predecir y pronosticar valores futuros de datos de variables dependientes basados en las variables independientes que son características de equipo/componente del conjunto de datos pre-observados. Por lo tanto, se aplica para predecir el valor de la variable de proceso, Vida útil restante (RUL), Estado de salud (SoH) y otros parámetros utilizados en el campo de mantenimiento. La principal ventaja de este enfoque

es predecir los valores de los parámetros automáticamente sobre la base de los datos históricos actuales. Por lo tanto, los modelos SMLR permiten ahorrar la enorme cantidad de tiempo dedicado a esa actividades, así como para vincular los datos del sensor a los modelos PHM para predecir el equipo y componente RUL y SoH. Los modelos SMLR más comunes son los siguientes:

- Linear Regresión;
- Ridge and Lasso Regresión;
- Stepwise Linear Regresión;
- Gaussian Regresión;
- Decision Tree Regresión;
- Support Vector Machine Regresión,
- Neural Network Regresión (NNR).

Las etapas generales del proceso del SMLR se describen en la figura 6.

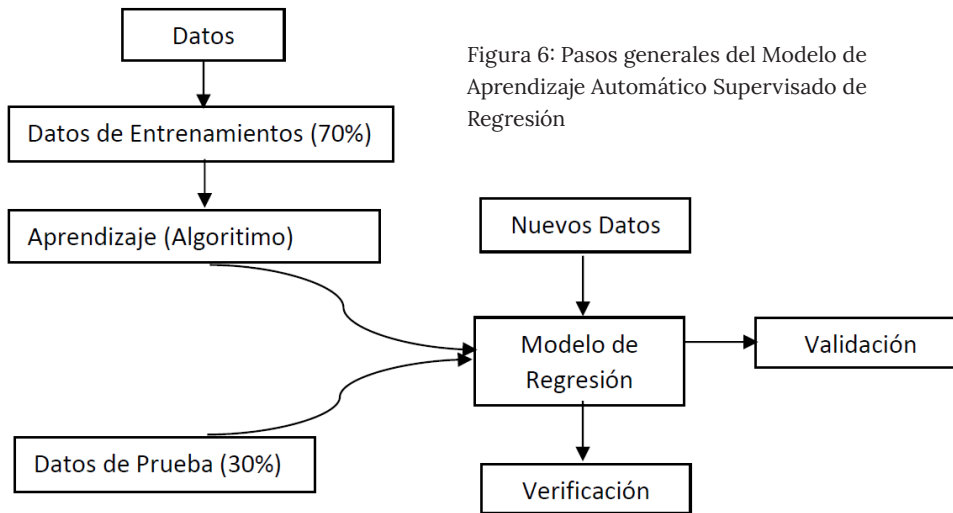


Figura 6: Pasos generales del Modelo de Aprendizaje Automático Supervisado de Regresión

En cuanto a la aplicación de mantenimiento, la variable independiente del equipo como temperatura, humedad, rotación, vibración y otras variables medidas por el sensor, así como la medición de la degradación como la corrosión, la erosión por Prueba No destructiva se puede utilizar como entrada para predicción del RUL, SoH y otros parámetros de mantenimiento. La figura 7 muestra un ejemplo de predicción RUL basada en la degradación de la temperatura (TDPS).

Antes de terminar la parte teórica de este trabajo, es importante destacar un concepto importante aplicado al aprendizaje automático, que es el sobreajuste. Como hemos mencionado antes, al realizar la clasificación o regresión de Aprendizaje Automático Supervisado, es necesario dividir el conjunto de datos en entrenamiento (70%) y los datos de prueba (30%). Cada vez que el modelo se ajusta demasiado de los datos con muy alta precisión o muy bajo error, decimos que el modelo está sobreajustado. Dado que el objetivo principal es crear un modelo general, que se puede aplicar a nuevos datos, el sobreajuste no es bueno para crear un modelo general.

El otro concepto importante es el Bias y la Varianza. El bias es la incapacidad de un modelo de aprendizaje automático para capturar la verdadera relación entre las variables (dependientes e independientes). La varianza es la diferencia entre los datos de entrenamiento y los datos de prueba (o nuevos datos) de ajuste. El modelo de sobreajuste presenta un bias bajo pero una alta varianza. El subajuste es el contrario de los conceptos de sobreajuste y en este caso el modelo presenta un alto bias pero baja varianza.

La compensación entre la clasificación simple y compleja y los modelos de regresión es encontrar el modelo que realiza resultados con bajo bias y baja varianza.

De hecho, en la medida de lo posible, tratamos de encontrar el modelo con bajo bias y baja varianza, pero es habitual tener algún error en la clasificación y predicción de regresión.

El Métodos de Aprendizaje Automático No supervisado: Hierarchical Cluster

El método Hierarchical Cluster tiene como objetivo agrupar el conjunto de datos definiendo la distancia de pares entre los puntos y en base a dicha distancia el algoritmo agrupa los datos en diferentes clústeres. Inicialmente, cada punto de datos observado está vinculado en base a la distancia del par, que permite que los datos del grupo en diferentes clústeres hasta que el conjunto de datos se divide en tres, dos y un clúster.

La figura 8 muestra la idea detrás del método Hierarchical Cluster. El eje horizontal (X) representa las conexiones entre diferentes puntos y el eje vertical (Y) representa la distancia entre cada conexión. Al mirar la distancia más grande entre los grupos de la

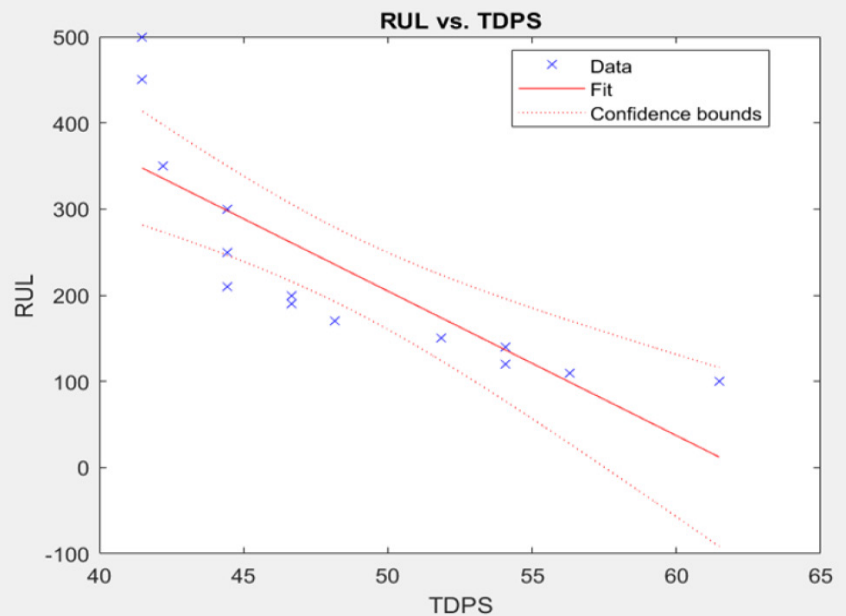


Figura 7: regresión RUL

parte superior a la parte inferior de la figura 8, podemos ver grupos potenciales, como muestra el nivel tres en el centro de la figura donde tres grupos están claramente definidos. El método Hierarchical Cluster se puede definir en base a los siguientes pasos:

- Eligir el método para calcular la distancia mínima entre los puntos.
- Fusionar sucesivamente los cúmulos más cercanos.
- Crear el dendrograma para mostrar la definición del clúster.

La distancia entre los puntos son calculadas por:

El “**Single Linkage**” cuenta la distancia mínima entre los puntos representados por:

$$D_{min}(C_i, C_j) = \min_{x \in C_i, y \in C_j} \|x - y\|^2$$

El “**Complete linkage**” cuenta la distancia máxima entre los puntos representados por:

$$D_{max}(C_i, C_j) = \max_{x \in C_i, y \in C_j} \|x - y\|^2$$

El “**Mean distance**” cuenta la distancia media entre los puntos representados por:

$$D_{Avg}(C_i, C_j) = \frac{1}{|C_i||C_j|} \sum_{x \in C_i, y \in C_j} \|x - y\|^2$$

El “**Centroid**” cuenta la distancia entre los centroides de clúster representados por:

$$D_{Means}(C_i, C_j) = \|x - y\|^2$$

Es importante notar que tales diferentes métodos desencadenarán diferentes grupos de clústeres dependiendo de la naturaleza de su conjunto de datos. El método de distancia más común utilizado es la “Distancia mínima”, pero de hecho, el método utilizado depende del algoritmo aplicado en la solución de software de clúster jerárquico.

Para demostrar el método Hierarchical Cluster, se presentará un estudio de caso considerando dieciséis intercambiadores de calor con cuatro ventiladores cada uno. Vamos a considerar que tales refrigeradores de aire tienen cuatro ventiladores cada uno. Basado en el programa PHM, todos los rodamientos de ventiladores están siendo monitoreados en base a la vibración en línea y la Vida Útil Restante (RUL), así como la Degradación (DPS). La tabla 1 muestra los valores resumidos de la situación actual basados en la última medición. Los ventiladores del aire se identifican por dos números; el primer número es el número del refrigerador del aire y

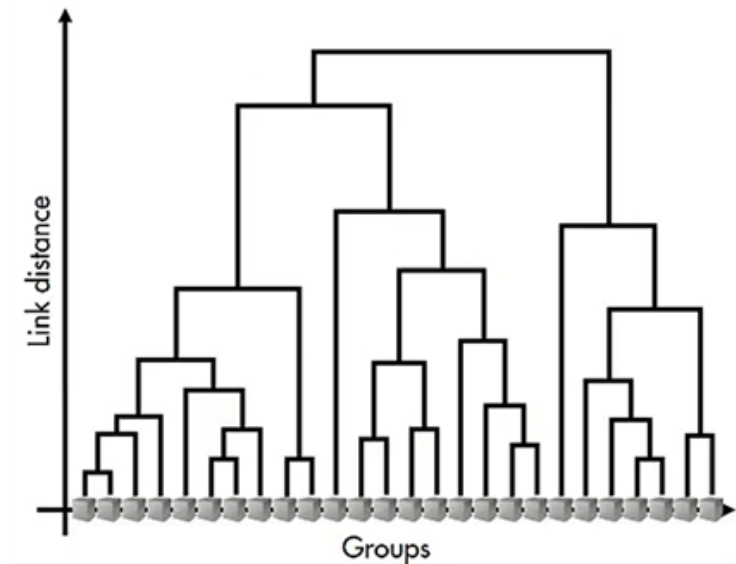


Figura 8: Dendrograma de clúster jerárquico

el segundo número es el número del ventilador en este refrigerador del aire. El reto para el equipo es planificar la intervención preventiva basada en diferentes niveles de degradación (DPS) y RUL. Por lo tanto, el modelo Hierarchical Cluster tiene como objetivo organizar el conjunto de datos y destacar el grupo de ventiladores que deben ser detenidos primero para la intervención preventiva basada en los valores DPS y RUL.

La figura 9 muestra el resultado dendrogramas de la distancia mínima par de cada punto en el conjunto de datos representado por los refrigeradores de aire considerando el DPS y RUL. Los tres cúmulos principales se pueden visualizar de izquierda a derecha en el segundo nivel del dendrograma. El primer clúster tiene 1.6 valores en el eje y. El segundo clúster tiene valores por debajo de 1.2 en el eje y y el tercer clúster tiene valores un poco por encima de 1.2 en el eje y.

Basado en la figura 10 podemos ver el primer clúster en la parte superior en el lado izquierdo que representan los ventiladores menos críticos con una baja criticidad que tiene menor DPS (20% ≤ DPS ≤ 30%) y mayor RUL (9 months ≤ RUL ≤ 13 months). El segundo grupo en el centro en el lado izquierdo representa

Tabla 1: Refrigeradores de Aire RUL

| Time (Days) | DPS (%) | RUL (Months) |
|-------------|---------|--------------|
| Fan 11 | 0.21 | 12.6 |
| Fan 12 | 0.22 | 11.55 |
| Fan 53 | 0.22 | 11.34 |
| Fan 14 | 0.23 | 10.11 |
| Fan 63 | 0.22 | 9.66 |
| Fan 22 | 0.26 | 9.45 |
| Fan 42 | 0.31 | 7.41 |
| Fan 24 | 0.32 | 7.38 |
| Fan 31 | 0.29 | 7.35 |
| Fan 32 | 0.33 | 7.32 |
| Fan 62 | 0.35 | 7.29 |
| Fan 34 | 0.36 | 6.12 |
| Fan 41 | 0.39 | 5.88 |
| Fan 23 | 0.43 | 4.25 |
| Fan 64 | 0.44 | 3.92 |
| Fan 44 | 0.52 | 2.32 |
| Fan 51 | 0.56 | 2.21 |
| Fan 52 | 0.78 | 2.16 |
| Fan 13 | 0.81 | 1.72 |
| Fan 54 | 0.97 | 1.68 |
| Fan 61 | 0.97 | 1.71 |
| Fan 33 | 0.97 | 1.66 |
| Fan 21 | 0.98 | 1.65 |
| Fan 43 | 0.98 | 1.23 |

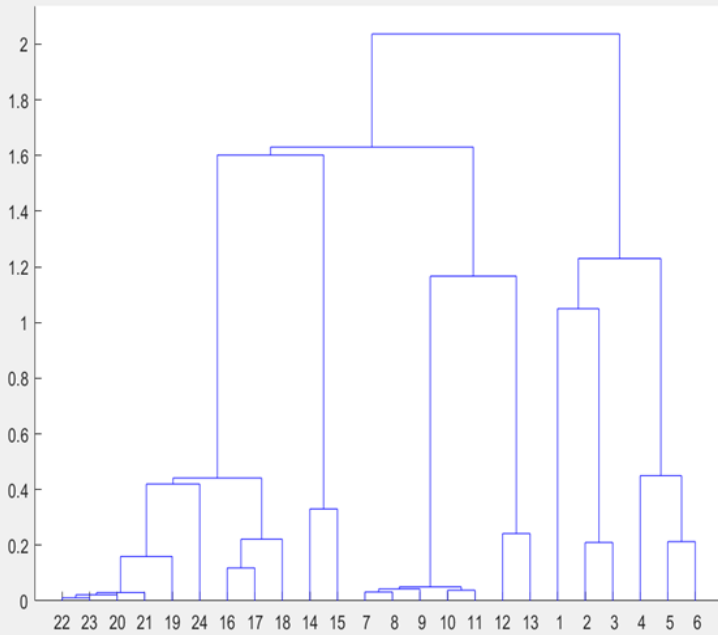


Figura 9: Dendrograma

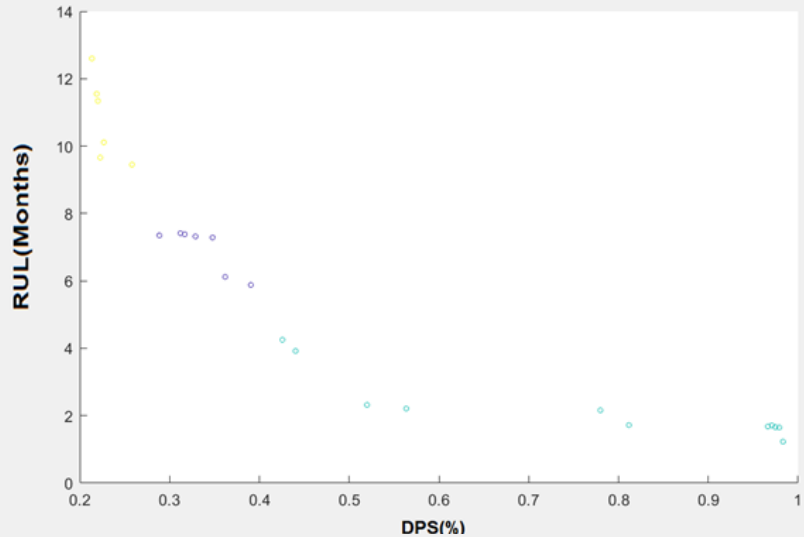
los ventiladores con criticidad moderada, con DPS medio ($25\% \leq \text{DPS} \leq 40\%$) y RUL alto (6 meses $\leq \text{RUL} \leq 8$ meses). El tercer clúster en la parte inferior a la derecha representa los ventiladores con alta criticidad, con DPS alto ($45\% \leq \text{DPS} \leq 90\%$) y RUL bajo (1mes $\leq \text{RUL} \leq 4$ meses).

Algunos de estos ventiladores pertenecen a los mismos refrigeradores de aire y otros no. Sin embargo, la idea no es centrarse en el refrigerador de aire más crítico, sino en los ventiladores más críticos. Al hacer eso, siempre que un ventilador clasificado en el clúster más crítico, el grupo de ventiladores se apaga para el mantenimiento preventivo, los otros dos ventiladores en la segunda línea del refrigerador de aire seguirá funcionando y evitar la pérdida total de producción.

Una característica importante que necesita ser increíblemente cuidadoso cuando estamos mirando un gráfico de clúster son los puntos ubicados en los límites entre dos clústeres. En realidad, podemos ver que cuando estamos mirando en el centro de la figura 10. Los límites entre el clúster situado en el lado derecho, con bajo RUL y alto y medio DPS y el segundo clúster con medio DPS y medio RUL demuestran una decisión de conflicto. Depende del experto en mantenimiento, pueden considerar los ventiladores con RUL (6 meses) y DPS (0.4) junto con el primer clúster para el mantenimiento preventivo.

Por otra parte, dando una buena mirada a la figura 10, el experto en mantenimiento puede definir el punto en cuatro grupos dividiendo el grupo crítico con RUL Bajo (4 meses) en otros dos grupos. Uno con DPS superior al 70% y el otro con valor DPS entre el 40% y el 60%.

Figura 10: Refrigeradores de Aire: Clusters



Así, es necesario investigar si realmente tiene sentido tener un grupo de ventiladores críticos con intervención preventiva en los próximos dos meses y el otro grupo dos meses después o si es mejor realizar la intervención preventiva en todos los ventiladores como un grupo como definido en la figura 10. La mayor ventaja del método Hierarchical Cluster en comparación con otros métodos discutidos hasta ahora es la visualización perfecta de otro posible clúster basado en el diagrama de dendrograma.

Sin embargo, el concepto de clúster sigue siendo el mismo y, al final, una buena imagen de los fans más críticos que necesitan tener la intervención preventiva está muy bien definida.

Como se mencionó anteriormente, es especialmente importante ser consciente de la diná-

mica de los campos de operación que pueden salir con un RUL diferente de datos de entrada y desencadenar el Hierarchical Cluster algoritmo produce una configuración de clúster diferente algunas semanas después de la primera preventiva plan de mantenimiento definido en función del primer resultado del clúster debido a la intensidad de la degradación que puede cambiar entre los ventiladores. En realidad, la actualización de la información (RUL vs DPS) va a ocurrir a lo largo del tiempo. Por lo tanto, los ventiladores definidos en el clúster crítico serán reparados y un nuevo grupo de ventiladores saldrá en diferentes grupos de clúster en el futuro próximo. Así, los otros dos grupos anteriores se actualizarán y tendrán un nuevo DPS peor y límites RUL menores.

Conclusion

Después de la implementación del Método de Aprendizaje Automático No Supervisado Hierarchical Cluster, llegamos a algunas conclusiones sobre las ventajas e inconvenientes que son los siguientes:

Las ventajas del método Hierarchical Cluster son:

- No es necesario definir el número inicial de grupos.
- Fácil de implementar mediante la aplicación de los métodos de cálculo de distancia.
- Visualización de resultados fácil basada en el gráfico dendrogram.

Los inconvenientes del método Hierarchical Cluster son:

- Los métodos de cálculo de distancia tienen alta influencia en el resultado depende de cómo se muestran los puntos de datos distribuidos en el espacio.

En general, las ventajas de la aplicación Machine Learning son:

- La clasificación de datos es muy rápida basada en el modelo definido por el conocimiento de la clasificación de conjuntos de datos anteriores. Dicha clasificación ahorrará el enorme esfuerzo de clasificar los datos sobre la base del número de prioridad de riesgo en base diaria, así como otro tipo o criterios de clasificación.
- El predicción de la vida útil restante sobre la base de datos anteriores para anticipar el fallo futuro cuando el equipo está operando por encima de sus límites de diseño de operación condición y degradarse antes del tiempo esperado.
- Agrupar equipos en diferentes clústeres en función de sus características comunes y permitir la optimización del plan de mantenimiento preventivo, optimización del plan

de revisión y la prioridad definida para el grupo de equipos críticos.

- Basado en el reconocimiento de imágenes, el equipo dañado da una alerta para el control de las líneas de producción o incluso para los equipos de mantenimiento e inspección cuando se instalan cámaras y se integran con soluciones de aprendizaje automático profundo.

La desventaja del aprendizaje automático radica en la complejidad y la alta demanda de diferentes conocimientos, tales como:

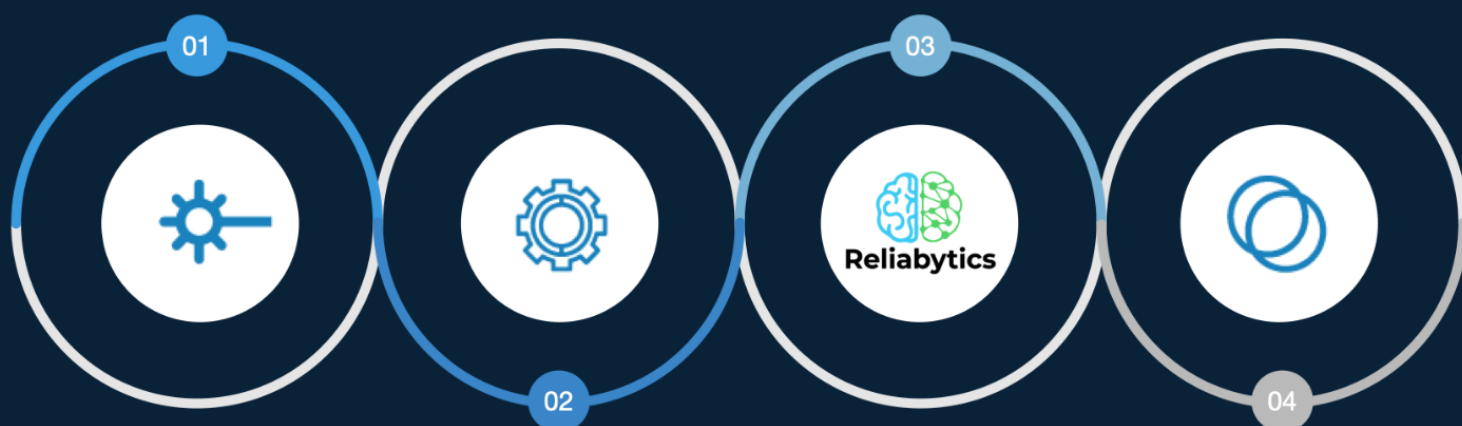
- Requiere un conocimiento matemático profundo para entender los métodos de aprendizaje automático.
- Requiere una habilidad de programación para usar software de aprendizaje automático como MATLAB o incluso una habilidad de programación profunda para crear algoritmos variados como Python, R y otros.
- Requiere un conocimiento de mantenimiento para tener una comprensión clara de la variable a medir por los sensores, instalado el sensor correctamente, entender los datos del sensor y
- Requiere una comprensión clara acerca de las piezas críticas de mantenimiento, modos de fallo, causa para crear una etiqueta de clasificación adecuada.

Referencias

1. Amnon Shashua. Introduction to Machine Learning. 67577 - Fall, 2008. School of Computer Science and Engineering. The Hebrew University of Jerusalem. Jerusalem, Israel.
2. Calixto, E. Gas and Oil Reliability Engineering: Modeling and Simulation. Second edition, Elsevier ISBN: 9780123919144 - (Release in 26 May 2016). <http://store.elsevier.com/Gas-and-Oil-Reliability-Engineering/Eduardo-Calixto/isbn-9780128054277/>.
3. Calixto, Eduardo. Integrated Asset Integrity Management: Risk Management, Human Factor, Reliability and Maintenance integrated methodology applied to

subsea case. ESREL 2015. Zürich, Switzerland. 2015 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02879-1

4. Calixto, E. Artificial Intelligence for Maintenance 4.0. First edition, AMAZON ISBN: ISBN: 9798672601021 (Release in 02 August 2020).
5. Daniel Géron. Machine Learning for Beginners: A Step-by-Step Guide to Learning and Mastering Machine Learning for Absolute Beginners with Real Examples.
6. EFNMS Asset Management Survey. ESREDA conference. Porto, Portugal, May 2013 <http://www.efnms.org/mod/newsarchiv/view/cp-m10/newsmeldung-28>
7. Guidelines for Vibrations in Reciprocating Compressor Systems, European Forum Reciprocating Compressors (EFRC), 2009.
8. Goodman, Douglas. Prognostics and Health Management: A Practical Approach to Improving System Reliability Using Condition-Based Data (Wiley Series in Quality & Reliability Engineering). 2019.
9. ISO 55002 standard, 2014. <http://www.bsigroup.com/en-GB/search-results/?q=ISO+55002>.
10. Jos Luis Rojo-Ivarez; Manel Martnez-Ram; Jordi Muoz-Mar; Gustau Camps-Valls. "Support Vector Machine and Kernel Classification Algorithms," in Digital Signal Processing with Kernel Methods, IEEE, 2018, pp.433-502. [17]
11. PAS 55 standard, 2008. <http://www.bsigroup.com/en-GB/search-results/?q=PAS+55>
12. Paul Wilmott Machine Learning: An Applied Mathematics Introduction (English Edition). Pnada Ohana Publishing, 2019.
13. Phil Kim, MATLAB Deep Learning: With Machine Learning, Neural Networks and Artificial Intelligence. APRESS. Juni 2017.
14. Stuart Russell und Peter Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach, Global Edition Pearson. Mai 2016
15. <https://www.youtube.com/channel/UCtYLUTgS-3k1Fg4y5tAhLbw>
16. https://www.youtube.com/channel/UCNU_lfii-WBdtULKOW6X0Dig
17. <https://www.youtube.com/channel/UCOGKur3rytBtcKkNrBmIRZQ>
18. <https://www.enkelt.co.uk>. 2017.
19. <https://www.ridgetopgroup.com/products/advanced-diagnostics-and-prognostics/sentinel-motion/railsafe-integrity-analysis-system/>
20. <https://www.maximocon.com>, 2018.



Metrología 3D

Laser Tracker Faro Vantage
3D Scanner Faro Focus

Mecanizado en Sitio

Tornos, fresas portátiles, combinados con Metrología 3D lineamientos ASME PCC2

Gestión de Activos

Solución APM basada en Analíticas.
Lineamientos ISO 14224, 17359 and 55000

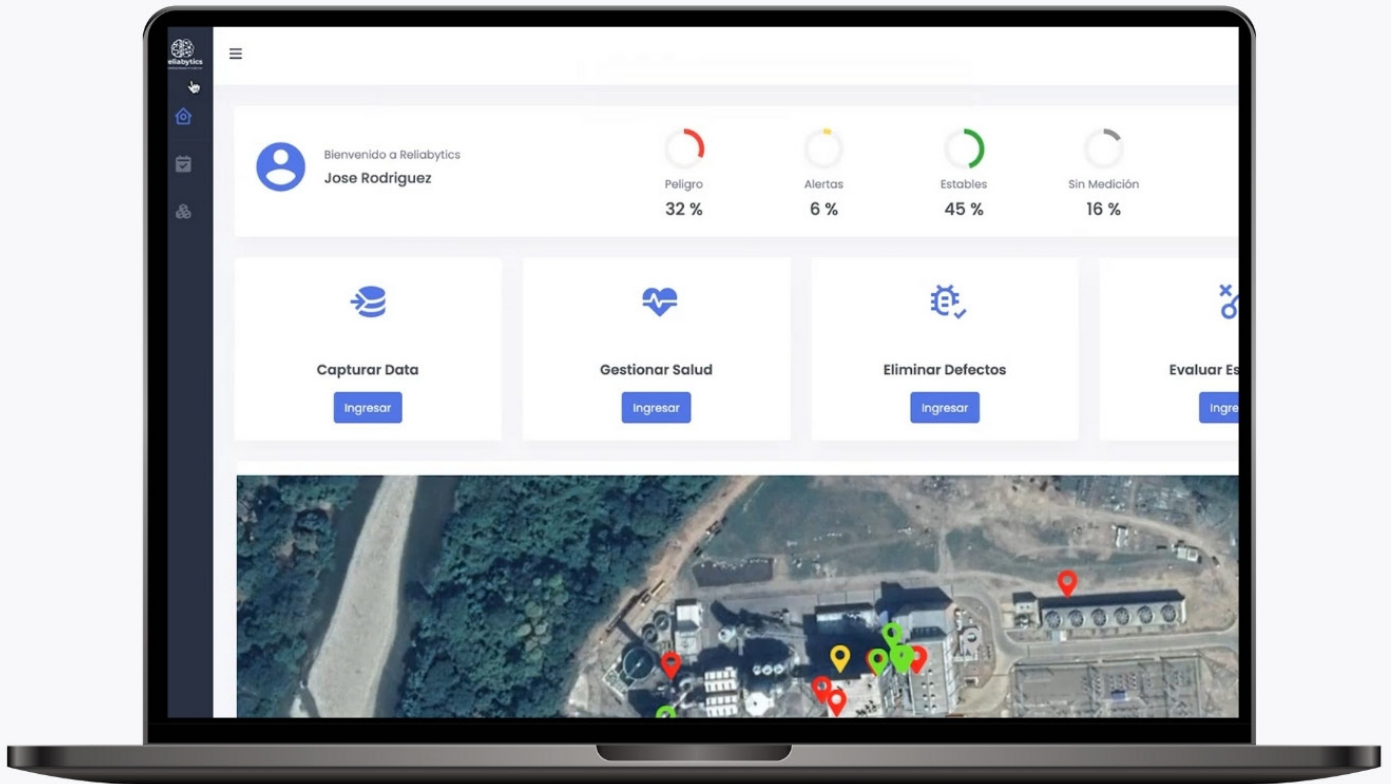
Integridad Mecánica de Juntas Bridadas

Gestión del ciclo de vida de las juntas bridadas lineamientos ASME PCC1

Visita nuestro sitio web



Accede a tu tablero desde cualquier navegador



Programe una demostración

haz click en el enlace en la descripción





¿Qué es el RCM2?

El término de RCM2 se refiere a una versión mejorada del RCM, realizada por el autor John Moubray, la cual consiste en la aplicación de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en el ámbito industrial.

Documentación del RCM2 de John Moubray

Consiste en un libro de texto muy utilizado cuyo primer número se publicó en el Reino Unido en 1991 y en los Estados Unidos en 1992. Como resultado, se realizaron varias actualizaciones y versiones, producidas por la compañía británica “The Aladon Network” (conocida inicialmente como Aladon Ltd en 1986 y luego como Aladon LLC en 1998), fundada por Moubray y dirigida por el mismo como director ejecutivo hasta su fallecimiento en 2004. Actualmente la compañía se dedica a difundir e implementar la metodología de RCM alrededor del mundo.

El contenido de la segunda edición del libro de Moubray abarca temas tales como las funciones de los activos físicos, fallos funcionales, análisis de modos de fallo y sus efectos, consecuencias de los fallos, diagramas de decisión RCM, implementación de recomendaciones de RCM, datos de los fallos, aplicación del proceso RCM, beneficios del RCM, historia del RCM, un glosario de términos, y algunos detalles adicionales.

A continuación se presenta un resumen en español de los capítulos del libro.

Historia del RCM

En la década de 1960 se presentó una cantidad inaceptable de accidentes de aviación, lo cual motivó a un equipo de ejecutivos e ingenieros de alto nivel de United Airlines a desarrollar un proceso para determinar los requerimientos de mantenimiento óptimos de las aeronaves, lo cual dio origen a documentos públicos donde se utilizó por primera vez el término de Mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM (Reliability Centered Maintenance). Los estudios demostraron que el supuesto fundamental de los ingenieros de diseño y de los plani-

ficadores de mantenimiento era que cada avión y cada componente principal del mismo tenían una “vida útil” específica de servicio confiable, después de ello tenía que ser reemplazado o revisado para así prevenir fallas.

Años más tarde, United Airlines fue patrocinada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para la creación de un libro sobre el RCM, el cual fue publicado en el año 1978 en conjunto con un informe de evaluación de Rand Corporation, ambos textos dieron a conocer al RCM al público en general. Este fue uno de los muchos descubrimientos sorprendentes que han revolucionado la disciplina administrativa de la gestión de los activos físicos. Entre algunos de los cambios de paradigma inspirados en RCM fueron que el entendimiento de que la gran mayoría de las fallas no están necesariamente vinculadas a la edad del activo, la comprensión de la diferencia entre los requisitos de los activos desde la perspectiva del usuario y la confiabilidad del diseño del activo, la comprensión de la importancia de administrar los activos bajo condición y la vinculación de niveles de riesgo tolerable al desarrollo de la estrategia de mantenimiento.

A partir del año 1980 se extiende el uso de la metodología para la industria naval y en la armada, algunos años después se aplicó para la industria nuclear de Estados Unidos. Para el año 1993 se comenzó a aplicar en Francia. Moubray obtuvo el mayor éxito en su aproximación a la industria con el RCM mediante la creación de la metodología de RCM2, la cual incorporó cuestiones ambientales, precisión de tareas de mantenimiento y la definición de criterios de riesgo cuantitativos. Fue en el año 1999 donde se normalizó el proceso de RCM2 mediante la normativa SAE JA1011, con el documento “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”, el cual establece los criterios mínimos para lo que es, y para lo que no se puede definir como RCM.

El estándar es algo decisivo en la evolución continua de la disciplina de la gestión de activos físicos. Antes del desarrollo del estándar, muchos procesos se etiquetaban como RCM, aunque no eran fieles a las intenciones y los principios del informe original que definían el término públicamente.



Carlos Villegas

carlos.villegas@predictiva21.com

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, conocido por sus siglas en inglés como RCM (Reliability Centered Maintenance), comenzó a desarrollarse dentro de la industria de la aviación, convirtiéndose exponencialmente en un pilar fundamental en la práctica de la gestión de mantenimiento. Actualmente es aplicado en todo el mundo por muchas organizaciones industriales y prestadoras de servicios. En el clásico libro de John Moubray titulado “RCM 2: Reliability Centered Maintenance Second Edition 2 Revised edition by Moubray, John (1997) Hardcover” se expone información práctica, autorizada y sobre la aplicación correspondiente del RCM. Representa un aspecto fundamental para los ingenieros centrados en su productividad, calidad, seguridad e integridad ambiental. Moubray se caracteriza por ser experto en el área y ha prestado ayuda a profesionales de muchos países en la aplicación del RCM y de su sucesor, el RCM2.

Hoy en día, las compañías pueden usar este estándar para garantizar que los procesos, servicios y software que compran e implementan se ajusten a lo que se define como RCM, lo que garantiza la mejor posibilidad de lograr los muchos beneficios atribuibles a la aplicación rigurosa de RCM.

Funciones de los activos físicos en RCM

Los usuarios de los activos tienen la expectativa de que el activo además de cumplir con una función, lo haga con un nivel de funcionamiento aceptable, por lo tanto la definición de una función en conjunto con la definición de los objetivos de mantenimiento para ese activo físico no estarían completas a menos que el usuario detalle de la manera más precisa posible el nivel de funcionamiento esperado. Por lo tanto:

“La definición de una función consiste de un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario.”

La finalidad del mantenimiento es asegurar que los activos físicos se mantengan realizando la labor que sus usuarios desean, cuya magnitud debería definirse mediante un estándar mínimo de funcionamiento. Lo ideal sería que los activos puedan mantenerse en el rendimiento de su funcionamiento mínimo de manera indefinida, es decir, sin deteriorarse en ningún momento, por lo tanto las máquinas nunca tendrían la necesidad de mantenimiento, pero a causa de las leyes de la física esto no es posible, puesto que cualquier sistema organizado expuesto al mundo real se deteriorará, teniendo como consecuencia situaciones impredecibles que conllevan al caos o a la entropía. En este sentido el mantenimiento centrado en la confiabilidad se aplica para detener los procesos que causan el deterioro de los sistemas.

Fallas Funcionales en RCM

Un activo físico presenta fallas cuando este no cumple con la función esperada por el usuario. Todo lo que se requiere que haga el activo es definido como una función y cada una de ellos tiene más de una función y frecuentemente muchas diferentes. Ya que es posible que cada una de estas funciones presente una falla, se

deduce que cualquier activo puede sufrir una variedad de estados de falla distintos. Esto demuestra por qué es más preciso definir fallas en términos de pérdida de funciones específicas, en lugar de la falla de un activo en su conjunto. El proceso de RCM utiliza el término “falla funcional” para describir estados de falla y no a una “falla” por sí sola, por lo tanto para completar la definición de falla, se debe analizar más de cerca la cuestión de los estándares de rendimiento. Entonces:

“Una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.”

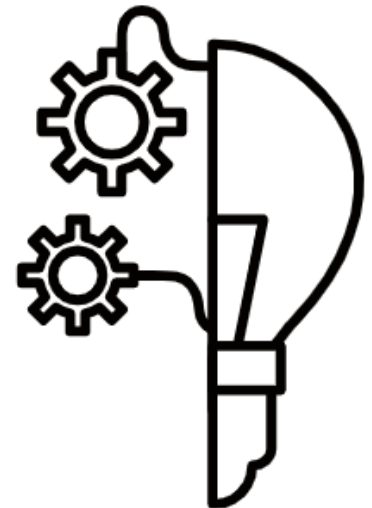
Análisis de Modos de Falla y sus Efectos en RCM

Un modo de falla puede ser descrita como una situación que probablemente haga que un activo, sistema o proceso falle. Es necesario diferenciar una “falla funcional” y un “modo de falla” por consiguiente se puede definir de manera más precisa lo que es un “modo de falla”, siendo así:

“Un modo de falla es cualquier evento que cause una falla funcional”

El mejor modo de indicar la relación y la divergencia entre estados fallidos (falla funcional) y los eventos que podrían causarlos (modo de falla), es enumerar las fallas funcionales, para posteriormente señalar los modos de falla que pueden ocasionar cada falla funcional. Una sola máquina puede fallar por muchas razones. Un grupo de máquinas o sistemas, como una línea de producción, pueden fallar por cientos de razones. Respecto a una planta completa, esta puede fallar por miles o incluso decenas de miles de razones.

Muchos gerentes se estremecen al pensar en el tiempo y el esfuerzo que probablemente se involucren en la identificación de todos estos modos de falla, entonces deciden que este tipo de análisis representa exceso de trabajo y finalmente desisten totalmente de la idea. Al hacerlo, estos gerentes pasan por alto el hecho de que todo el tiempo el mantenimiento se basa en los modos de falla, esto es debido a que las órdenes de trabajo surgen para cubrir modos de falla específicos, la planificación del mantenimiento diario se ejecuta para tratar determinados modos de falla. Cabe desta-



car que también el personal de mantenimiento y operaciones de la mayoría de las empresas industriales tienen reuniones todos los días, las cuales consisten más que todo en discusiones sobre lo que ha fallado, qué lo causó y quién tiene la culpa, qué se está haciendo para arreglar la falla y, a veces, qué se puede hacer para evitar que vuelva a suceder, así pues una gran parte de la reunión se dedica a la discusión de los modos de falla.

Luego de haber identificado los modos de falla, se procede a sopesar lo que acontece, en qué momento se produce, tantear las consecuencias y determinar si se requieren acciones pertinentes para anticipar, prever, detectar, corregir e incluso rediseñar. Y así se llevan a cabo a nivel del modo de falla, el proceso de selección de tareas de mantenimiento y gran parte de la administración de dichas tareas.

Consecuencias de las fallas en RCM

Siempre que se manifiesta una falla, la organización que es usuaria del activo se ve afectada de una u otra manera. Ciertas fallas afectan la salida, la calidad del producto o el servicio al cliente; otras amenazan la seguridad o el medio ambiente; algunas pueden aumentar los costos operativos, por ejemplo, al aumentar el consumo de energía, mientras que algunos tienen un impacto en cuatro, cinco o incluso en las seis áreas; en algunos casos podría parecer que algunas fallas no tienen ningún efecto si ocurren por sí mismas, pero pueden exponer a la organización al riesgo de otras mucho más graves.

Si cualquiera de estos tipos de fallas no se evita, el tiempo y el esfuerzo que deben dedicarse a corregirlas también afectan a la organización, porque la reparación de daños ocasionados por las fallas consume recursos que podrían utilizarse mejor para otros aspectos.

Mantenimiento proactivo para prevenir en RCM

Es gratificante realizar tareas proactivas, tomando en cuenta los costos que conllevan,

estas son factibles si físicamente pueden realizarse acciones para disminuir las consecuencias del modo de falla asociado, a un nivel admisible para el propietario o usuario de los activos. Desde el punto de vista técnico se debe tener en cuenta la relación entre la edad del componente que se está considerando y la probabilidad de que falle, y que sucede una vez que ha comenzado a ocurrir la falla.

Mantenimiento proactivo para predecir en RCM

Existen muchas formas para determinar si las fallas están próximas a producirse. Las tareas denominadas para detectar fallas potenciales se conocen como tareas a condición, las cuales consisten en chequear si hay fallas potenciales, para que se pueda actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional. Esto se conoce también como mantenimiento predictivo ya que basándose en el comportamiento del elemento, se está tratando de predecir si va a fallar.

Aplicación del Proceso RCM

El RCM se fundamenta en el supuesto de que cada activo físico se obtiene para que cumpla una o varias funciones específicas, y el mantenimiento se lleva a cabo para hacer todo lo posible para garantizar que el activo siga cumpliendo las funciones esperadas por sus usuarios, siendo los más importantes la mayoría de las veces, los gerentes de operaciones y de producción, es necesario que estos participen activamente durante todo el proceso para garantizar un programa de mantenimiento óptimo de RCM. También son elementos clave en este asunto el personal de mantenimiento y de diseño, mayormente en los niveles de supervisión, pues son los custodios de la información, y si esta es compartida en un grupo determinado, el personal de mantenimiento recibe de manera más precisa lo que quieren obtener los operadores, además de que los usuarios logran comprender más claramente lo que el mantenimiento puede y no puede conceder.

Beneficios de la aplicación del RCM

- La aplicación adecuada de la metodología de RCM genera:
- Mayor Seguridad e Integridad Ambiental
- Mayor Disponibilidad y Confiabilidad de Planta
- Mejor Calidad del Producto
- Mayor Eficiencia del Mantenimiento (Costo-efectividad)
- Vida Útil más Larga de Ítems Caros
- Mayor motivación de los individuos
- Mejor Trabajo en Equipo
- Una Base de Datos de Mantenimiento
- Un Marco de Referencia Integrador

CALENDARIO DE CURSOS

CON CERTIFICACIÓN INTERNACIONAL

RCT I

Experto en Lubricación de Clase Mundial y Control de la Contaminación

Certificación RCT I por TICD, o por ICML como MLA I/MLT I

22 al 25 de Feb

22 al 25 de Mar

26 al 29 de Abr

RCT II

Experto en Análisis de Aceite con Método ABCDE

(Aditivos-Básico-Contaminación-Desgaste-Eliminación de Modo de Falla)

Certificación RCT II por TICD, o MLA II por ICML

22 al 25 de Mar

RCT III

Experto en Evaluación Financiera de los Beneficios de un Programa de Lubricación de Clase Mundial

Certificación bajo el estándar TICD-JB-0506-93

17 al 20 de May

RCT V

Master of Lubrication Administration

Certificación bajo el estándar TICD-MT-3012/55

15 al 18 de Jun



CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD DEL ACEITE BÁSICO EN LA GRASA PARA LA LUBRICACIÓN DE RODAMIENTOS

José Páramo

Presidente y Fundador del Grupo Techgnosis
www.grupo-techgnosis.com



INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La Serie de Technotips, a diferencia de otros artículos o “tips” que pueda encontrar, tiene como objetivo el APORTAR HERRAMIENTAS PRACTICAS PARA INCREMENTAR LA CONFIABILIDAD TRIBOLOGICA de la maquinaria y equipo en la Industria SIN abundar en largos textos explicativos que luego no se tiene el tiempo de leer y sí, en cambio, el proporcionar a Ud. SOFTWARES de cálculo inéditos para su aplicación inmediata.

EXPLICACIÓN TEÓRICA

En la formulación de una grasa, típicamente más del 80 % es aceite básico (puede ser, inclusive, hasta un 90 %)

Es muy común que la selección de grasas en la Industria se haga tomando en consideración propiedades aportadas por el espesante (que suelen ser jabones de metales, como Litio, Calcio, Aluminio, etc.), por ejemplo: Punto de Goteo, Resistencia al Lavado con Agua, Propiedades Anti-desgaste, Resistencia a Productos Químicos, etc. Es decir, en la abrumadora mayoría de los casos, NO SE HA CONSIDERADO la viscosidad.

del aceite en la grasa, lo cual significa, obviamente, UNA CLARA DE OPORTUNIDAD DE MEJORA DE LA CONFIABILIDAD. Así, casi siempre se tienen motores eléctricos, sopladores, etc. trabajando ya sea, con altas tasas de desgaste o altas temperaturas como resultado de lo anterior, dado que la viscosidad es la propiedad física más importante de un lubricante, pues tal propiedad es precisamente la que permite tener una película que separe las superficies para reducir la fricción y el desgaste.

SOFTWARE DE CÁLCULO

[Abrir archivo adjunto.](#) Instrucciones:

- Paso # 1: Capturar la RPM s a las cuales gira el rodamiento.
- Paso # 2: Capturar el diámetro exterior (D) del rodamiento en mm.
- Paso # 3: Capturar el diámetro interior (d) del rodamiento en mm.
- Paso # 4: Capturar el Valor de Kappa (K). Este se recomienda que sea superior a 2.5 y hasta 4. La vida del rodamiento se maximiza cuando Kappa = 4, por ello, en Techgnosis recomendamos usar este valor (NOTA: Ver definición de Kappa en Software adjunto).
- Paso # 5: Capturar el dato de la temperatura en la carcasa (punto “más cercano” al rodamiento) medida con IR.
- Paso # 6: El software le indica la viscosidad requerida del básico en la grasa en cSt, tanto a la temperatura de operación, como @ 40 °C, que es la temperatura a la cual Ud. Encontrará el dato de viscosidad del básico en la Hoja Técnica de la grasa.
- Paso # 7: Seleccione siempre la viscosidad más cercana a la recomendada.
- Paso # 8: Cuando la viscosidad requerida se encuentre justamente a la mitad entre dos grados ISO, opte por el inmediato superior; es preferible que “sobre” película lubricante a que “falte”, pues en este último caso se tendría desgaste de los elementos lubricados.

EJEMPLO DE APLICACIÓN PRÁCTICA

Determinar la viscosidad requerida para lubricar el siguiente rodamiento Capturar en campos señalados en amarillo los datos del rodamiento y condiciones de operación:

PASO # 1. RPM = 2000

PASO # 2. D = 140 mm

PASO # 3. d = 120 mm

PASO # 4. K = 4

PASO # 5. Temperatura en la Carcasa = 50 °C

PASO # 6. El software le indica que se requiere una viscosidad a la temperatura de operación (70 °C) de 39.78 cSt. En la Tabla inferior, se observa que un básico ISO 150 @ 70 °C tendrá una viscosidad de 37.44 cSt y un ISO 220 tendría 52.16 cSt, por lo cual, se selecciona la viscosidad ISO 150 (o sea, una grasa que tenga entre 135 a 165 cSt @ 40 °C, de acuerdo con la norma ISO de clasificación de viscosidades).

Modelamiento de Confiabilidad Utilizando MINITAB Como Herramienta de Análisis

Resumen

El análisis de la confiabilidad es uno de los aspectos relevantes en la gestión de activos, al igual que la mantenibilidad y la disponibilidad. En el presente artículo simulamos un análisis en una de las tantas herramientas estadísticas con aplicativos en el área de la confiabilidad llamada MINITAB.

Palabras Claves

Confiabilidad, distribución lognormal, distribución weibull, análisis paramétrico.



Jaime Rigoberto Díaz Fernández

Ingeniero Mecánico

Profesional Certificado en Confiabilidad y Mantenimiento

Correo electrónico y Skype: jrdf74@hotmail.com

Colombia

I. Introducción

Inicialmente realizaremos pruebas de normalidad a los datos suministrados, realizaremos seguidamente un análisis no paramétrico donde graficaremos la función de supervivencia y la de riesgo. Posteriormente realizaremos un análisis paramétrico y así obtener la curva de probabilidad.

II. Análisis de Datos y Pruebas de Normalidad

| Horas de Operación antes de falla. | | |
|------------------------------------|--------|--------|
| 531,3 | 746,7 | 701,5 |
| 1077,8 | 322,5 | 479,6 |
| 399,6 | 953,1 | 693,7 |
| 358,6 | 994,2 | 893,4 |
| 448,3 | 526,3 | 396,9 |
| 707,0 | 867,1 | 672,7 |
| 840,4 | 286,8 | 364,5 |
| 377,2 | 312,3 | 609,1 |
| 538,6 | 847,0 | 606,1 |
| 1033,6 | 836,2 | 1122,4 |
| 485,9 | 1394,0 | 673,0 |
| | 1035,7 | 438,4 |

Es fundamental organizar los valores de menor a mayor.

Nuestra primera aproximación de estos datos la logramos dibujando un histograma.

Podemos observar que no se ajustan a una distribución normal, en figura 1. Encontraremos el test de normalidad aplicando la prueba Anderson - Darling y en la figura 2. El resultado de aplicar la prueba Kolmogorov - Smirnov; es de anotar que estas junto con la Chi cuadrado son pruebas de bondad de ajuste (goodness of fit) y buscan probar una hipótesis según la cual los datos corresponden a una distribución seleccionada (para nuestro caso la normal), bajo los parámetros estimados.

El resultado de esto no debe sorprendernos, ya que son tiempos de vida de componentes electrónicos. Lo más probable es que se puedan ajustar a una distribución exponencial, lognormal, gamma o weibull.

Para esta demostración asumimos que los datos son completos (sabemos el tiempo de falla de todos los elementos) y no contamos con datos censurados a la derecha.

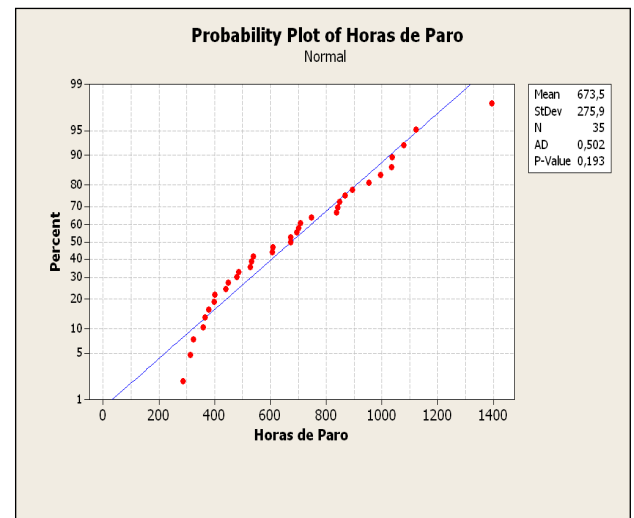
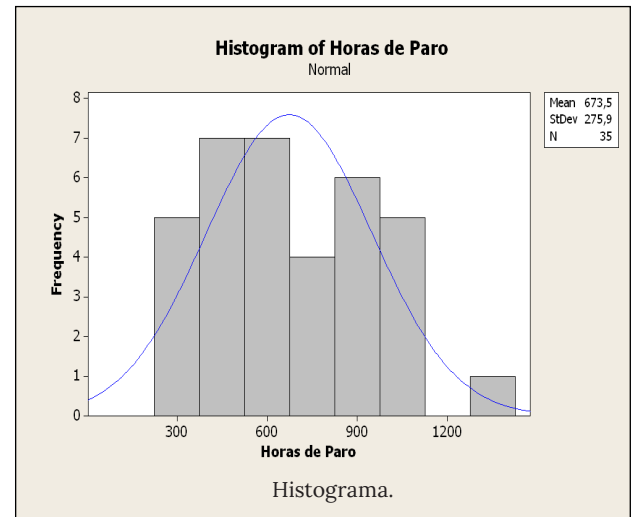


Figura 1. Prueba Anderson - Darling.

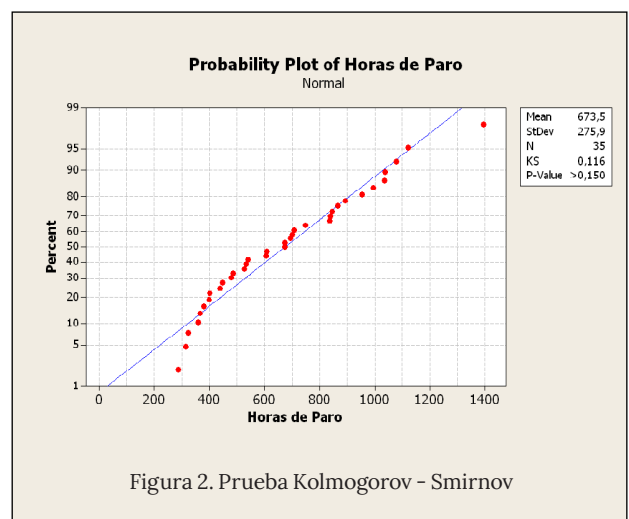


Figura 2. Prueba Kolmogorov - Smirnov

III. Análisis no Paramétrico

Este análisis se realiza a partir de los datos donde las funciones de confiabilidad y riesgo son empíricas, en otras palabras no se asume un modelo teórico de distribución de probabilidad.

En las figuras 3 y 4 podemos observar las funciones de riesgo y de confiabilidad calculadas por esta herramienta.

A continuación veremos la tabla con el análisis de distribución que realiza esta herramienta estadística, teniendo en cuenta que el cálculo se realiza para este caso con un intervalo de confianza del 95%.

Podemos observar que se realiza el análisis de la distribución utilizando el método Kaplan - Meier para estimación y cálculo de la no confiabilidad, este estimador tiene una desventaja y radica en que en el último valor arroja una confiabilidad o mantenibilidad de cero (encerrado en rojo).

Tabla con el análisis de distribución

Distribution Analysis: Horas de Paro

Variable: Horas de Paro
 Censoring Information Count
 Uncensored value 35

Nonparametric Estimates

| Characteristics of Variable | | | | |
|-----------------------------|----------|-----------------|---------|--|
| | Standard | 95,0% Normal CI | | |
| Mean(MTTF) | Error | Lower | Upper | |
| 673,476 | 46,6390 | 582,066 | 764,887 | |

Median = 672,723
 IQR = 428,643 Q1 = 438,419 Q3 = 867,062

Kaplan-Meier Estimates

| Time | Number at Risk | Number Failed | Survival Probability | Standard Error | 95,0% No Lower | 95,0% No Upper |
|---------|----------------|---------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| 286,77 | 35 | 1 | 0,971429 | 0,0281603 | 0,916235 | |
| 312,27 | 34 | 1 | 0,942857 | 0,0392347 | 0,865959 | |
| 322,52 | 33 | 1 | 0,914286 | 0,0473188 | 0,821543 | |
| 358,64 | 32 | 1 | 0,885714 | 0,0537785 | 0,780310 | |
| 364,53 | 31 | 1 | 0,857143 | 0,0591485 | 0,741214 | |
| 377,21 | 30 | 1 | 0,828571 | 0,0637049 | 0,703712 | |
| 396,90 | 29 | 1 | 0,800000 | 0,0676123 | 0,667482 | |
| 399,63 | 28 | 1 | 0,771429 | 0,0709782 | 0,632314 | |
| 438,42 | 27 | 1 | 0,742857 | 0,0738764 | 0,598062 | |
| 448,33 | 26 | 1 | 0,714286 | 0,0763604 | 0,564622 | |
| 479,57 | 25 | 1 | 0,685714 | 0,0784693 | 0,531917 | |
| 485,92 | 24 | 1 | 0,657143 | 0,0802329 | 0,499889 | |
| 526,32 | 23 | 1 | 0,628571 | 0,0816735 | 0,468494 | |
| 531,29 | 22 | 1 | 0,600000 | 0,0828079 | 0,437700 | |
| 538,65 | 21 | 1 | 0,571429 | 0,0836486 | 0,407480 | |
| 672,72 | 18 | 1 | 0,485714 | 0,0844809 | 0,320135 | 0,65129 |
| 672,98 | 17 | 1 | 0,457143 | 0,0842044 | 0,292105 | 0,62218 |
| 693,73 | 16 | 1 | 0,428571 | 0,0836486 | 0,264623 | 0,59252 |
| 701,45 | 15 | 1 | 0,400000 | 0,0828079 | 0,237700 | 0,56230 |
| 706,96 | 14 | 1 | 0,371429 | 0,0816735 | 0,211352 | 0,53151 |
| 746,74 | 13 | 1 | 0,342857 | 0,0802329 | 0,185604 | 0,50011 |
| 836,24 | 12 | 1 | 0,314286 | 0,0784693 | 0,160489 | 0,46808 |
| 840,38 | 11 | 1 | 0,285714 | 0,0763604 | 0,136051 | 0,43538 |
| 847,05 | 10 | 1 | 0,257143 | 0,0738764 | 0,112348 | 0,40194 |
| 867,06 | 9 | 1 | 0,228571 | 0,0709782 | 0,089457 | 0,36769 |
| 893,40 | 8 | 1 | 0,200000 | 0,0676123 | 0,067482 | 0,33252 |
| 953,06 | 7 | 1 | 0,171429 | 0,0637049 | 0,046569 | 0,29629 |
| 994,23 | 6 | 1 | 0,142857 | 0,0591485 | 0,026928 | 0,25879 |
| 1033,56 | 5 | 1 | 0,114286 | 0,0537785 | 0,008882 | 0,21969 |
| 1035,73 | 4 | 1 | 0,085714 | 0,0473188 | 0,000000 | 0,17846 |
| 1077,76 | 3 | 1 | 0,057143 | 0,0392347 | 0,000000 | 0,13404 |
| 1122,42 | 2 | 1 | 0,028571 | 0,0281603 | 0,000000 | 0,08376 |
| 1393,95 | 1 | 1 | 0,000000 | 0,0000000 | 0,000000 | 0,00000 |

$$K-M = 1 - \prod_{j=1}^N \frac{N-j}{N-j+1}$$

donde K-M: estimado de no confiabilidad o mantenibilidad
 Kaplan-Meier; j: posición del dato ordenada de menor a mayor; N: número total de datos.

Método Kaplan - Meier.

A partir de nuestro análisis no paramétrico, ¿Cuál será la confiabilidad a las 700 horas de operación?

En la tabla, si miramos en la fila correspondiente a 693,73 horas encontramos un valor de confiabilidad de 0,4285; el fallo siguiente lo encontraríamos a las 701,45 horas, por tanto a las 700 horas tendrá la misma confiabilidad que las 693,73 horas.

En resumen: la confiabilidad a las 700 horas será 0,4285 o 42,85%.

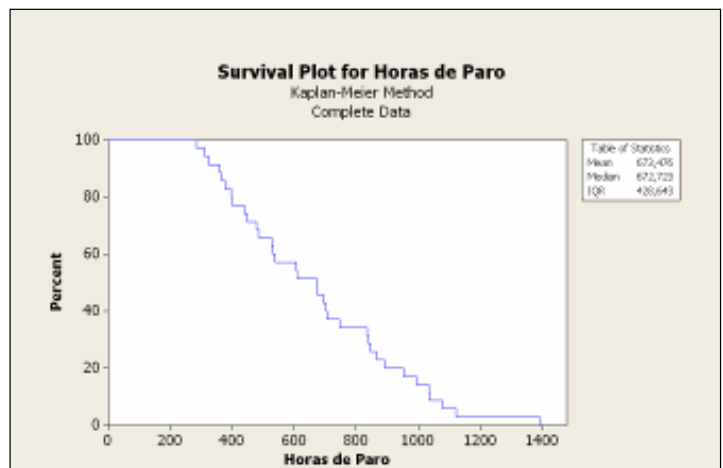


Figura 3. Función de confiabilidad empírica.

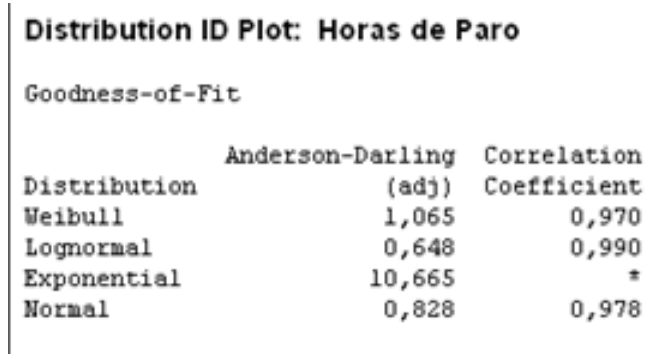


Figura 4. Función de riesgo empírica.

IV. Identificación del Mejor Modelo

Esta herramienta nos permite hacer los gráficos probabilísticas con todas las distribuciones disponibles o escoger las que se crea pueda ajustar mejor los datos.

Seguidamente encontraremos los estadísticos de bondad de ajuste, que nos permiten decidir cuál es el modelo que mejor ajusta los datos.



Debemos tener en cuenta que entre más pequeño sea el valor del estadístico de Anderson-Darling mejor es el ajuste, al mismo tiempo entre mayor sea el coeficiente de correlación mejor es el ajuste.

Para nuestro caso podemos observar que la distribución que se ajusta es la Lognormal.

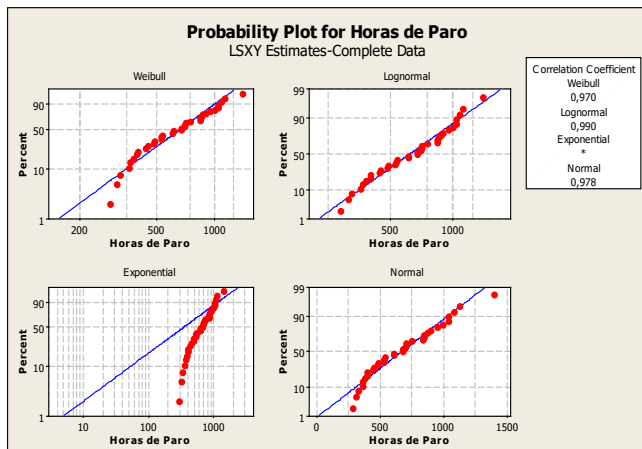


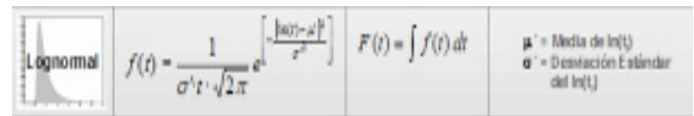
Figura 5. Plot de distribuciones.

Analizando los gráficos de distribuciones probabilísticas debemos tener en cuenta el que muestre los puntos más alineados ya que este corresponde a la distribución que mejor ajustó los datos.

V. Análisis paramétrico

Para realizar un análisis paramétrico asumimos de antemano un modelo teórico (Weibull, exponencial, lognormal, etc.) Al cual suponemos se ajustan los datos dependiendo de su origen.

Igual que en el caso anterior se pueden censurar o no datos a la derecha, para este caso no censuramos datos; se escoge la distribución lognormal por haber identificado que los datos provienen de tiempo de vida de componentes electromecánicos y electrónicos.



Esta es la representación matemática de la distribución de probabilidad lognormal. Igual que hicimos para el análisis no paramétrico tomamos un intervalo de confianza del 95%.

En la figura 6. Encontraremos el gráfico de probabilidad.

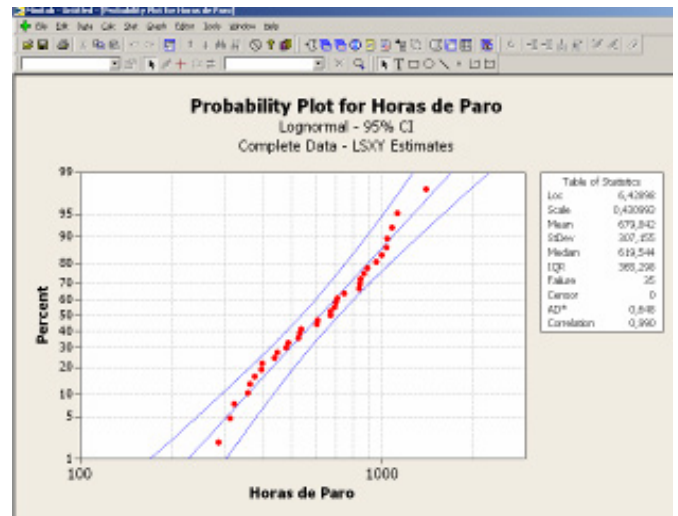


Figura 6. Gráfico de probabilidad.

En la ventana de resultados podemos observar la probabilidad de supervivencia que la herramienta calcula para las 700 horas, siendo esta de 0,3884.

Table of Survival Probabilities

| Time | Probability | 95,0% Normal CI | |
|------|-------------|-----------------|----------|
| | | Lower | Upper |
| 700 | 0,388477 | 0,266964 | 0,522105 |

Adicionalmente esta herramienta muestra un análisis completo de los datos con una tabla de estadísticos.

De igual manera nos permite observar los gráficos de densidad de probabilidad, función de confiabilidad y función de riesgo, ver figura 7.

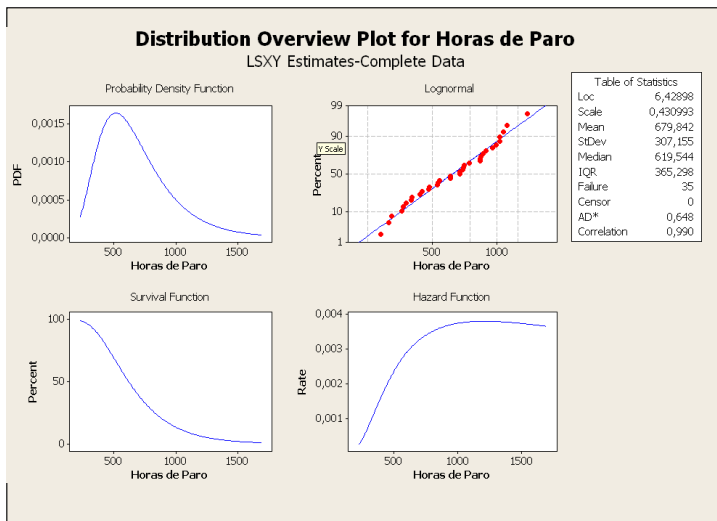


Figura 7. Gráficos de densidad de probabilidad, función de confiabilidad y función de riesgo.

VI. Conclusiones

Al integrar el cálculo de la Confiabilidad, el MTBF, con el análisis de Disponibilidad Operacional, nos permite tener una visión holística de la función mantenimiento, lo que facilita y soporta las decisiones de carácter técnico y financiero sobre los activos.

Desde la perspectiva Gestión del Activo Productivo, la confiabilidad nos permite realizar una gestión en la estructura de pérdidas de tiempo, permitiendo maximizar la efectividad del activo.

Referencias

[1]. Cramer, H., Mathematical Methods of Statistics, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1946.

[2]. Davis, D.J., An Analysis of Some Failure Data, J. Am. Stat. Assoc., Vol. 47, p. 113, 1952.

[3]. Dietrich, D., SIE 530 Engineering Statistics Lecture Notes, The University of Arizona, Tucson, Arizona.

[4]. Dudewicz, E.J., An Analysis of Some Failure Data, J. Am. Stat. Assoc., Vol. 47, p. 113, 1952.

[5]. Dudewicz, E.J., and Mishra, Satya N., Modern Mathematical Statistics, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1988.

Tabla de estadísticos.

Distribution Analysis: Horas de Paro

Variable: Horas de Paro

Censoring Information Count
Uncensored value 35

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Lognormal

Parameter Estimates

| Parameter | Estimate | Standard Error | 95,0% Normal CI Lower | 95,0% Normal CI Upper |
|-----------|----------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| Location | 6,42898 | 0,0728510 | 6,28620 | 6,57177 |
| Scale | 0,430993 | 0,0547833 | 0,335949 | 0,552924 |

Log-Likelihood = -243,868

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 0,648
Correlation Coefficient = 0,990

Characteristics of Distribution

| | Estimate | Standard Error | 95,0% Normal CI Lower | 95,0% Normal CI Upper |
|--------------------------|----------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| Mean(MTTF) | 679,842 | 52,0635 | 585,089 | 789,941 |
| Standard Deviation | 307,155 | 54,8089 | 216,506 | 435,759 |
| Median | 619,544 | 45,1344 | 537,108 | 714,633 |
| First Quartile(Q1) | 463,258 | 37,8418 | 394,722 | 543,693 |
| Third Quartile(Q3) | 828,555 | 67,6815 | 705,976 | 972,418 |
| Interquartile Range(IQR) | 365,298 | 54,6507 | 272,460 | 489,769 |

Table of Percentiles

| Percent | Percentile | Standard Error | 95,0% Normal CI Lower | 95,0% Normal CI Upper |
|---------|------------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 227,317 | 33,3695 | 170,482 | 303,100 |
| 2 | 255,656 | 34,2675 | 196,591 | 332,467 |
| 3 | 275,442 | 34,7577 | 215,089 | 352,730 |
| 4 | 291,328 | 35,0874 | 230,072 | 368,894 |
| 5 | 304,924 | 35,3333 | 242,973 | 382,671 |
| 6 | 316,996 | 35,5292 | 254,478 | 394,872 |
| 7 | 327,972 | 35,6929 | 264,973 | 405,950 |
| 8 | 338,123 | 35,8351 | 274,702 | 416,185 |
| 9 | 347,626 | 35,9626 | 283,827 | 425,766 |
| 10 | 356,611 | 36,0801 | 292,465 | 434,825 |
| 20 | 431,062 | 37,1642 | 364,043 | 510,418 |
| 30 | 494,215 | 38,7024 | 423,894 | 576,202 |
| 40 | 555,458 | 41,1935 | 480,314 | 642,359 |
| 50 | 619,544 | 45,1344 | 537,108 | 714,633 |
| 60 | 691,024 | 51,2473 | 597,540 | 799,133 |
| 70 | 776,655 | 60,8205 | 666,147 | 905,496 |
| 80 | 890,440 | 76,7697 | 752,001 | 1054,37 |
| 90 | 1076,34 | 108,899 | 882,734 | 1312,41 |
| 91 | 1104,16 | 114,227 | 901,515 | 1352,35 |
| 92 | 1135,19 | 120,311 | 922,269 | 1397,28 |
| 93 | 1170,33 | 127,366 | 945,522 | 1448,58 |
| 94 | 1210,85 | 135,713 | 972,048 | 1508,32 |
| 95 | 1258,79 | 145,863 | 1003,04 | 1579,74 |
| 96 | 1317,53 | 158,683 | 1040,50 | 1668,32 |
| 97 | 1393,52 | 175,848 | 1088,18 | 1784,54 |
| 98 | 1501,37 | 201,240 | 1154,50 | 1952,45 |
| 99 | 1688,54 | 247,874 | 1266,36 | 2251,47 |

Capacitación para empresas

Cursos Línea y Presenciales

Descarga el catálogo de cursos

ver catálogo

Índice de cursos

Área de Ingeniería de Mantenimiento

1. Estándares de Planeamiento y Control del Mantenimiento
2. Gestión de Costos de Mantenimiento (OCH)
3. Mantenimiento Productivo Total (TPM)
4. Administración de Mantenimiento
5. Gestión y Optimización de Inventario para mantenimiento
6. Auto-Evaluación de Mantenimiento
7. Estrategias de Gestión de Mantenimiento - ABC-RAM y TQC
8. Gestión de Mantenimiento
9. Optimización de Recursos de Mantenimiento
10. Inspecciones, Revisiones, Ajustes
11. Planificación, Programación y Costos de Mantenimiento

Área de Ingeniería de Confiabilidad

1. Fundamentos de Ingeniería de Confiabilidad Operacional
2. Análisis de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (RAM)
3. Introducción a la Confiabilidad Humana
4. Aplicación de la Norma ISO 14224 en sistemas CMMS para gestión de Activos
5. Generación de Planes Óptimos de Mantenimiento Centrada en Confiabilidad
6. Mantenimiento por Condición para Equipos Estáticos y Dinámicos (Mantenimiento Predictivo)
7. Planificación, Gestión y Optimización del Mantenimiento enfocado en Confiabilidad
8. Técnicas de Análisis de Fallos y Solución de Problemas a través del Análisis de Causa Raíz
9. Taller de Análisis de Confiabilidad (Detección de Oportunidades)
10. Sistemas de Indicadores (KPI) para evaluar la Gestión del Mantenimiento

Área de Desarrollo Técnico

1. Pruebas de Eficiencia en Compresores Centrífugos y Turbinas a Gas
2. Análisis de Vibración Nivel I
3. Análisis de Vibración Nivel II
4. Lubricación como herramienta efectiva del mantenimiento de equipos dinámicos
5. Principios de funcionamiento, operación y mantenimiento de motores a resaca rotocombustibles

Análisis RAM (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad)

Descripción del curso

Este curso otorga al participante habilidades en los principales aspectos ligados con los análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad de equipos e instalaciones complejas con el fin de dar soporte al mejoramiento y optimización de la gestión y vida útil de los activos productivos.

Modalidades en la que puede ser dictado:

Presencial en la Company -
Revisión en línea con facilitador en vivo: 16 horas

A quién va dirigido el curso:

Ingenieros y Técnicos que se inicien en el campo del Mantenimiento Predictivo en plantas industriales.

Objetivo del curso:

El objetivo del curso es enseñar y desarrollar un caso práctico de análisis RAM durante las sesiones, para que el estudiante se encuentre en la capacidad de realizar estudios de este tipo por su cuenta.

Qué incluye el curso:

- Certificado de asistencia y participación de Predictivo
- Material Complementario del curso

Programa del curso

Definiciones y Conceptos. Relación de un RAM con la Vida del Activo. Etapas para un Análisis RAM.

- Definiciones y conceptos básicos: TQPC, TPM, Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad, etc.
- Análisis RAM y su relación con la gestión de activos
- Qué es el análisis RAM
- Metodologías utilizadas para análisis RAM
- Diagramas de bloques, Diagramas de Mantenimiento
- Diagrama para la implementación de un RAM
- Modelos: con diagrama de bloques, con curvas de fiabilidad, con curvas de vida útil, etc.
- Ejercicios
- Medios de enseñanza y evaluación

Construcción del Modelo de RAM

- Planificación y agenda del RAM
- Documentación requerida para el análisis de RAM
- Construcción de modelo RAM
- Cálculo de disponibilidad de RAM

Bases de Datos, Ajuste y Combinación de Fuentes

- Bases de datos: Excel, Access, etc.
- Particulares (recopilación de datos)
- Opinión de expertos
- Combinación de fuentes de datos
- Ajuste de los datos comerciales, etc.
- Distribución de datos

Caso Práctico

- Simulación
- Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad
- Identificación de oportunidades de mejora

Modelos matemáticos de cálculo de criticidades de activos industriales



Dr. Marc Gardella, Ph.D.

Director SIMRO CONSULTING

Barcelona, España

marc.gardella@simroconsulting.com

Resumen

Debido a la complejidad tecnológica y de gestión que se vislumbra en las empresas industriales, se está en una situación de optimizar los recursos aportados para extraer el máximo rendimiento. Para ello, es necesario disponer de una planificación de las actividades acorde con las necesidades que solicitan las instalaciones, y para conocer el orden de la planificación se puede hallar mediante modelos de estudio de prioridades o criticidad de instalaciones.

Es habitual definir la criticidad de un activo o instalación mediante variables o parámetros técnicos e incluso económicos; pero, en toda actividad empresarial existen variables funcionales, legales, de disponibilidad, productividad, etc. El presente estudio, muestra una forma de calcular la criticidad de activos mediante la medición y posterior utilización de variables que, de una u otra forma influyen en el activo.

La cantidad de variables necesarias para obtener resultados, es función del grado de precisión que se desee. Cuantas más variables, más es la precisión de los resultados; pero, ello no quiere decir que el modelo sea mejor cuantas más variables se utilicen. El fin del presente estudio, es encontrar el equilibrio entre el tiempo necesario para encontrar los resultados y la precisión necesaria en cada caso.

Se presenta un caso de estudio donde se calcula la criticidad de 10 activos mediante 3 cantidades de variables diferentes; obteniendo resultados parecidos, que difieren en su precisión.



Nomenclatura

| | |
|-----------|---|
| C | : Valor de criticidad de un equipo o instalación. |
| T_i | : Tipo característica. |
| V_{T_y} | : Variable criticidad. |
| P_{T_y} | : 1 ó 0, según corresponda o no la variable de criticidad de un tipo de característica. |
| i | : Número de característica. |
| j | : Número de variable de criticidad. |
| R_k^I | : Valor inferior de rango criticidad k. |
| R_k^S | : Valor superior de rango criticidad k. |
| S_k | : Valor de rango criticidad k. |
| k | : Rango criticidad k. |

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de criticidades, tal y como comenta August, J [1] de activos e instalaciones es esencial para estructurar y establecer la estrategia de la actuación de un Departamento de Mantenimiento. Con este análisis se puede determinar las prioridades en la utilización de los recursos humanos y tecnológicos, descrito por Souris J [2]. Amendola L [3] nos dice que el propósito común en una industria de fabricación continuo, es el mínimo de paradas de las plantas al mínimo coste posible; para llegar a la máxima eficiencia.

La base de una buena planificación en mantenimiento, es la capacidad que se dispone de definir qué tan crítico es un activo o instalación [4]. Ya que con ello, se podrá determinar la prioridad en la asignación de recursos preventivos, afirmación de Gómez de León FC [5]. De este modo se facilita que los costes de los mismos se reduzcan y aumente la eficiencia tanto de Mantenimiento como Producción, Ingeniería, Seguridad, Calidad, Compras.

Para definir la criticidad de activos e instalaciones, se debe disponer de un procedimiento o método que la determine; así como, de una correcta ponderación de su valor. Hay varias formas de cálculo y ponderación de criticidad tal i como comenta Martorell S [6,7], que utilizan la seguridad, calidad y producción como herramientas midiendo la repercusión humana, medioambiental o económica en cada uno de estos conceptos.

El presente estudio determina la criticidad, mediante la ponderación de variables que participen directa o indirectamente en la función o funciones de los activos e instalaciones. Dichas variables o también llamadas características, se agrupan por tipos de características, como define Gardella M [8,9]. Definiendo que características intervienen en cada activo o instalación, se calcula su criticidad como la suma de las ponderaciones de cada una de dichas características. Cuantas más variables utilizadas más precisión en el resultado, pero se necesita más recursos para lleva a cabo el cálculo. Encontrar el equilibrio entre la precisión o fiabilidad del resultado con los

recursos aportados, es el gran objetivo de los usuarios del presente estudio.

El caso de estudio muestra un estudio de criticidades por el método de valoración de características, donde se calcula la criticidad de 10 activos mediante 3 cantidades de variables, de mayor a menor fiabilidad.

2. ESTADO DEL ARTE

Varios autores describen el cálculo de criticidad utilizando el método que contempla varios aspectos operativos como pueden ser Seguridad y Medio Ambiente, Calidad, Producción y Mantenimiento; varios niveles de impacto, que pueden ser 4; con lo que se utiliza una matriz de 4x4 para calcular la criticidad de plantas, procesos, subprocesos y equipos; a estos niveles de impacto de aspectos operativos tienen consecuencias, algunas de ellas se miden en dinero, tal y como definen Moubray J y Bilinton R [10,11]. Dicho método es válido para obtener resultados basados en rangos de impacto económico amplios y que puede generar la misma criticidad en activos e instalaciones de similares características; pero, no iguales [12].

Se vislumbra la necesidad de tomar toda la instalación como un conjunto y definir una cantidad de variables que participan con el activo, no solo variables de diseño y proceso (temperatura, presión, caudal, intensidad, tensión, productividad, fluido, reacción, almacenaje,...) sino también comerciales, calidad, legales, variables de disponibilidad,... (satisfacción del cliente, valor producto, ISO 14000, ATEX, intercambiable, recambios disponibles en almacén, previsión futura del producto,...), tal y como propone You-tern T [13].

De este modo Gómez de León Hijes FC [14], describe la clasificación de activos e instalaciones como la definición de características o multicriterios basados en características de seguridad, funcionales, operacionales, mantenimiento, intercambiabilidad, etc, basados en los estudios de Romero C [15]. Además hay criterios económicos y de frecuencia de aparición del fallo. Con todo ello, se define una tipo de mantenimiento más o menos intenso, en función de la mayor o menor criticidad.

El presente estudio de cálculo de criticidad, se basa en el estudio de Gómez de León Hijes FC [14]; pero, da otro enfoque a la definición de características; así como, da la posibilidad de utilizar más o menos cantidad de variables o características de criticidad, en función de los resultados que se quieran obtener y los recursos disponibles.

3. METODOLOGÍA

El desarrollo y proceso de cálculo, se basa en la asignación de un valor numérico a variables que mide la criticidad de equipos o instalaciones. Dichas variables se agrupan en tipos de características, que son atributos similares que definen y determinan funciones internas como externas de los activos e instalaciones, a los cuales se está midiendo su criticidad. Los tipos de características son del tipo económico, técnico, productivo e incluso legal; ya que variables de cada uno de estos tipos de características influyen en la actividad de los equipos o instalaciones. El valor numérico asignado a cada variable es entero y se determina dentro de un rango de valores comparativo con el resto de variables que miden la criticidad. En función del sector industrial al cual se realiza el estudio de cálculo de criticidad, los valores numéricos de cada una de las variables pueden variar considerablemente. No es lo mismo la variable intercambiabilidad de componentes o equipos en instalaciones de una industria Petroquímica de una industria Nuclear, ya que la industria Petroquímica dispone de multitud de procesos físico-químicos con gran cantidad de máquinas diferentes situadas en diferentes localizaciones; en cambio, en la industria Nuclear, a pesar de su complejidad, dispone de 3 procesos muy determinados con equipos de mucha responsabilidad pero poco numerosos y variados.

Tomando como referencia a Creus A [16], la cantidad de tipos de características y variables por cada una de ellas, será función de la precisión o fiabilidad del resultado de criticidad que se quiera obtener. Por tanto, en un estudio de criticidad donde existan poca cantidad de variables la fiabilidad del resultado de criticidad es menor que en un estudio que dispone de gran cantidad de variables. Pero, por contrapartida, el estudio de poca cantidad de variables necesita de menos recursos para su cálculo; mientras que el de gran cantidad de variables necesita de muchos recursos para resolverlo.

Una vez definidas los Tipos de Características, las variables de criticidad de cada una de ellas y ponderadas numéricamente todas las variables; es necesario, decidir cuantas variables de cada Tipo de Característica se van a utilizar en cada estudio. De un estudio a otro se pueden cambiar la configuración de la selección de variables que entran en juego; pero, un estudio comprende el cálculo de criticidad de varios equipos o instalaciones de una misma planta industrial. Si se pretende escoger diferentes configuraciones, para equipos o instalaciones de una misma planta industrial los valores de criticidad obtenidos no se podrán comparar entre sí y no se podrá determinar qué equipo o instalación es más crítico; con lo que, el estudio de criticidad no tendrá valor.

El valor de criticidad de un equipo o instalación, viene expresado mediante la ecuación 1.

$$C = \sum (V_{T_j} \cdot P_{T_j}) \quad \forall i y \forall j \quad (1)$$

Una vez se ha definido la criticidad, es el momento de establecer grupos de severidad de criticidad por los cuales se considera que un equipo o instalación es más o menos crítico que otro.

$$R_1^I = 0 \quad (2)$$

$$R_k^I = R_{k-1}^S + 1 \quad \forall k \quad (3)$$

$$R_k^S = R_k^I + S_k \quad \forall k \quad (4)$$

4. CASO DE ESTUDIO

4.1 Definición de características

El presente caso de estudio muestra una organización de cálculo de criticidades por el método de Características de los Equipos. Los tipos de características se pueden observar en la tabla 1. Los tipos de fiabilidad del cálculo de la criticidad son 3, y la cantidad de variables por tipo de característica se representa en la tabla 2.

| TIPOS DE CARACTERÍSTICAS | |
|--------------------------|---------------------------------|
| 1 | Tipo de Equipo |
| 2 | Tipo de Proceso |
| 3 | Producto de Trabajo |
| 4 | Variables Técnicas |
| 5 | Variables Funcionales |
| 6 | Variables Legales |
| 7 | Variables Económicas |
| 8 | Variables de Intercambiabilidad |

Tabla 1- Tipos de Características

| TIPOS DE CARACTERÍSTICAS | Nº VARIABLES | | |
|------------------------------|--------------|------------|--------------|
| | FIAB. 1 | FIAB. 2 | FIAB. 3 |
| Tipo de Equipo | 5 | 60 | 490 |
| Tipo de Proceso | 5 | 20 | 150 |
| Producto de Trabajo | 3 | 15 | 40 |
| Variables Técnicas | 10 | 85 | 1.200 |
| Variables Funcionales | 3 | 12 | 44 |
| Variables Legales | 3 | 25 | 250 |
| Variables Económicas | 4 | 50 | 300 |
| Variables Intercambiabilidad | 2 | 15 | 100 |
| Total | 35 | 282 | 2.574 |

Tabla 2- Cantidad de variables por Tipos de Fiabilidad

Como se observa en la tabla 2, para cada tipo de fiabilidad de la criticidad tiene una cantidad diferente de variables de cada tipo de características. Con ello, se consigue mayor precisión utilizando el tipo de fiabilidad 3 que el de fiabilidad 2 y el de fiabilidad 1; pero, por contrapartida, se necesita más recursos para utilizarlo.

Se muestran en las tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, y 10 las variables de cada tipo de característica y su ponderación en criticidad, del tipo de Fiabilidad 1.

| TIPOS DE EQUIPO | | |
|-----------------|----------------------|------------|
| Nº ORDEN | VARIABLES | CRITICIDAD |
| 1 | Equipos Rotativos | 80 |
| 2 | Intercambio de Calor | 110 |
| 3 | Depósitos | 75 |
| 4 | Valvulería | 45 |
| 5 | Equipos Eléctricos | 60 |

Tabla 3- Tipos de equipos de Fiabilidad 1

| TIPOS DE PROCESO | | |
|------------------|------------|------------|
| Nº ORDEN | VARIABLES | CRITICIDAD |
| 1 | Producción | 210 |
| 2 | Logística | 280 |
| 3 | Calidad | 190 |
| 4 | Servicios | 325 |
| 5 | Auxiliares | 170 |

Tabla 4- Tipos de procesos de Fiabilidad 1

| PRODUCTO DE TRABAJO | | |
|---------------------|------------------------|------------|
| Nº ORDEN | VARIABLES | CRITICIDAD |
| 1 | Materia Prima | 400 |
| 2 | Producto Acabado | 420 |
| 3 | Productos de Servicios | 450 |

Tabla 5- Producto de trabajo de Fiabilidad 1

| VARIABLES TÉCNICAS | | |
|--------------------|---------------|------------|
| Nº ORDEN | VARIABLES | CRITICIDAD |
| 1 | Geometría | 38 |
| 2 | Transmisión | 18 |
| 3 | Estanqueidad | 50 |
| 4 | Dinámica | 15 |
| 5 | Estática | 100 |
| 6 | Materiales | 40 |
| 7 | Eléctricas | 100 |
| 8 | Productivo | 140 |
| 9 | Seguridad | 150 |
| 10 | Confiabilidad | 210 |

Tabla 6- Variables técnicas de Fiabilidad 1

| TIPOS DE PRODUCCIÓN | | |
|---------------------|-------------|------------|
| Nº ORDEN | VARIABLES | CRITICIDAD |
| 1 | Continuo | 150 |
| 2 | Discontinuo | 110 |
| 3 | Bajo pedido | 90 |

Tabla 7- Tipos de producción de Fiabilidad 1

| VARIABLES LEGALES | | |
|-------------------|---------------------------|------------|
| Nº ORDEN | VARIABLES | CRITICIDAD |
| 1 | Reglamentación Industrial | 120 |
| 2 | Medio Ambiente | 180 |
| 3 | Seguridad | 160 |

Tabla 8- Variables legales de Fiabilidad 1

| VARIABLES ECONÓMICAS | | |
|----------------------|------------------|------------|
| Nº ORDEN | VARIABLES | CRITICIDAD |
| 1 | Coste | 235 |
| 2 | Valor activo | 135 |
| 3 | Stock disponible | 230 |
| 4 | Precio producto | 310 |

Tabla 9- Variables económicas de Fiabilidad 1

| VARIABLES DE INTERCAMBIABILIDAD | | |
|---------------------------------|------------------------|------------|
| Nº ORDEN | VARIABLES | CRITICIDAD |
| 1 | Reparable | 45 |
| 2 | Existencia de recambio | 75 |

Tabla 10- Variables de intercambiabilidad de Fiabilidad 1

Dado la gran cantidad de variables de los tipos de características del tipo de fiabilidad 2 y 3, solo se muestran las tablas 11, 12 y 13 de Fiabilidad 2. Una vez mostrado el desarrollo de los tipos de Fiabilidad 1; se indica, que el desarrollo del tipo de Fiabilidad 2 y 3 consiste en definir más cantidad de intervalos de las variables mostradas en el tipo de Fiabilidad 1.

El impacto humano, medioambiental y económico de cada una de las variables o características de todos los Tipos de Características, no se muestra debido a su complejidad; dicho impacto trabaja en unos rangos adecuados al tipo de industria donde se implanta, dichos impactos son acometidos en Casal J [17]. Para cada tipo de fiabilidad, los rangos de impacto se dividen en más o menos partes según dispongan de más o menos variables para cada característica.

| TIPOS DE PROCESO | | |
|------------------|-------------------------|------------|
| Nº | VARIABLES | CRITICIDAD |
| 1 | Reacción | 280 |
| 2 | Transformación | 250 |
| 3 | Destilación | 220 |
| 4 | Fusión | 310 |
| 5 | Mezcla | 190 |
| 6 | Recepción materia prima | 150 |
| 7 | Producto semielaborado | 240 |
| 8 | Producto elaborado | 195 |
| 9 | Empaquetado | 140 |
| 10 | Etiquetado | 180 |
| 11 | Calidad de producto | 260 |
| 12 | Calidad de proceso | 200 |
| 13 | Calidad humana | 230 |
| 14 | Agua | 250 |
| 15 | Gas | 280 |
| 16 | Electricidad | 265 |
| 17 | Comunicación | 350 |
| 18 | Oficinas | 125 |
| 19 | Laboratorio | 210 |
| 20 | Mantenimiento | 190 |

Tabla 11- Tipos de procesos de Fiabilidad 2

Los valores de criticidad de las características, se definen en función de la importancia que tiene en las funciones directas e indirectas del activo o instalación a que se está calculando la criticidad. En el presente estudio los valores de criticidad van de 15 a 450 en Fiabilidad 1; 1 a 500 en Fiabilidad 2 y 1 a 544 en Fiabilidad 3. Dichos valores se toman como referencia mínima y máxima de criticidad de características y las demás se ponderan dándole un valor relativo y proporcional a la importancia o consecuencia humanas, medioambientales y económicas.

| VARIABLES TÉCNICAS | | | | | |
|--------------------|----------------------|------------|----|------------------------|------------|
| Nº | VARIABLES | CRITICIDAD | Nº | VARIABLES | CRITICIDAD |
| 1 | Longitud >10 m | 70 | 44 | Presión de diseño 1 | 100 |
| 2 | Longitud 1 a 10 m | 40 | 45 | Presión de diseño 2 | 55 |
| 3 | Longitud < 1 m | 25 | 46 | Presión de diseño 3 | 20 |
| 4 | Diámetro >1 m | 90 | 47 | Temperatura de trabajo | 295 |
| 5 | Diámetro 250 a 1 m | 60 | 48 | Temperatura de trabajo | 240 |
| 6 | Diámetro 50 a 250 m | 35 | 49 | Temperatura de trabajo | 130 |
| 7 | Diámetro < 50 mm | 10 | 50 | Temperatura de trabajo | 90 |
| 8 | Altura > 3 m | 60 | 51 | PxV 1 | 90 |
| 9 | Altura 500 a 3 m | 35 | 52 | PxV 2 | 40 |
| 10 | Altura < 500 mm | 15 | 53 | DN 1 | 25 |
| 11 | Volumen 1 | 110 | 54 | DN 2 | 15 |
| 12 | Volumen 2 | 80 | 55 | DN 3 | 8 |
| 13 | Volumen 3 | 50 | 56 | DN 4 | 6 |
| 14 | Peso 1 | 33 | 57 | PN 1 | 30 |
| 15 | Peso 2 | 20 | 58 | PN 2 | 16 |
| 16 | Peso 3 | 12 | 59 | PN 3 | 9 |
| 17 | Tipo transmisión 1 | 25 | 60 | PN 4 | 7 |
| 18 | Tipo transmisión 2 | 20 | 61 | Material 1 | 90 |
| 19 | Tipo transmisión 3 | 10 | 62 | Material 2 | 65 |
| 20 | Tipo transmisión 4 | 7 | 63 | Material 3 | 40 |
| 21 | Tipo cierre 1 | 130 | 64 | Material 4 | 25 |
| 22 | Tipo cierre 2 | 50 | 65 | Material 5 | 15 |
| 23 | Tipo cierre 3 | 30 | 66 | Intensidad 1 | 120 |
| 24 | Material junta 1 | 210 | 67 | Intensidad 2 | 90 |
| 25 | Material junta 2 | 155 | 68 | Intensidad 3 | 60 |
| 26 | Material junta 3 | 110 | 69 | Voltaje 1 | 150 |
| 27 | Material junta 4 | 70 | 70 | Voltaje 2 | 100 |
| 28 | Material junta 5 | 30 | 71 | Voltaje 3 | 40 |
| 29 | Potencia 1 | 180 | 72 | Caudal 1 | 140 |
| 30 | Potencia 2 | 120 | 73 | Caudal 2 | 90 |
| 31 | Potencia 3 | 55 | 74 | Caudal 3 | 60 |
| 32 | R.P.M. 1 | 10 | 75 | Caudal 4 | 35 |
| 33 | R.P.M. 2 | 5 | 76 | NPSH 1 | 140 |
| 34 | Tipo reductor 1 | 30 | 77 | NPSH 2 | 100 |
| 35 | Tipo reductor 2 | 15 | 78 | NPSH 3 | 70 |
| 36 | Rendimiento 1 | 110 | 79 | Producción horaria | 180 |
| 37 | Rendimiento 2 | 75 | 80 | Disponibilidad/anual | 310 |
| 38 | Presión de trabajo 1 | 230 | 81 | Productividad | 280 |
| 39 | Presión de trabajo 2 | 170 | 82 | Protección IP 1 | 140 |
| 40 | Presión de trabajo 3 | 120 | 83 | Protección IP 2 | 95 |
| 41 | Presión de prueba 1 | 150 | 84 | Fiabilidad | 250 |
| 42 | Presión de prueba 2 | 90 | 85 | Mantenibilidad | 205 |
| 43 | Presión de prueba 3 | 40 | | | |

Tabla 12- Variables técnicas de Fiabilidad 2

| TIPOS DE PRODUCCIÓN | | |
|---------------------|---------------------------------|------------|
| Nº | VARIABLES | CRITICIDAD |
| 1 | Continuo 365 días / año | 350 |
| 2 | Continuo 300 a 364 días / año | 200 |
| 3 | Continuo 24 horas/día | 180 |
| 4 | Continuo 16 horas/día | 140 |
| 5 | Continuo 8 horas/día | 80 |
| 6 | Discontinuo > 75 % ocupación | 290 |
| 7 | Discontinuo 50 a 75 % ocupación | 220 |
| 8 | Discontinuo 25 a 50 % ocupación | 140 |
| 9 | Discontinuo < 25 % ocupación | 50 |
| 10 | Pedidos semanales | 120 |
| 11 | Pedidos mensuales | 80 |
| 12 | Pedidos anuales | 40 |

Tabla 13- Tipos de Producción de Fiabilidad 2

4.2 Cálculo criticidad a 10 activos

Se calcula la criticidad de 10 activos (2 reactores, 2 tanques, 3 bombas, 1 intercambiador, 1 agitador y 1 polipasto). El valor de criticidad para cada uno de los equipos, calculado con el tipo de Fiabilidad 1 es el que se muestra en la tabla 14.

| CÁLCULO CRITICIDAD TIPO FIABILIDAD 1 PARA 10 EQUIPOS | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|------------|-----------|-----------|----------|----------|---------|---------|---------|----------------|------|------|
| TIPO CARACTERÍSTICA | VARIABLES | CRITICIDAD | REACTOR 1 | REACTOR 2 | TANQUE 1 | TANQUE 2 | BOMBA 1 | BOMBA 2 | BOMBA 3 | INTERCAMBIADOR | | |
| | | | 2453 | 2430 | 2633 | 2633 | 1763 | 2428 | 1728 | 2433 | 1733 | 1308 |
| tipos de equipo | Equipos Rotativos | 80 | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Intercambio de Calor | 110 | 1 | 1 | | | | | | | 1 | |
| | Depósitos | 75 | | | 1 | 1 | | | | | | |
| | Valvulería | 45 | | | | | | | | | | |
| | Equipos Eléctricos | 60 | | | | | | | | | | |
| tipos de procesos | Producción | 210 | 1 | 1 | | | | 1 | | 1 | | |
| | Logística | 280 | | | | | | | | 1 | | |
| | Calidad | 190 | | | | | | | | | | |
| | Servicios | 325 | | | 1 | 1 | 1 | | | | | 1 |
| | Auxiliares | 170 | | | | | | | | | | 1 |
| productos de | Materia Prima | 400 | | | | | | | | 1 | | |
| | Producto Acabado | 420 | 1 | 1 | | | | | 1 | | 1 | |
| | Productos de Servicios | 450 | | | 1 | 1 | 1 | | | | | 1 |
| variables técnicas | Geometría | 38 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | | |
| | Transmisión | 18 | | | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| | Estanqueidad | 50 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | |
| | Dinámica | 15 | | | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| | Estática | 100 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | 1 | |
| | Materiales | 40 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | |
| | Eléctricas | 100 | | | | | | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| | Requerimiento Productivo | 140 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | 1 | |
| | Seguridad | 150 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | | 1 |
| | Confiability | 210 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| tipos de producción | Continuo | 150 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | 1 |
| | Discontinuo | 110 | 1 | | | | | | | | | |
| | Bajo pedido | 90 | | | | | | | 1 | 1 | 1 | |
| variables legales | Reglamentación Industrial | 120 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | | 1 |
| | Medio Ambiente | 180 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | | 1 |
| | Seguridad | 160 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | | 1 |
| variables económicas | Coste | 235 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Valor activo | 135 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Stock disponible | 230 | | | 1 | 1 | | | | | | |
| variables de intercambiabilidad | Precio producto | 310 | | | | | | | | | | |
| | Reparable | 45 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 |
| | Existencia de recambio | 75 | | | | | | | 1 | 1 | | 1 |

Tabla 14- Valor de criticidad de 10 equipos con el tipo de Fiabilidad 1

El presente estudio de cálculo de criticidad selecciona 17 variables del total; 1 variable para los Tipos de Características tipos de equipo, tipos de procesos, productos de trabajo, tipos de producción y variables de intercambiabilidad; 2 para variables económicas; 3 para variables legales; 7 para variables técnicas. Cada uno de los tipos de Fiabilidad, selecciona la misma cantidad de variables de cada una de los Tipos de Características. Con ello, se consigue mostrar las diferentes precisiones y fiabilidades de cada uno de ellos.

| CÁLCULO CRITICIDAD DEL TIPO FIABILIDAD 2 PARA 10 EQUIPOS | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|------------|-----------|-----------|----------|----------|---------|---------|---------|----------------|-----------|
| TIPO CARACTERÍSTICA | VARIABLES | CRITICIDAD | REACTOR 1 | REACTOR 2 | TANQUE 1 | TANQUE 2 | BOMBA 1 | BOMBA 2 | BOMBA 3 | INTERCAMBIADOR | POLIPASTO |
| | | | 4000 | 3300 | 4425 | 4035 | 2316 | 1276 | 2200 | 1200 | 391 |
| tipos de equipo | Agitador | 120 | | | | | | | | | 1 |
| | Bomba rotodinámica | 100 | | | | 1 | 1 | 1 | | | |
| | Polipasto | 45 | | | | | | | | | 1 |
| | Intercambiador de calor de tubos | 120 | | | | | | | | 1 | |
| | Tanque | 240 | | | 1 | 1 | | | | | |
| tipos proceso | Reactor | 140 | 1 | 1 | | | | | | | |
| | Reacción | 280 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| | Transformación | 250 | | | | | | | | | |
| | Destilación | 220 | 1 | | | | | | | | |
| | Almacenaje producto elaborado | 195 | | | | | | | 1 | | |
| tipos producto | Agua | 250 | | | | | | 1 | | | 1 |
| | Líquido | 220 | | | | | | | 1 | | 1 |
| | Líquido | 140 | | 1 | | | | | | 1 | |
| | Grasa | 110 | | | | | | | | | 1 |
| | Hidrógeno | 500 | | 1 | | | | | | | |
| variables técnicas | Amoniaco | 500 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | |
| | Diámetro >1 m | 90 | | | | | | | | | 1 |
| | Volumen 1 | 110 | 1 | 1 | 1 | | | | | | |
| | Volumen 2 | 80 | | 1 | | | | | | | |
| | Tipo transmisión 2 | 20 | | | | 1 | | | | | |
| | Tipo transmisión 3 | 10 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Tipo transmisión 4 | 7 | | | | | | | | | 1 |
| | Tipo cierre 1 | 130 | | | | | | | 1 | 1 | 1 |
| | Material junta 1 | 210 | 1 | 1 | 1 | | | | | | |
| | Material junta 2 | 155 | | 1 | | | | | | | |
| | Potencia 2 | 120 | | | | | 1 | | | | 1 |
| | Potencia 3 | 55 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Presión de trabajo 1 | 230 | | 1 | | | | | | | |
| | Presión de trabajo 2 | 170 | 1 | 1 | 1 | | | | | | 1 |
| | Presión de trabajo 3 | 120 | | 1 | | | | | | | |
| | Temperatura de trabajo 1 | 295 | 1 | 1 | 1 | | | | | | |
| | Temperatura de trabajo 2 | 240 | | 1 | | | | | | | |
| | PxV 2 | 40 | | | | | | | | | 1 |
| | Material 1 | 90 | 1 | 1 | | | | | | | |
| | Material 2 | 65 | | 1 | 1 | | | | | | 1 |
| | Intensidad 3 | 60 | | | | | | | 1 | 1 | 1 |
| | Caudal 2 | 90 | | | | | 1 | | | | |
| | Caudal 3 | 60 | | | | | | | 1 | 1 | |
| | Producción horaria | 180 | | 1 | | | | | | | |
| | Disponibilidad/anual | 310 | 1 | 1 | 1 | | | | | | |
| Productividad | 280 | | | | | | | 1 | 1 | | |
| Protección IP 2 | 95 | | | | | | | | 1 | | |
| Fiabilidad | 250 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Mantenibilidad | 205 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |

Tabla 15- Valor de criticidad de 10 equipos con el tipo de Fiabilidad 2, parte primera

| CRITICIDAD EQUIPOS POR TIPOS DE FIABILIDAD | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|
| | FIABILIDAD 1 | FIABILIDAD 2 | FIABILIDAD 3 |
| REACTOR 1 | 2.453 | 4.100 | 4.553 |
| REACTOR 2 | 2.493 | 3.530 | 3.518 |
| TANQUE 1 | 2.833 | 4.425 | 5.161 |
| TANQUE 2 | 2.833 | 4.035 | 4.170 |
| BOMBA 1 | 1.763 | 1.557 | 1.471 |
| BOMBA 2 | 2.428 | 2.916 | 3.118 |
| BOMBA 3 | 1.728 | 1.276 | 1.372 |
| INTERCAMBIADOR | 2.433 | 2.850 | 3.022 |
| AGITADOR | 1.793 | 1.200 | 1.195 |
| POLIPASTO | 798 | 587 | 573 |

Tabla 16- valores de criticidad de 10 equipos para tipos de fiabilidad 1, 2 y 3

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los tipos de fiabilidad indicados, muestran una variación del resultado provocado por la mayor precisión de cada una de las variables puestas en juego en cada uno de los estudios.

La diferencia entre valores de Fiabilidad 1 y 2 es notable, ya que los resultados de fiabilidad 1 son obtenidos con poca cantidad de variables. Pero, en el caso de fiabilidad 2 al utilizar 282 variables los resultados ya son satisfactorios.

Existe diferencia entre los valores de criticidad de fiabilidad 2 y 3; pero, ya no son tan grandes como antes; ello debido, a que aunque se tenga mayor precisión en fiabilidad 3 es a partir de unas 250 variables cuando el resultado entra en la franja satisfactoria. Obteniendo una mayor calidad y precisión en el estudio de fiabilidad 3 en el que entran en juego más de dos millares de variables.

6. CONCLUSIONES

Dado los resultados obtenidos, el cálculo de la criticidad por el método de características intrínsecas de un activo o instalación, permite diferenciar entre activos más críticos que otros con alta precisión. De este modo, se ordenarán de mayor a menor criticidad los activos, instalaciones y plantas y se asignarán recursos preventivos de mantenimiento para evitar la aparición de incidencias que interrumpan la actividad normal de las mismas. El objetivo a conseguir en toda actividad productiva es la mayor disponibilidad, seguridad, fiabilidad y mantenibilidad de activos; para obtener la mayor rentabilidad de dicha actividad.

Es necesario destacar, que se deben utilizar una cantidad de variables en concordancia con la diversidad y cantidad de equipos a los que se mide la criticidad. Si se calcula la criticidad a unas pocas decenas de equipos y muy diferentes entre sí, no es necesario un gran volumen de variables; pero, si se mide la criticidad a varios millares de equipos y muy parecidos, es necesario una gran cantidad de variables para poder expresar las diferencias entre ellos y determinar la criticidad de cada uno.

REFERENCIAS

[1] August J, Applied Reliability Centered Maintenance. PennWell Books. 1999.

[2] Souris J, El mantenimiento fuente de beneficios. Díaz de Santos. SA: Edit; 1992.

[3] Amendola L. Dirección y Gestión de Paradas de Planta "The Theory of Constraints"; Turnaround - Shutdowns Maintenance. Espuela de Plata. Sevilla, 1999.

[4] Levitt J. The Handbook of Maintenance Management. Industrial Press Inc. New York, 1997.

[5] Gómez de León FC. Tecnología del mantenimiento industrial.: Edit. Servicio de publicaciones Universidad de Murcia, 1998.

[6] Martorell S, Munoz A, Serradell V. Age-dependent models for evaluating risks and costs-surveillance and maintenance of systems. IEEE Trans Reliab 1996; 45/3:433-41.

[7] Martorell S, Sánchez A, Serradell V. Age-dependent reliability model considering effects of maintenance and working conditions. Reliability Engineering System Saf 1999;64(1):19-31.

[8] Gardella M. Mejora del método RCM a partir del AMFEC en Industrias Químicas. Parte 3. Ingeniería y Gestión de Mantenimiento. Págs 40-49. Editorial Alcion. Madrid. Abril 2006.

[9] Gardella M, Egusquiza E, Goti A. Maintenance Managers' Empowerment by using a Money Based RCM. Conferences Proceedings Book. IADAT. Julio 2006.

[10] Moubray J. Reliability - Centered Maintenance. Industrial Press Inc. 2001.

[11] Billinton R. "Power System Reliability Evaluation". Gordon and Breach, Science Publishers. 1970.

[12] Dhillon B. Engineering Safety: Fundamentals, Techniques, Applications. World Scientific. 2003.

[13] You-tern T, Kuo-Shong W, Lin-Chang T. A study of availability centered preventive maintenance for multi-component systems. Reliability Eng System Saf 2004.

[14] Gómez de León FC, Ruíz J. Maintenance strategy base on a multicriterion classification of equipments. Reliability Engineering & System Safety. 91 (2006) 444-451.

[15] Romero C. Análisis de las decisiones multicriterio. ISDEFE. Madrid: Edit, 1996.

[16] Creus A. Fiabilidad y Seguridad. Marcombo. 2005.

[17] Casal J; Montiel H, Planas E, Vélchez J, Análisis del riesgo en instalaciones industriales. Ediciones UPC; 1999.

talk Pasados

PREDICTIVA21



Para evaluar la Gestión del Mantenimiento:

¿Una lista de KPI o un Sistema de Medición del Desempeño?

José Contreras

[ver charla](#)

Evaluación de la Gestión de Mantenimiento

Lourival Tavares

[ver charla](#)



6 Ediciones

240 USD

Adquiere tu espacio
publicitario en

PREDICTIVA21

ventas@predictiva21.com

**Anuncia tu
Empresa
aquí**

Gestión del Mantenimiento a Generadores eléctricos aplicando el método de Mantenimiento Basado en la condición



Ángel Javier Aranda Carmona

Ingeniero Mecánico Electricista

Maestría en Ingeniería eléctrica del ITESI y un posgrado en Gestión de Activos en el PMM Institute For Learning, especializado en pruebas y diagnóstico a equipos eléctrico de potencia,

angelaranda@hotmail.com

Este artículo presenta la implementación de un modelo de mantenimiento en generadores eléctricos basado en la condición, aplicando la metodología del Índice de salud y matriz de riesgo, procesos alineados a los principios de Gestión del Ciclo de vida, Revisión y Riesgo, Conocimiento de los activos y Toma de decisiones, conceptos claves de un modelo de gestión de activos. Cuando se labora en una empresa eléctrica de alcance nacional con equipos de generación de muy variables capacidades (desde 0.5 MW hasta 650 MW), diferentes tecnologías (hidráulica, térmica, ciclo combinado hasta nucleares) y vida útil que va desde 1 año y mayores de 40 años se debe tener un método que homologue a través de un indicador el estado de los activos, así como el riesgo de falla y poder tomar las mejores decisiones en cuanto a la asignación de recursos humanos, técnicos, materiales, económicos así como las tareas de mantenimiento, a fin de lograr un balance entre las inversiones de capital, los costos de mantenimiento y rendimiento operativo de los activos y en caso de ser necesario, contar con

las justificaciones económicas y técnicas para los proyectos de replazo de los activos.

El Índice de Salud (IS), el primer valor que se determina en este estudio, es un valor que está dado en términos de porcentaje el que se cuantifica con un 100% al generador que por sus características y condición se puede considerar “como nuevo” y 0% como equipo que se encuentra al final de vida operativa, se evalúa mediante la asignación de pesos y puntuaciones de los parámetros de condición que combina los resultados de las variables operativas, las inspecciones de campo, el estado de los componentes y las condiciones ambientales en sitio en un índice objetivo y medible cuantitativo, proporcionando la salud general del activo que junto al impacto de una eventual falla podemos determinar el riesgo, complemento de información para la toma de decisiones de mantenimiento. Mientras que la Matriz de riesgo, es la correlación gráfica entre la condición y el impacto de una falla, este último valor basado en la capacidad, tipo de operación e importancia para el sistema eléctrico.

INTRODUCCIÓN

Existen diversas teorías referentes al tiempo de vida útil que debe tener un generador eléctrico, pero en promedio se considera que en condiciones continuas de operación duran en operación 30 años, esta afirmación depende de muchos factores involucrados, en el caso de la empresa, los generadores actualmente en funcionamiento tienen una vida útil promedio de 40 años, lo que se ha logrado entre otras cosas por adecuados mantenimientos y recursos importantes que cada vez son más escasos y por lo tanto se deben optimizar. Es por este motivo que para poder incrementar el tiempo de vida útil de un generador sin afectar las finanzas, disponibilidad y factor de planta, desde la concepción se deben considerar las condiciones, operativas, ambientales incluso de mantenimiento que influyen en el proceso de envejecimiento, deterioro y daño de los componentes para su adecuado monitoreo y control buscando el mayor rendimiento operativo de un equipo, así como prolongar su tiempo de operación, incrementando las ganancias de la organización como parte de un adecuado proceso de Gestión de Activos.

Esta metodología identifica y evalúa los factores influyentes más comunes y de mayor impacto en generadores eléctricos y los parametriza de forma que se logre realizar un Diagnóstico Integral y evaluar el Riesgo del activo y calcular:

Índice de la Condición Impacto Matriz de Riesgo Vida útil residual

Los índices mencionados son las herramientas que se utilizan para programar actividades específicas de mantenimiento de los activos, reduciendo tiempos de parada, identificando los factores causales de deterioro, solicitando con tiempo los recursos necesarios para realizarlo, tomar decisiones de mantenimiento y reemplazo de componentes para mejorar su disponibilidad, así como para identificar el momento oportuno en el que es conveniente iniciar la gestión de reemplazo del activo considerando su condición.

Para lograr la parametrización de los factores influyentes se utiliza una metodología aplicada a nivel internacional para implementar el mantenimiento basado en la condición principalmente en la gestión de transformadores eléctricos y equipos de subestaciones que toma cuenta las propiedades y parámetros de condición relacionados específicamente con la degradación acumulativa a largo plazo y que dan como resultado el fin de vida de los activos.

Los parámetros evaluados son los Parámetros de Condición (PC) o Índices de la subcondición, los cuales se identifican como cualquier variable física que revele información acerca de las características de desempeño de un equipo o componente.

Los parámetros de la condición que se considera son los más críticos en generadores eléctricos que se evalúan son los parámetros eléctricos entre los que destacan las características dieléctricas de los aislamientos y la capacidad de conducción de los conductores, parámetros mecánicos como la conformación geométrica de los devanados y condición de los devanados, parámetros de limpieza y parámetros operativos. Estos parámetros se verán afectados durante su vida útil por diferentes condiciones operativas y factores de deterioro que van a traducirse en 4 tipos de esfuerzos individuales y combinados que afectarán el estado de sus componentes y por lo tanto su salud, estos son térmicos, eléctricos, ambientales y mecánicos. Cada uno de estos parámetros de condición tendrá un comportamiento particular y las pruebas y mediciones realizadas durante la operación como el mantenimiento indicarán que tanto se han visto afectados estos parámetros.

Factores de deterioro eléctricos

Uno de los diversos factores de deterioro relacionado a esfuerzos eléctricos está asociado con el fenómeno de descargas parciales (DP) actividad que se presenta en el entorno del sistema de aislamiento y que se presenta con la máquina energizada la cual por efecto de campo eléctrico ioniza el gas en el entorno del circuito produciendo pequeños arcos eléctricos de baja magnitud y de alta tasa de repetición que se presentan como causa del proceso de deterioro y en otras ocasiones es efecto del mecanismo de erosión de diversos componentes del aislamiento.

Factores de deterioro térmico

Algunos de los factores térmicos que influyen directamente en la condición de los generadores está relacionado con el proceso de operación (ciclos de carga), y otra por el sistema de enfriamiento y por lo tanto la temperatura del devanado. La fuente del calentamiento del devanado del estator está regida por la relación de pérdidas I^2R en el conductor, por lo que siempre será este punto el de mayor temperatura en un estator y es la zona donde se comenzarán a presentar las primeras evidencias de deterioro del aislamiento.

Factores de deterioro mecánico

Algunas fallas de generadores por factores mecánicos, están originadas a vibraciones, este problema se presenta en ocasiones cuando los cabezales no son adecuadamente amarrados, en estos casos, las bobinas vibran dentro de las ranuras del núcleo degradando gradualmente el aislamiento.

La vibración generada tendrá un punto de apoyo donde se presentará un efecto de pivote a la salida de la ranura del estator en la zona de cabezales, por lo tanto, el devanado en esta área requiere soporte contra la vibración mecánica impulsada por fuerzas magnéticas y mecánicas.

Factores ambientales

La contaminación es un problema originado por factores ambientales que se observan principalmente en generadores de tipo abierto, con sistema de enfriamiento de aire forzado. A pesar de que se cuenta con filtros para el aire de enfriamiento, si los niveles de contaminación son elevados, las partículas contaminantes son capaces de ingresar al estator depositándose en el núcleo y los cabezales del estator. La contaminación acumulada propicia la ionización del aire que ocasiona que las bobinas se vean sometidas a la acción de las descargas parciales a la tensión de operación.



Devanado afectado por descargas parciales a la ranura



Devanado delaminado por efecto térmico



Devanado dañado por vibración de bobinas



Devanado contaminado afectando

Para poder determinar los efectos presentados por los factores de deterioro antes mencionados, los Parámetros de la Condición se van a dividir por su parte en Parámetro Relevante de Condición (PRC) que son los que describen una característica específica del activo cuyo valor numérico indica y cuantifica la condición de un equipo o componente en cualquier instante de su vida operativa.

Los parámetros relevantes de la condición son todas y cada una de las mediciones operativas y pruebas de diagnóstico rutinarias que se realizan a los generadores, estas pueden ser fuera y dentro de línea, las cuales presentan un panorama de cómo es el desempeño operativo de la máquina, el aislamiento, estructura y conductores tanto del estator como del rotor, cada uno de ellos presenta un peso específico propio y característico de acuerdo con la importancia del resultado que nos esté indicando.

Parámetros eléctricos son aquellos que indican el estado que guarda el aislamiento, capacidad de conducción eléctrica rigidez dieléctrica del aislamiento, parámetros que se evalúan con las mediciones de corriente de fuga en la prueba de factor de potencia (pérdidas dieléctricas), resistencia al aislamiento, descargas parciales, resistencia de devanados en el estator, impulso e impedancia en el rotor y detección de imperfecciones electromagnéticas en el núcleo (ELCID).

Parámetros mecánicos corresponden a la condición de pinturas semiconductoras, rigidez de los componentes, la solidez y contacto de los conductores o la compactación y geometría de los aislamientos del estator y el rotor, parámetros que se evalúan con el análisis de pruebas como descargas a la ranura, frecuencias naturales en cabezales, medición de capacitancia en el estator y respuesta a la frecuencia en el caso del rotor.

Parámetros de limpieza son los que indican que el aislamiento no se encuentra afectado por humedad o contaminación y esos los podemos determinar mediante evaluaciones como las pérdidas en la prueba de factor de potencia, resistencia del aislamiento y el índice de polarización.

Parámetros operativos, estos datos expresan la forma en la que opera la unidad y los podemos determinar con el factor de planta, factor de carga, temperatura de operación y tiempo de operación.

Para que un PC sea un PRC, debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. Caracterizar la condición del equipo.
2. Ajustar su valor continuamente durante su vida operativa.
3. Describir numéricamente la condición del equipo o componente.

Para obtener el Índice de la Condición (Ic), se cuantifica antes que nada el estado de los equipos basados en las propiedades de los numerosos parámetros relevantes de condición que se relacionan a largo plazo con factores de degradación que acumulativamente lleva a un activo al término de su vida útil, de los cuales obtendremos un Índice de la subcondición que estará relacionado a cada uno de los parámetros de la condición o índice de la subcondición, en este caso, se tendrán 4 que son eléctrico, mecánico, limpieza y operativo.

Para obtener cada uno de los índices de la subcondición se sustituyen los parámetros relevantes de la condición en esta fórmula.

$$I_{sc} = \frac{\sum_{n=1} \beta_n (P_{rc} \cdot P_{prc})}{\sum_{n=1} \beta_n (P_{prc\max} \cdot P_{prc})}$$

Donde:

Isc = Índice de la subcondición.

Prc = Parámetros relevantes de la condición.

Pprc = Peso del parámetro relevante de la condición.

Pprc_{máx} = Máximo parámetro relevante de la condición.

βn = Coeficiente del parámetro relevante de la condición (1 cuando aplica, 0 No aplica).

Es importante destacar que, para determinar el valor de los parámetros relevantes de la condición, cada uno de los resultados está referido a criterios de evaluación normalizados dependiendo de las características particulares de cada generador, del nivel de tensión, clase de aislamiento, tecnología y tipo de enfriamiento que se traducen en un valor de calificación dependiendo el resultado de la prueba obtenida, dando un valor de 5 la mejor condición y 0 el valor de la peor condición. Por ejemplo, para la prueba de descargas a la ranura, Según la IEEE Std 1434-2000 [- Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery] los límites correspondientes para determinar si existe deterioro de las pinturas semiconductoras del generador

según el tipo de aislamiento el criterio es para, Mica asfáltica: 100 mA, para Mica poliéster: 30 mA y para Mica epoxi: 20 mA, esto se evalúa por niveles, entre más lejano se encuentre del valor máximo permitido, la evaluación es mejor y entre más cercano o si sobrepasa es peor la calificación, eso ocurre con cada una de las pruebas, si evaluamos un generador con aislamiento de Mica-Epoxi que tiene un valor de descarga a la ranura de 1mA su calificación es de 5, si este valor es de 5 mA le estaremos dando un valor de 3 pero si este llegara a 20mA se le estará dando un parámetro relevante de la condición de 0, y finalmente, por tratarse de una evaluación importante, se le asigna un peso del parámetro relevante de 5.

Cada parámetro de la condición o índice de la subcondición se sustituirá en la siguiente fórmula para determinar el índice de la condición.

$$I_c = \frac{\sum_{m=1} \alpha_m (I_{sc} \cdot P_{isc})}{\sum_{m=1} \alpha_m (P_{c\max} \cdot P_{isc})}$$

Donde:

Ic = Índice de la condición.

Isc = Índice de la subcondición.

Pisc = Peso del parámetro del índice de la subcondición.

Pc_{máx} = Máximo parámetro de la condición.

αm = Coeficiente del parámetro de la condición (1 cuando aplica, 0 No aplica).

| Parámetro condición eléctrica | | | | |
|-------------------------------|----------------|---|-------------------|--------------------|
| Pruebas | Resultado | Comentarios | año última prueba | Evaluación del PRC |
| Resistencia al aislamiento | 2.23 | GΩ Valor a 1 min. Corregido a 40°C | 2020 | 5 b |
| Índice de polarización | 3.91 | -- Relación 10/1 | 2020 | 4 b |
| Factor de potencia | 2.54 | % Factor de potencia al 20% Vn | 2020 | 3 b |
| Δ Factor Potencia (tip up) | 1.5 | -- Diferencia entre factor de potencia del 60% y 20% Vn | 2020 | 3 b |
| Δ Capacitiva | 2.42 | -- Diferencia entre capacitancia del 60% y 20% Vn | 2020 | 1 b |
| Descargas parciales | Ext. Contamin. | nC Tipo de Descarga Parcial | 2020 | 3 b |
| Descargas a la ranura | 50 | mA Descargas a la ranura | 2020 | 2 b |
| ELCID | 40 | mA Valores máximos en el núcleo | 2020 | 5 b |

Tabla descriptiva de los parámetros relevantes eléctricos de la condición evaluados

| Variables | Indicadores |
|--------------------------|---------------|
| Índice Condición estator | 55.1% |
| Índice Condición rotor | 76.8% |
| Índice de importancia | 55.6% |
| Años de operación | 47 |
| Factores de riesgo | Mantenimiento |
| | |

Cuadro indicativo con las evaluaciones de un generador eléctrico

De estas evaluaciones se determina el Índice de la Condición, que es el valor que representa el estado actual que guarda la unidad desde el punto de vista operativo, mantenimiento, calidad de sus componentes y vida útil, con el que se puede llevar la tendencia del proceso de envejecimiento y deterioro del equipo con los siguientes criterios de evaluación.

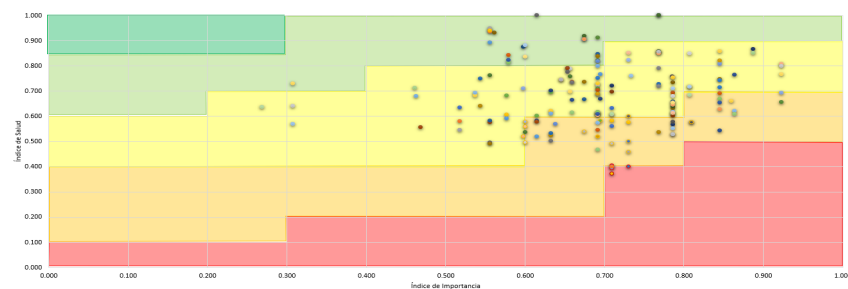
Al conocer de forma integral el estado de cada unidad, se emiten recomendaciones específicas de acuerdo con la condición y los factores de riesgo identificados dando seguimiento a cada generador, comparando el estado actual con el periodo anterior de mantenimiento llevando la tendencia del estado que guardan los equipos cuidando que no empeoren los parámetros relevantes de la condición de la condición que presenten alarmas de riesgo operativo o valores fuera de rango y tomar acciones para detenerlos o mejorar su estado.

| Tabla de la condición | |
|-----------------------|--|
| Muy pobre (<30%) | Requiere replazo inmediato |
| Pobre (30-50%) | Mal estado, requiere acciones para su corrección |
| Regular (50 - 70%) | Tiene problemas, requiere monitoreo continuo |
| Bueno (70 - 85%) | En buenas condiciones |
| Muy bueno (>85%) | Equipo nuevo |

Tabla de valores de la condición de un generador

Este dato es de importancia para la central eléctrica para determinar la toma de acciones concretas de mantenimiento, además que, a partir del índice de Salud, se pueden estimar la **Vida residual**, los **factores de riesgo**, así como la **matriz de riesgo**.

El **riesgo**, de acuerdo con la ISO 31000 se expresa como la posibilidad de que ocurra un acontecimiento que tenga impacto en el alcance de los objetivos. El riesgo se mide en términos de impacto y probabilidad. En el caso de este estudio la probabilidad será el índice de la condición, mientras que el impacto lo determinaremos a través del índice importancia que representa cada una de las unidades en el sistema por capacidad y su tipo de operación aplicando la misma metodología de parámetros de la condición. El contar con el índice de la condición y el índice de importancia permite graficar ambos valores en una matriz, la cual cruzará las evaluaciones de la condición con la importancia obteniendo una matriz como la que se presenta a continuación con la siguiente tabla de riesgo.



| Riesgo | Acciones a emprender |
|----------|--|
| Muy alto | Equipo de impacto crítico por su condición e importancia que requiere programación para su remplazo |
| Alto | Mal estado, equipo con desgaste y de impacto elevado, el cual requiere acciones para su corrección |
| Regular | Equipo de impacto alto por su condición y/o importancia para la organización, por lo cual requiere monitoreo continuo. |
| Bajo | En buenas condiciones y equipo de impacto medio |
| Muy Bajo | Equipo nuevo y de bajo impacto para la organización |

Matriz de riesgo y criterios generales de acciones a emprender ante las evaluaciones

La matriz de riesgo presentada está definida en términos del índice de salud y el índice de importancia en términos de valores numéricos para una condición excelente o probabilidad de falla muy baja en color verde y en el otro extremo, condición muy baja y un alto impacto para la organización en un color rojo.

De esta forma se identifican los generadores que requieren acciones inmediatas para su atención, en equipos que están en etapas de riesgo alto y muy alto se ha invertido en monitoreo en línea, reducción de carga nominal y reducir las variaciones de carga, evitar operación a cargas superior a la nominal, así como la regulación con esas unidades y reducir el tiempo entre mantenimientos para poder programar las acciones de remplazo de componentes o equipo completo dependiendo del análisis a detalle de las causas de deterioro y el grado de daño de los componentes.

Se ha podido identificar por tecnología de generación, cuales son los fabricantes de generadores más confiables y por marca cuales son los mecanismos de deterioro que afectan a cada uno de estos fabricantes, así como los componentes mas sensibles y propensos a desgaste.

Por tiempo de operación y tecnología de aislamiento se conocen cuales soportan diferentes esfuerzos.

Esta información también ha permitido detectar las áreas de mejora en el proceso de selección de materiales, procesos de mantenimiento, tiempos entre evaluaciones, así como proveedores de servicios de mantenimiento.

Otro de los beneficios de medir y llevar el control sistemático de la condición de los equipos ha permitido actualizar especificaciones de mantenimiento, compra y fabricación de componentes de generadores todo apegado a la experiencia además de dar soporte técnico y administrativo para la justificación de remplazo de los equipos.

CONCLUSIÓN

La gestión del riesgo de generadores eléctricos basado en su condición permitirá cumplir con elementos importantes considerados en un modelo de gestión de activos.

Conocimiento de activos, este elemento requiere de la experiencia de especialistas en puesta en servicio, mantenimiento, pruebas y diagnóstico, operación y protecciones que deben trabajar en conjunto para determinar las acciones y factores influyentes en el proceso de deterioro de los generadores.

El elemento de la gestión del ciclo de vida permite tener los elementos para la concepción, especificación, operación y mantenibilidad de los equipos con fundamentos técnicos que permitirán incrementar la vida útil de los generadores.

Revisión y Riesgo, un proceso sistémico y sistematizado de evaluación, seguimiento y comunicación fortalecerá la mejora en la disponibilidad, reducción de tiempos de paro por falla, reducción de fallas y gestión de riesgo al tener claro el estado que guardan los componentes, así como la causa que los origina.

Toma de decisiones acertadas y oportunas, elemento que se facilitará al tener los datos claros y medibles seguros con información en tiempo real para incrementar los tiempos de operación óptimos y eficientes para la oferta de energía en el mercado.

REFERENCIAS

- [1] Generators in Combustion Turbine (CT) Applications Failure Mechanisms: EPRI
- [2] IEEE Guide for Operation and Maintenance of Turbine Generators: IEEE Std 67
- [3] Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines: Peter Tavner, Li Ran, Jim Penman and Howard Sedding"
- [4] La Implementación de Mantenimiento Proactivo Richard Widman
- [5] Manual de pruebas a Generadores: Ángel Aranda Carmona
- [6] Assessment of Power Transformers Conditions Based on Health Index Conference Paper · October 2012 CITATIONS 3 READS 1,023 7 authors, G. Tanasescu1*, O. Dragomir1, L. Voinescu1, B. Gorgan2, P. V. Notingher2, T. Suru3, C. Melinte3Isc Simtech International Srl 2university Politehnica Of Bucharest 3hidroelectrica Sa – Sh Bistrita Romania

BIOGRAFÍA

Ángel Javier Aranda Carmona
 angelaranda@hotmail.com

Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Universidad de la Salle Bajío, con maestría en Ingeniería eléctrica del ITESI y un posgrado en Gestión de Activos en el PMM Institute For Learning, especializado en pruebas y diagnóstico a equipos eléctrico de potencia, ponente técnico en eventos nacionales e internacionales como IEEE, Conferencias Doble, Conferencia del CIGRE en París Francia y el EPRI en Florida.

<https://www.linkedin.com/in/%C3%Angel-javier-aranda-carmona-385a51a1/>

Predimeet

Próximamente

The image shows a laptop screen displaying the Predimeet event interface. The top navigation bar includes the Predimeet logo, the event title "1er Congreso de Predictiva21", and the subtitle "Mantenimiento, Confiabilidad y Gestión de Activos". It also features "En vivo" and "Expo" indicators.

The main content is divided into two sections:

- Agenda:** A list of events for the dates 23, 24, and 25 de Mayo. The current event is "8:00 AM - Conozca el proceso RCM-R - Jesús Sifonte".
- Video Player:** A video player showing a slide with the Predimeet logo. Below the video, there is a section for "E&M Solutions" with the following details:
 - E&M Solutions:** Servicios de Ingeniería, Mantenimiento y Confiabilidad
 - Tags:** Ingeniería, Confiabilidad y Gestión de Activos, Condición de Activos
 - Text:** E&M posee soluciones efectivas en ingeniería y mantenimiento para sus clientes, garantizando la productividad y prácticas de clase mundial. Los servicios se dividen en tres líneas de negocios: Ingeniería & Proyecto, Mantenimiento, Confiabilidad & Gestión de Activos y Servicios Profesionales.
 - Patrocinadores:** A section for sponsors.

Alta eficiencia en las zonas de carga de las fábricas con SMED



Richard Zamora Yansi

Ejecutivo Senior en Logística-Operaciones y Docente Universitario
rzamoray@outlook.com



Metodología SMED

En gestión de la producción, SMED (acrónimo de Single-Minute Exchange of Die) es un método de reducción de los desperdicios; ya sea mermas y tiempos muertos; en un sistema productivo que se basa en asegurar un tiempo de cambio de herramienta o cambio de formatos de productos; en el menor tiempo posible.

Este concepto, introduce la idea de que en general cualquier cambio de máquina o inicialización de proceso debería durar no más de 10 minutos; sujeto al “manual de uso de las maquinarias”, de ahí la frase “single minute”.

Se entiende por cambio de herramientas; al tiempo transcurrido desde la fabricación de la última pieza válida de una corrida de fabricación hasta la obtención de la primera pieza correcta de la otra corrida de fabricación siguiente; no únicamente el tiempo del cambio y ajustes físicos de la maquinaria.

Por ejemplo; si estoy en una planta de fideos pasta larga, este tiempo se medirá desde que envasada el último paquete de fideos tipo tallarian, hasta que pueda obtener el primer paquete de fideos tipo spaghetti (Si, esto está dentro de mi plan de producción).

¿Cuál es el objetivo del SMED?:

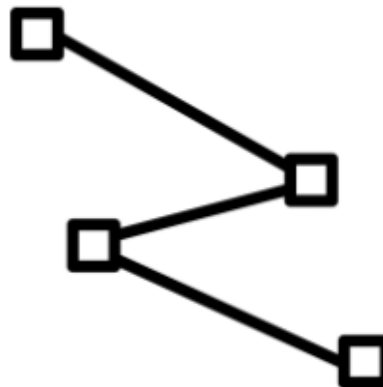
La aplicación de esta forma de trabajo, tiene por objetivo, el de reducir los stocks y mejorar el lead-time.

Al disminuir el tiempo necesario para realizar un cambio de modelo, mejora nuestra capacidad de realizar más cambios de modelo; intrínsecamente, y considerando el ejemplo de la planta de fideos; este tiempo, incluye el cambio del molde (Para la forma distinta de fideos), y el ajuste de la planta.

A la vez; esta metodología nos debe permitir fabricar lotes más pequeños y planificando en consecuencia un plazo de entrega y un almacenamiento menores. (1)

Los tipos de ajustes que se pueden dar:

1. Ajustes / tiempos internos: Corresponde a operaciones que se realizan a máquina parada, fuera de las horas de producción (conocidos por las siglas en inglés IED).
2. Ajustes / tiempos externos: Corresponde a operaciones que se realizan (o pueden realizarse) con la máquina en marcha, o sea durante el periodo de producción (conocidos por las siglas en inglés OED).



SMED en la Fórmula 1:

Un ejemplo muy interesante se puede apreciar en administración de PITS en la Fórmula 1; en donde una atención del vehículo – en plena carrera – para poder reabastecerlo y cambiarle de neumáticos; tomaba más de 10 min. En la actualidad, con la aplicación del SMED, dicha atención en boxes, puede demandar aproximadamente de 6 a 7 seg.

¿Qué hacer con nuestras operaciones de fábrica?

1. Preparación del personal: Es necesario tener al personal asignado en dicho proceso; debe estar entrenado y reconocer la importancia de su labor; al momento de realizar los cambios de formatos, como impacta en la mayor disponibilidad de la fábrica.
2. Sostener un plan de mantenimiento preventivo: Es posible que Alta Gerencia, pueda considerar que el mantenimiento preventivo, sea un gasto innecesario; sin embargo, en base a mi experiencia, este tipo de labor, hace posible que indicadores generales de OEE (Eficiencia Global de Equipos), lleguen a estándares de clase mundial.
3. Supervisión en el “gembu”: Si el jefe y/o gerente de fábrica; no está verificando in situ; no será posible reducir los tiempos y por ende, tener satisfactorios resultados con esta metodología. En mi forma de trabajo; hacía 3 recorridos por día por las fábricas; en las mañanas, al medio día y por las tardes; con el fin de: i) Que el personal perciba la presencia e interés de los responsables de la fábrica, ii) Verificar que lo indicado y conversado con el personal operativo, se esté cumpliendo, iii) Asegurar que las buenas prácticas, se mantengan en el tiempo, iv) Buscar nuevas oportunidades de mejora.
4. Definir KPIs: Soy un apasionado por los indicadores; es la forma de demostrar la mejora, semana a semana; por ende, esto me demuestra que las acciones tomadas, están dando los resultados esperados. Para esto, es necesario entrenar al personal operativo, a levantar información y/o implementar un sistema, del cual puedas descargar información; con el fin de tabular y sintetizar en cifras que puedan ofrecerte el “big picture” del funcionamiento de la fábrica.
5. Actividades de sostenimiento, tiene que estar “bien calibradas”: Como por ejemplo, las labores de limpieza, las actividades de mantenimiento y de control de calidad; tiene que estar muy alineadas, para poder asegurar que no se pierda tiempo “por goteo” (Es decir; demoras por falta o falla de actividades secundarias).

Explicación de las gráficas, de los retos:

Si recibimos como “herencia”; tiempos de preparación muy extendidos, de la fábrica para realizar el cambio de formato, esto nos permitirá que nuestras soluciones, concreten resultados a corto plazo.

Sin embargo; buscando la excelencia operativa, necesitamos seguir explorando nuevas formas de hacer las actividades; y así, llegar al mínimo tiempo de cambio de formato.

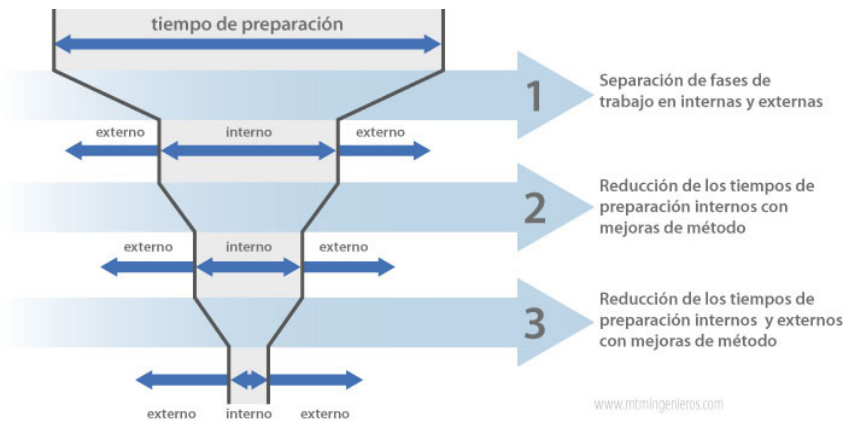


Figura 1: Reducción de tiempo de preparación.

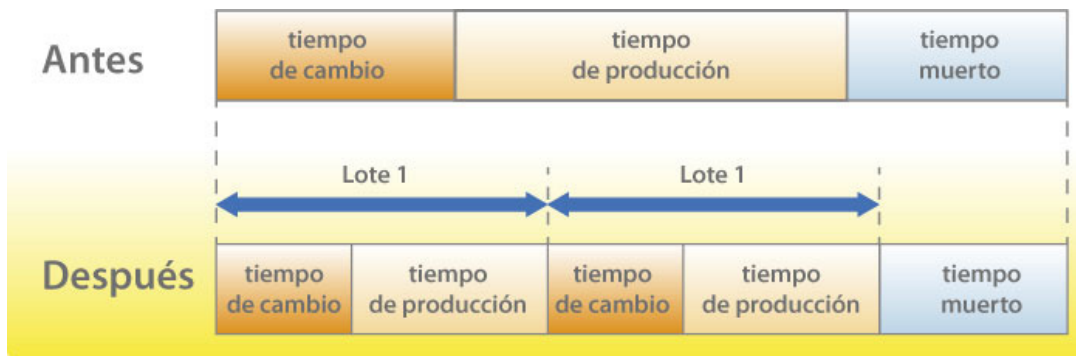


Figura 2: Mayor mix de productos y menor tiempo muerto.

Los resultados, son sorprendentes; cuando comenzamos a supervisar en el “gamba”; podemos lograr lo que el libro dice:

1

Aprovechar al máximo la capacidad de planta,

2

Reducción del tamaño de lote

3

Asegurar el mix de producto,

Fuentes:

(1): <http://mtmingenieros.com/knowledge/que-es-smed>



El CEO de Emerson, David N. Farr, se jubila

Por Emily Caine

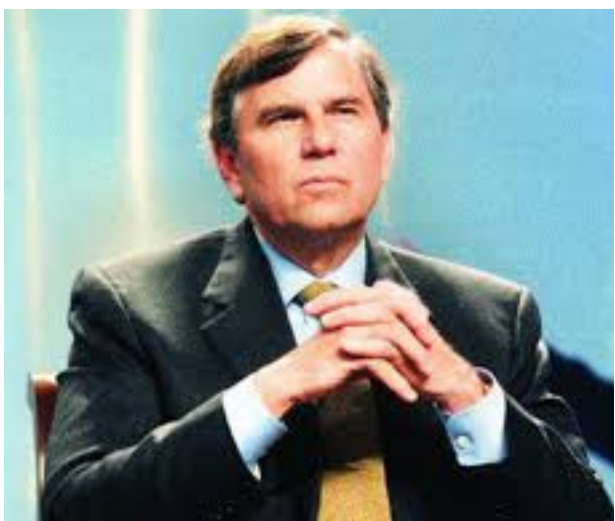
Lal Karsanbhai se convertirá en CEO el 5 de febrero

ST. LOUIS (Feb. 1, 2021) – Emerson (EMR en la bolsa de Nueva York), un líder mundial en tecnología y software industrial, anuncia que el CEO David N. Farr se jubilo el 5 de febrero. Lal Karsanbhai, quien ha servido como presidente ejecutivo de la plataforma Automation Solutions de la empresa desde 2018, se convertirá en el nuevo CEO de Emerson y se unirá a su Junta Directiva. Karsanbhai ha llevado a Automation Solutions a un sólido rendimiento, al haber elevado el perfil de software y el negocio de transformación digital de Emerson.

Farr, quien fue nombrado CEO en 2000 y presidente de la Junta Directiva de Emerson en 2004, permanecerá como presidente hasta el 4 de mayo. Durante sus dos décadas al frente de la empresa global de \$16 800 millones, Farr ha guiado a Emerson por múltiples evoluciones estratégicas para hacer crecer la presencia global de la empresa, mantenerse a la vanguardia de las condiciones cambiantes del mercado y promover las capacidades y competitividad de la organización en el escenario mundial.

“David es un líder tremendo que ha llevado a la empresa por tiempos difíciles (el 11 de septiembre, la burbuja de las puntocom, la Gran Recesión y ahora una pandemia mundial) con convicción y una fe inquebrantable en la fuerza de Emerson”, dijo Clemens AH Boersig, director independiente principal de la junta de Emerson. “Emerson tiene una larga historia de líderes sólidos en su dirección, y David es tan solo el tercer CEO en los últimos 66 años. Le deseamos lo mejor en su jubilación y estamos agradecidos de contar con su experiencia en los próximos meses como presidente de la junta”.

Bajo el liderazgo de Farr, Emerson se ha transformado de una empresa de fabricación de componentes a un líder en software industrial con un propósito singular que une a casi 85 000 empleados: “Impulsamos la innovación que hace que el mundo sea más saludable, más seguro, más inteligente y más sostenible”. Farr se basó en la estrategia de gestión disciplinada de larga data de la empresa, lo que la convierte en una de las pocas empresas en aumentar sus dividendos para los accionistas durante 64 años consecutivos.



Además, Farr ha sido un campeón feroz y una voz codiciada en el sector de manufactura. Se desempeñó como presidente de la junta directiva de la Asociación Nacional de Fabricantes de 2017 a 2019, trabajando en Capitol Hill para defender y promover iniciativas que construirían la industria en los Estados Unidos. Farr es miembro de la junta directiva del Consejo Empresarial China-Estados Unidos y ha sido miembro de la junta directiva de IBM desde 2012. Él y su esposa están muy comprometidos con la comunidad de St. Louis, y Farr actualmente es miembro de la junta ejecutiva de la Asociación Municipal de Teatro de St. Louis (The Muny en Forest Park). También se ha desempeñado en las juntas directivas de muchas instituciones educativas y sin fines de lucro, incluido United Way of Greater St. Louis, y es un partidario activo. Farr se incorporó a Emerson en 1981 en un puesto de personal corporativo y progresó por puestos de gestión de unidades empresariales y corporativas con una responsabilidad creciente antes de ser nombrado presidente de las operaciones de Emerson en Asia Pacífico en 1993. Después de cuatro años en Hong Kong, Farr regresó a los Estados Unidos en 1997 para supervisar el negocio de control de procesos de Emerson. Fue nombrado director de operaciones en 1999, cargo que ocupó hasta que fue nombrado director general.

“He tenido la oportunidad de trabajar junto a Lal durante sus 25 años de carrera en Emerson y he observado sus fortalezas y habilidades comprobadas como líder experimentado con un profundo conocimiento de las operaciones comerciales y los mercados a los que servimos”, dijo Farr. “La Junta Directiva ha participado activamente a lo largo de nuestro proceso de sucesión de cinco años y estamos seguros de que Lal está bien posicionado para continuar construyendo sobre el legado de éxito de Emerson”.



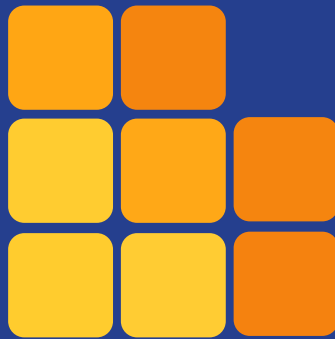
Karsanbhai, quien actualmente es miembro de la Oficina del Director Ejecutivo de Emerson, lidera un negocio con \$11 200 millones en ventas globales en 2020. La plataforma Automation Solutions ofrece tecnologías, software y servicios avanzados para negocios discretos, híbridos y de procesos en industrias que incluyen ciencias de la vida, energía, alimentos y bebidas, y agua residuales.

“Me siento honrado por la confianza de David y de la junta de Emerson en mí”, dijo Karsanbhai. “Este es un momento emocionante para la organización a medida que continuamos aumentando la huella de software global de Emerson y ampliando el soporte de la empresa a las industrias esenciales. Me siento honrado de llevar el legado del liderazgo de Emerson al futuro y espero trabajar con el equipo de la Oficina del Director Ejecutivo para impulsar estos objetivos vitales.”

Karsanbhai comenzó su historia en Emerson en 1995 como planificador internacional. Fue nombrado director de planificación corporativa en 1999; se desempeñó como vicepresidente de tecnologías de regulación de 2002 a 2005, cuando se convirtió en vicepresidente y gerente general de gas natural de Emerson en Francia. Fue nombrado presidente de las tecnologías de regulación Fisher de Emerson en 2008, cargo que ocupó hasta 2012, cuando se convirtió en vicepresidente de planificación con responsabilidad sobre la estrategia global de Emerson. Fue nombrado presidente de la antigua unidad de negocio Network Power de Emerson en Europa, Oriente Medio y África en 2014 y se convirtió en presidente del grupo de la unidad de negocio Rosemount Measurement & Analytical de Emerson en 2016.

Durante su carrera en Emerson, Karsanbhai ha trabajado en Europa, África y Norteamérica. Habla con fluidez portugués, francés e inglés. Karsanbhai tiene una licenciatura en economía de la Universidad de Michigan y una maestría en administración de empresas de la Universidad de Washington en St. Louis.

PREDYC[®]



SUITE DE CONFIABILIDAD
DISEÑADA PARA INGENIEROS DE
CONFIABILIDAD

2021

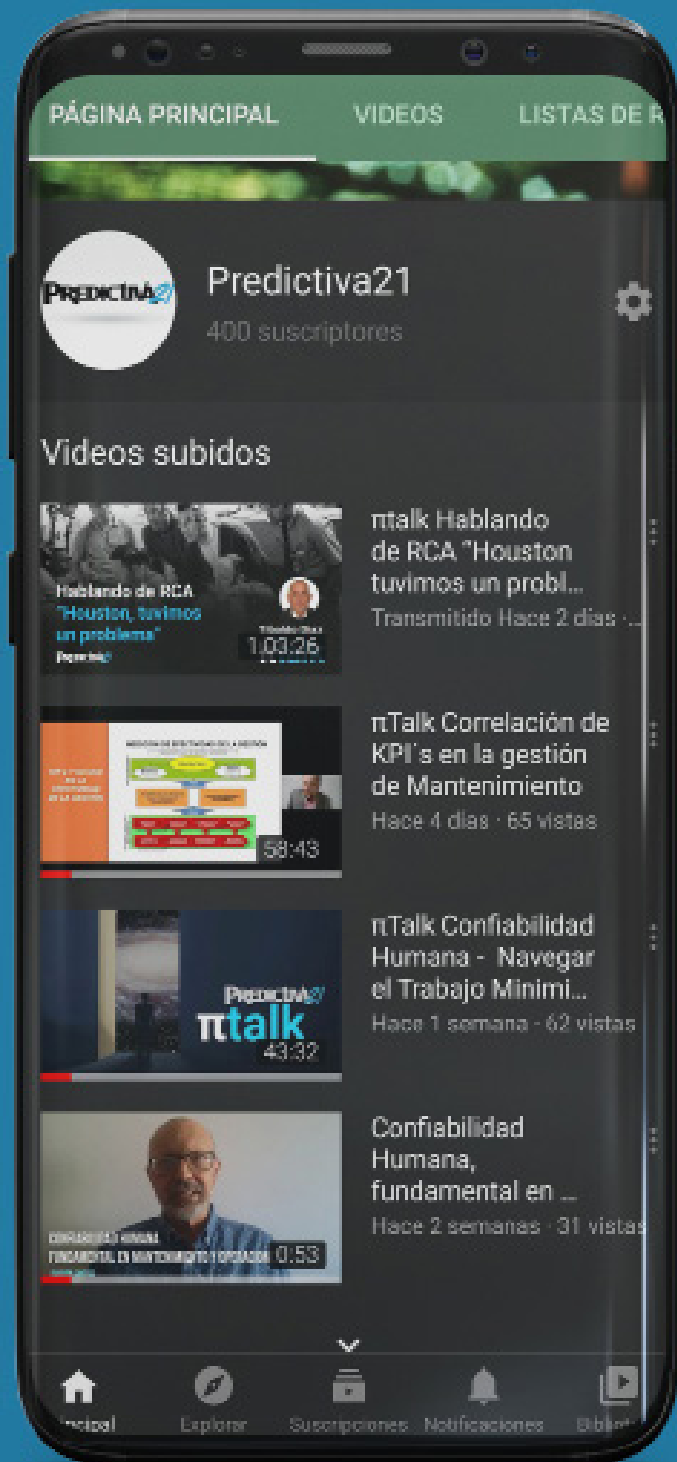
Disfruta de las charlas técnicas

Disponibles en Youtube

π Talk PREDICTIVA21

- [¿Está su planta llena de bombas de tiempo?](#)
- Conozca el proceso RCM-R
- [Confiabilidad en motores eléctricos basada en rodamientos](#)
- [Correlación de KPI's en la gestión de Mantenimiento](#)
- [Hablando de RCA "Houston tuvimos un problema"](#)
- [Análisis RAM en el ciclo de vida de los Activos](#)
- [Introducción a la Planificación y Control de Mantenimiento](#)
- [Confiabilidad Humana - Navegar el Trabajo Minimizando el Riesgo](#)

Visitar canal



VIBRACIONES MECÁNICAS. HERRAMIENTA DE ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE EQUIPOS



Manuel Hernández Carmona

Universidad Politécnica Territorial del Estado Trujillo. Profesor Titular
manuelh11@gmail.com

RESUMEN

En el presente trabajo analiza las condiciones de operación de equipos industriales, que producto de la aparición de Frecuencias Generadas y Excitadas, ocurren cambios en las condiciones dinámicas de operación, estudiándose la idoneidad de las acciones de mantenimiento ejecutadas.

La investigación tiene soporte documental debido a que se utiliza ecuaciones diferenciales que rigen el comportamiento dinámico de los sistemas vibratorios, describiéndose los parámetros que se miden y los que se fijan en el diseño de equipos de proceso. Posteriormente se hace un estudio de campo aplicado a equipos de uso común en la industria, como lo son un ventilador de tiro forzado de una caldera y el motor de un molino de caucho, en donde se aplica la mecánica de las vibraciones y los principios que la rigen. Evidenciándose que las acciones de mantenimiento se tienen que soportar en criterios ingenieriles y los principios teórico-práctico, que explican este comportamiento, a fin de garantizar la confiabilidad operacional y por ende la efectividad de los equipos, que redunde en altos niveles de productividad.

Palabras Clave: Comportamiento dinámico, vibraciones, frecuencias generadas, frecuencias excitas, parámetros pasivos, factor de amplificación, resonancia.

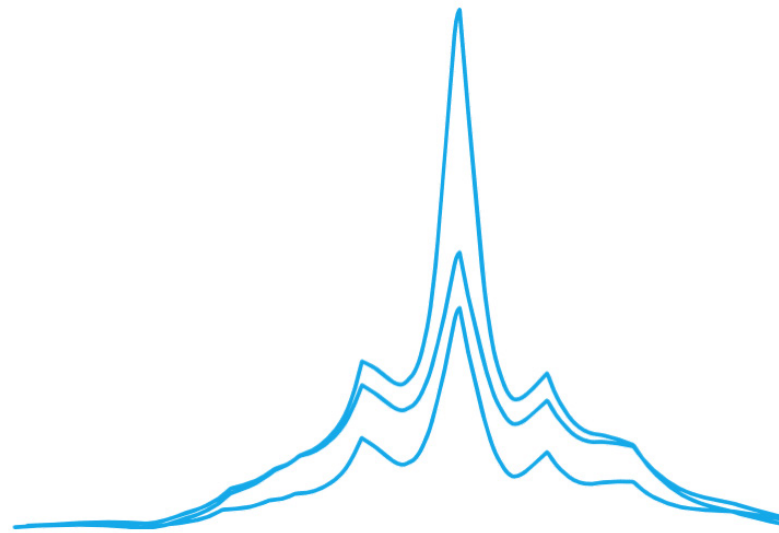
INTRODUCCIÓN

Existe la percepción de que si un objeto, máquina o equipo al girar se estremece, produciendo ruidos fuera de lo normal, algo no anda bien, o sea que asociamos intuitivamente vibración con condición de equipo. De tal manera que en la práctica industrial cotidiana, la gente de mantenimiento consciente o no, intenta preservar la condición dinámica más apropiada para que los sistemas industriales operen en condiciones adecuadas, que se traduzcan en altos niveles de productividad. Lo que induce a analizar el comportamiento dinámico de los equipos con criterios ingenieriles sólidos y técnicas modernas, a fin de evidenciar las anomalías que causan el desvío de las condiciones de operacional normal y su corrección oportuna.

Desde tiempos inmemoriales, en el campo del ejercicio profesional en la industria, surgen diatribas estériles, en cuanto a la aplicación de conocimientos teóricos aprendidos en las escuelas de ingeniería. A tales efectos Manrique, Bula y Giraldo (2007), investigadores de la Universidad Javeriana de Colombia, producto de importantes estudios, aseguran que el proceso de enseñanza-aprendizaje que integra teoría y práctica en el aula de clase, propicia la formación integral del Ingeniero. Lo cual evidencia la necesidad de complementar el estudio del fenómeno vibratorio en máquinas industriales, con la aplicación de ecuaciones que rigen su comportamiento dinámico, a fin de poder evidenciar contundentemente las causas que producen desvíos anormales del mismo y las soluciones más idóneas para controlar este comportamiento, dentro de condiciones aceptables de operación.

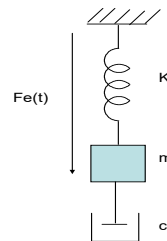
Es pertinente acotar que cualquier equipo mecánico, esta propenso a la influencia de Frecuencias Generadas, como desbalance, desalineación, huelgo, roce, elementos y accesorio defectuosos, entre otros, así como de Frecuencia Excitadas (frecuencias naturales y velocidades críticas), relacionadas con fenómenos de resonancia. Lo cual obliga a analizar estos fenómenos minuciosamente, soportado con criterios ingenieriles, a fin de evitar tomar acciones de mantenimiento inadecuadas que en vez de resolver las fallas y desvíos de condiciones de operación, los agraven.

A tales efectos se analiza en el presente artículo fallas ocurridas, en un ventilador de tiro forzado de una caldera posterior a una acción de mantenimiento y del comportamiento vibratorio anormal de un molino de caucho, después del reemplazo del motor de 4000 HP. Este análisis se fundamenta en la aplicación práctica, de la ecuación que rige el comportamiento dinámico vibracional de equipos. Analizándose con este soporte ingenieril, la detección, análisis y corrección de las anomalías presentadas, así como la pertinencia de las acciones emprendidas.



MECÁNICA DE LAS VIBRACIONES Y COMPORTAMIENTO DINÁMICO

A efecto de analizar ingenierilmente el fenómeno vibratorio, es necesario hacer referencia al comportamiento dinámico de este fenómeno, tal como se hizo en artículo publicado en esta prestigiosa revista (Revista Predictiva21 - Año 2 N° 15). A tales efectos se utiliza un modelo de un solo grado de libertad, o sea su movimiento está restringido en una sola dirección y los parámetros pasivos (elasticidad, masa y amortiguación) están concentrados e independientes entre sí, conocido como sistema masa-resorte, el cual se muestra en la figura 1.



$$F_e(t) = \text{Fuerza de Excitación}$$

$$k \cdot x = \text{Fuerza del Resorte}$$

$$c \cdot \dot{x} = \text{Fuerza Amortiguadora}$$

$$m \cdot \ddot{x} = \text{Fuerza de Inercia}$$

Figura 1. Sistema masa-resorte. Fuente: Hernández (2017)

En el sistema masa-resorte propuesto para modelar el comportamiento dinámico de un equipo que vibra, actúan varias fuerzas inducida por los elementos que lo conforman, como son:

- Fuerza elástica: $F_k = kx$, efecto lineal del resorte que cumple la ley de Hooke
- Fuerza amortiguadora: $F_c = cx$, fluido newtoniano, comportamiento lineal
- Fuerza de inercia: $F_i = mx$, oposición a la variación del movimiento, que se resiste al cambio de velocidad y se rigen por las leyes de Newton, la aceleración va en sentido contrario a esta fuerza.
- Fuerza de excitación: $F_e =$ Fuerza de excitación función del tiempo que actúa sobre el sistema, para producir el movimiento oscilatorio.

Al existir un equilibrio dinámico en el sistema, se obtiene que la sumatoria de fuerzas en la dirección vertical es cero: $F_i + F_c + F_k + F_e = 0$; F_c, F_k son fuerzas contrarias al movimiento, F_i se opone a los cambios de sentido y velocidad de la oscilación y F_e es la fuerza de excitación que es función del tiempo. Sustituyendo las fuerzas en cuestión obtenemos una ecuación diferencial ordinaria de segundo orden, primer grado con coeficientes constantes:

$$m \cdot d^2x/dt^2 + c \cdot dx/dt + k \cdot x = Fe(t) \quad (1)$$

En la ecuación anterior $F_e(t)$, representa la fuerza de excitación que causa la vibración, la cual induce pérdidas importantes de energía, que se desperdicia y no se convierte en Trabajo útil para la maquina o equipo del sistema productivo. Según Palomino (2007) estas fuerzas descompensadas, pueden considerarse como Generadas y Excitadas fundamentalmente. En la figura 2, se muestra la interrelación de las diferentes fuerzas que interactúan en el equilibrio dinámico de un sistema vibratorio y efecto sobre el mismo.

En el gráfico en cuestión, se señala que existen magnitudes que se miden, como desplazamiento, velocidad y aceleración a través de las cuales se puede diagnosticar el estado del equipo. Las mismas están relacionadas con las Frecuencias Generadas durante el funcionamiento, producto de la existencia de anomalías como: desbalance, desalineación, roce, soltura mecánica, averías en cojinetes, engranajes defectuosos, soportes inadecuados entre otros.



Figura 2. Comportamiento Dinámico Sistema Vibratorio. Fuente: El autor (2019)

cuados entre otros.

Como se infiere de la figura 2, las amplitudes de vibración depende de $F_e(t)$, de tal manera que hay que compensar el efecto de está, reduciéndola a su mínima expresión, a fin de que el equipo funcione en condiciones normales, minimizando el desperdicio de energía por vibración, a fin de garantizar la confiabilidad del mismo.

Por otra parte la figura en cuestión, muestra que existen parámetros, denominados Pasivos (k, c y m) que se fijan en el diseño. Pero modificaciones arbitrarias, sin criterio ingenieril, dan lugar a la aparición de **Frecuencias Excitadas**, que inducen fenómenos de resonancia, con altos niveles de vibración. Los cuales se confunden con causas comunes como desbalance, ya que se presentan a 1X (a la velocidad de operación), como lo señala la carta señala la carta ilustrada de Diagnostico de Charlotte (Technical Associates of Charlotte. Inc), mencionada por Hernández (2019).

Es conveniente analizar rápidamente este fenómeno resonante, que genera desvíos importantes en condiciones de operación y por ende la generación de altos costos de penalización.

(2)

Recordemos que la solución de la ecuación 1 es:

$$X = F_0 / \sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}$$

F_0 es la fuerza de excitación armónica, de la forma $Fe(t) = F_0 \cdot \cos \omega t$ o $F_0 \cdot \sin \omega t$, en donde ω es la frecuencia de la fuerza de excitación. A efectos de poder interpretar el comportamiento de los sistemas vibratorios y su aplicación prácticas de detección, análisis y corrección de fallas en acciones de mantenimiento, es necesario adimensionarla para hacer más fácil el análisis en cuestión, por lo tanto se define:

$r = \omega/\omega_n$: Relación de frecuencias

$\omega_n = \sqrt{k/m}$: Frecuencia Natural

$\xi = \frac{c}{2m\omega_n}$: Factor de Amortiguamiento

Sustituyendo los valores anteriores, en la ecuación (2), se obtiene:

$$X = (F_0/k) \sqrt{(1 - (m/k)\omega^2)^2 + (c/k)\omega^2}$$

El término $X_0 = F_0/k$, se define como **Referencia Estática** y al cociente X/X_0 se conoce como Factor de Amplificación Dinámica (FA), que es igual a:

$$FA = \frac{1}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\xi r)^2}} \quad (3)$$

El Factor (FA), de la ecuación 3, explica el aumento de las amplitudes de vibración al pasar los equipos por resonancia, ya que se excitan Fuerzas, que inducen a que el Efecto Estático o Referencia Estática (X_0) sea mucho mayor que el Efecto Dinámico (X), o sea la amplitud de vibración. Lo cual es motivado a la excitación de **Frecuencias**, que inducen los fenómenos de **Resonancia**. Es de hacer notar que el Factor FA de la ecuación 3, no depende de la fuerza de excitación, $F_e(t)$, en consecuencia políticas de mantenimiento orientadas a compensar dicha fuerza, tales como alineación,

acoples, entre otras acciones correctivas, no solventa los altos niveles de vibración.

Para tales fines, es necesario evitar la coincidencia entre la frecuencia de trabajo (ω) y la frecuencia natural o velocidades críticas. Es importante analizar la dinámica de los sistemas vibratorios en resonancia, ante variaciones de la rigidez (k) y la masa (m), las cuales se pueden alterar por acciones de mantenimiento y/o modificaciones de condiciones de diseño, a pesar de que la amplitud de la fuerza de excitación (F_0) no varíe.

APLICACIONES AL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE EQUIPOS

I - Frecuencias Generadas:

Ventilador de tiro inducido de caldera:

Ventilador de tiro inducido de una caldera de Central Azucarero, que se encarga básicamente, de inyectar aire para mantener la llama en el hogar de la misma, lográndose así una óptima combustión. Una falla en este accesorio causa desvío de condiciones de operación en la caldera, afectando el suministro de vapor indispensable para el proceso de obtención de la azúcar.

A efectos de establecer la severidad de la vibración de este equipo, se estableció la Carta de Severidad, que se muestra en la figura 3, en la misma se definen diferentes niveles de vibración, desde Vibración Normal (entre 0- 4mm/s), 1ª alarma (4-12 mm/s) y 2ª alarma (>12 mm/s). Es de hacer notar que a niveles de amplitud de vibración mayor a 12 mm/s, es recomendable sacar el equipo de servicio, a fin de evitar daños mayores y por ende incurrir en elevados costos de penalización, que afectan la rentabilidad del proceso productivo.

Los niveles establecidos en la carta de la figura 3, son alarmas estadísticas establecidas en base a los historiales de falla del equipo, respetando los límites condenatorios que establece el fabricante (alarmas absolutas). Es importante resaltar que esta carta de diagnóstico es producto de la experiencia del central azucarero en el manejo del equipo.

Producto de ruidos y vibración anormal, se monitorea la condición del equipo descrito, obteniéndose las medidas de propósito general y espectro de vibración, que se muestra en la figura 4.

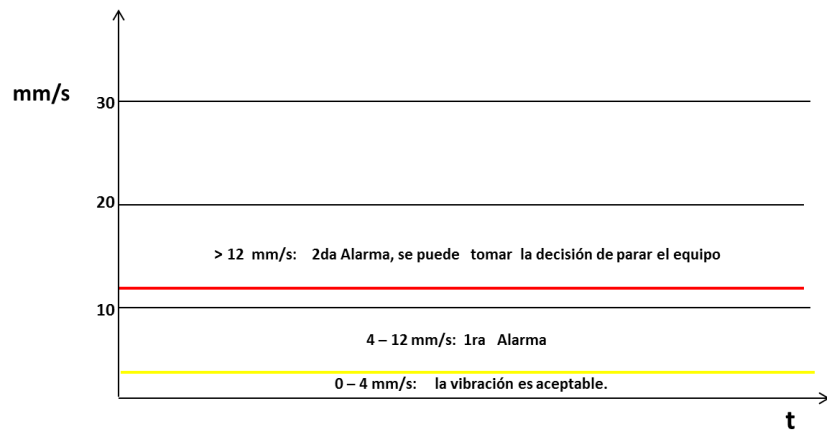
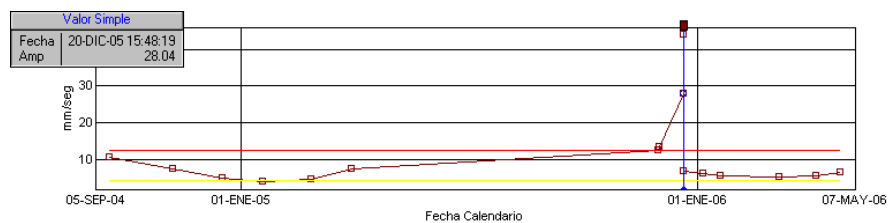
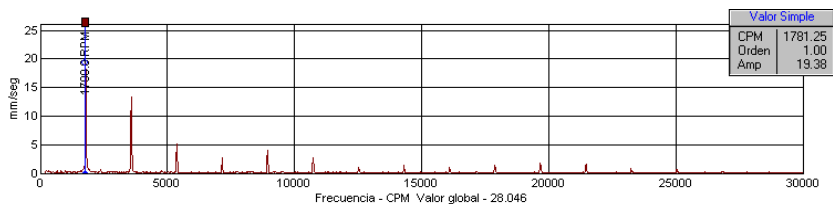


Figura 3. Carta de Severidad. Fuente: Hernández (2017)



(a)



(b)

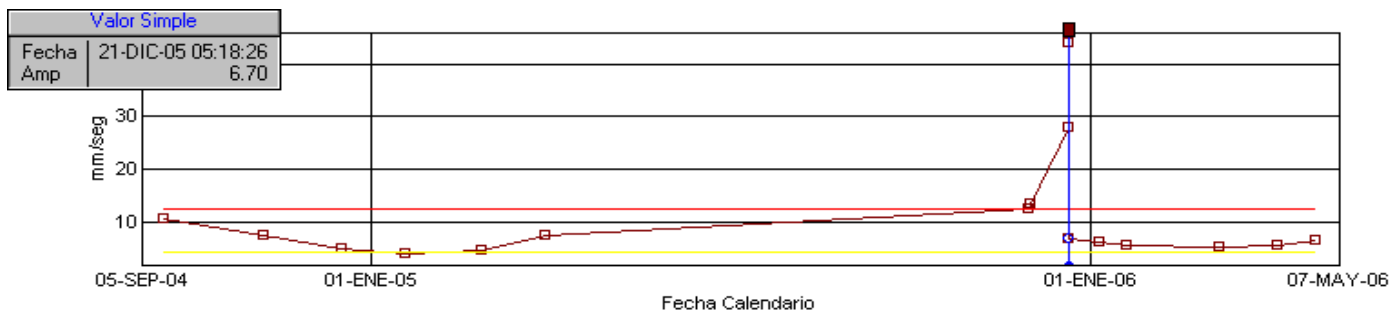
Figura 4. Monitoreo de condición y Espectros de vibración Fuente: Hernández (2017)

En la figura 4(a) se evidencian cambios importantes en los niveles de vibración, tiempo después del 01 de enero del 2005, fecha en que se balanceo el ventilador de tiro inducido. Al respecto se implementaron acciones de mantenimiento, orientadas a realizar ajustes y cambios en los soportes del ventilador en cuestión. Lo cual fue infructuoso, ya que los niveles de vibración el 20 de diciembre del 2005 alcanzaron valores de amplitud 28.04 mm/s, inamovibles según la carta de severidad establecida (ver figura 3).

Lo expuesto anteriormente obliga a sacar el equipo de servicio y un análisis del espectro mostrado en la figura 4(b), indica posible desbalance por presentar picos de amplitud (19.38 mm/s) a la velocidad de giro (1x, 1700 RPM). Al desarmar el ventilador, se observa el desprendimiento de las pesas de balanceo, como lo evidencia la figura 5, en los círculos blancos se encontraban los pesos en cuestión, su desprendimiento ocasiona el desbalance ya que la Fuerza de Excitación ($F_e(t)$) aumenta y altera el equilibrio dinámico (ver figura 2).



Figura 5. Soltura de Pesos de balanceo. Fuente: Hernández (2017)



Una vez detectada la causa del problema, se procede a tomar una acción provisional el 21 de diciembre de 2005, como es recolocar los pesos en su posición original, lo que trae como consecuencia una mejora sustancial de los niveles de vibración, como se muestra en la figura 6.

Es importante resaltar que producto de la acción de mantenimiento mencionada, en la figura 6 se evidencia una mejora sustancial del comportamiento del equipo, con amplitudes de 6,70 mm/s, aún por encima del valor normal establecido (figura 3), pero operable hasta programar una acción de balanceo más precisa. Restableciéndose las condiciones de operación, ya que se actuó sobre la perturbación que ocasionaba la descompensación de fuerzas y alteraba el equilibrio dinámico ya mencionado. Comprobándose que los ajustes y cambios de los soportes no resolvieron la falla, ya que se intervino los parámetros pasivos (k y c), alterándose condiciones de diseño, lo cual no permite garantizar la confiabilidad del equipo (RCM).

Figura 6. Niveles de Vibración después de recolocar pesos. Fuente: Hernández (2017)

II - Frecuencias Excitadas:

Molino de Caucho

En el marco del Congreso Mexicano de Confiabilidad y Mantenimiento, Jiménez (2003) presentó un caso de Vibración excesiva en el motor de un molino de caucho de 4000 HP, la cual comenzó después de haber reemplazado el motor del mismo. Los niveles permanecen aceptables (0.15 in/s) hasta que el motor alcanza su velocidad máxima de 890 RPM, en la cual se disparan bruscamente (0.40 in/s), a la velocidad de giro del motor. En la figura 7, se muestra el espectro de vibración del motor mencionado.

Según Jiménez (2003), el hecho que los niveles de vibración sean mucho mayores en una sola dirección, es un indicativo de la presencia de frecuencias excitadas, o sea condiciones de resonancia. Para comprobar tal aseveración y descartar la generación de frecuencias (desbalance se presenta a 1X), se realizan pruebas de impacto (bump test) en el motor y sus estructuras, las cuales se muestran en la figura 8.

Como resultado de este ensayo se obtienen las siguientes frecuencias naturales:

1. Cuerpo del Motor: 7454.0., 11895.8 y 41034.6 CPM
2. Soporte Transversal: 4070.7 CPM
3. Soporte Longitudinal: 2842.3 CPM
4. Vigas "I" Laterales: 886.17 CPM

Estos ensayos de impacto, se complementan posteriormente con otras pruebas, a fin de definir la existencia de un posible fenómeno de resonancia, como se presume del espectro (ver figura 7).

Del resultado de los ensayos anteriores, se observa que la frecuencia natural de las vigas (4) es casi la misma velocidad de giro del motor 890 CPM, encontrándose dentro del rango de $\pm 20\%$ aceptado en la práctica industrial, como estado resonante. Según el reporte de este caso presentado en el Congreso Mexicano mencionada, las vigas "I" fueron colocadas para manipular el motor durante su instalación, lo cual modificó considerablemente los parámetros pasivos de vibración y por ende las condiciones de diseño. Trayendo como consecuencia la aparición de Frecuencias Excitadas que causan estados **Resonantes**.

Del reporte en comento, se desprende que retiradas las vigas "I" (4), los niveles de vibración a la frecuencia de trabajo del motor (890 RPM) se redujeron de 0.4 in/s a un mínimo 0.04 in/s. Es importante resaltar que para llegar a la solución definitiva del problema, se complementaron los estudios y análisis mencionados, con ensayos ODS (Operating Deflection Shape), para evaluar las condiciones de diseño y la solución para restablecer el equilibrio dinámico del molino, a niveles de vibración normal.

Es oportuno resaltar el elevado criterio ingenieril esgrimido al resolver el problema resonante esbozado, ya que no se propusieron soluciones a priori, como balancear el motor, ya que en el espectro (figura 7) muestra picos de amplitud a la velocidad de giro del motor del molino (1X, 890 RPM). Esta acción de balanceo estaría orientada a modificar la fuerza de excitación (Fe(t)), ver figura 2), lo cual no resolvería esta condición resonante, lo adecuado fue restaurar condiciones de diseño, modificando los parámetros pasivos que excitaron frecuencias no deseadas, para la estabilidad dinámica.

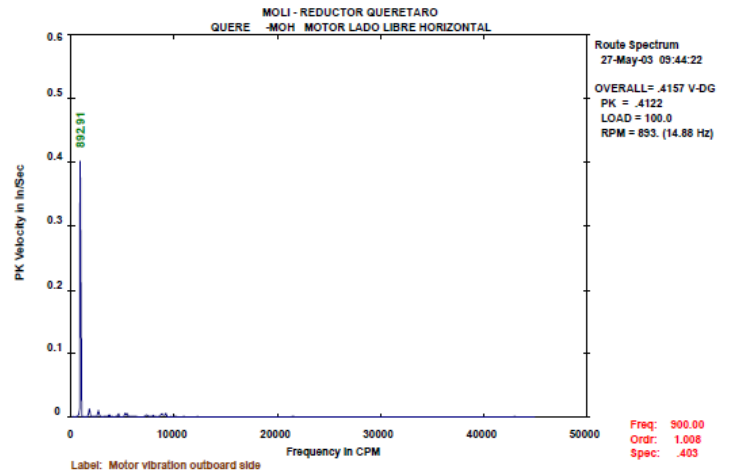
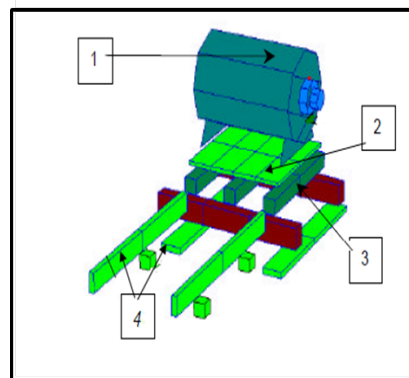


Figura 7. Espectro de Vibración Motor Molino. Fuente: Jiménez (2003)



1. Cuerpo Motor
2. Soporte Transversal
3. Soporte Longitudinal
4. Vigas "I" Laterales

Figura 8. Ensayo de impacto motor y estructuras. Fuente: Jiménez (2003)

CONCLUSIONES

Del estudio de casos prácticos industriales mostrado en el aparte anterior, se infiere la importancia del análisis del comportamiento dinámico de equipos, a fin de garantizar la confiabilidad operacional (RCM) y por ende altos niveles de productividad. A efectos de concretar las ideas y principios esbozados, es conveniente interrelacionar este comportamiento con la ecuación (1), que representa esta dinámica. En la figura 9, se muestra gráficamente la solución de la mencionada ecuación.

La figura 9(a) es la solución homogénea, comportamiento libre del movimiento oscilatorio, representado por los ensayos de impacto realizados, para determinar frecuencias resonantes en el molino estudiado (figura 8), o sea las Frecuencias Excitadas. En la parte (b) se muestra la solución particular de la ecuación en cuestión, que es la vibración producto del desbalance del motor del ventilador de la caldera antes descrito, que corresponde a las Frecuencias Generadas, por el desbalance de masas que está presente.

Para finalmente en la figura 9(c), mostrar la solución completa de la ecuación (1), que rige el comportamiento dinámico de cualquier sistema vibratorio, mostrándose (en recuadro punteado) las Frecuencias Excitadas o zona resonante, así como el efecto inducido por las Frecuencias Generadas, las cuales se evidencian antes y después de esta zona, pasando por el intervalo de máxima amplitud. Que es la zona donde el Factor de Amplificación Dinámica (FA), de la ecuación 3, tiene sus máximos valores y por ende se manifiestan las mayores amplitudes de vibración, que hacen el sistema inestable.

Es importante resaltar que en la práctica industrial muchos equipos operan alrededor de resonancia, obligando a pasar rápido por esta región, Hernández (2017) menciona que si FA esta entre 3 y 6 ($\xi \approx 0.1$), el sistema se puede Amortiguar y atravesar de manera controlada la zona mencionada, más no debería operar en ella.

A manera de conclusión general, se puede esgrimir que las Frecuencias Generadas producto del desbalance de la Caldera estudiada, se corrigen actuando sobre la Fuerza de Excitación ($F_e(t)$) que origina el desbalance y no ajustando o manipulando los soportes, lo cual puede alterar el Factor de Amortiguamiento (ξ) y el Factor de Amplificación (FA), el cual según Hernández (2017) en resonancia es: $FA = \sqrt{\frac{1}{\xi^2}}$, infiriéndose que cambiar las especificaciones de los soportes de manera inadecuada, pueden alterar drásticamente el paso por resonancia.

Así mismo es importante señalar que el detección, análisis y corrección de los altos niveles de vibra-

ción presentados por el motor de Molino de Caucho estudiado fue muy acertado, con criterio ingenieril y el uso de técnicas sofisticadas, como el análisis ODS, que permitieron identificar de manera rápida y precisa la Frecuencia Excitada que causa la resonancia y a su vez implementar la solución más adecuada. Es evidente que el uso de esta técnica, como **prueba de aceptación** de equipos, después de una acción de mantenimiento importante como el reemplazo de un motor de 4000 HP, garantiza el resultado de la misma.

En términos generales se pretende crear conciencia que las prácticas de mantenimiento se deben acometer de manera holística con alto grado de sinergia entre diseñadores, fabricantes, asesores externos y mantenedores, ya que la línea divisoria entre los quehaceres de ambos es muy estrecha. Mantener la función de los activos, para garantizar altos niveles de productividad, es tarea de todos los involucrados. Así mismo proponer a los mantenedores el uso de Análisis de Vibraciones como una herramienta que coadyuve en la determinación las condiciones dinámicas de las máquinas.

La Vibración es el "Lenguaje de las Máquinas", que se expresa en el idioma de las ecuaciones que rigen el comportamiento dinámico y se escribe en Medidas de propósito general (Dominio Tiempo) y específico (Espectros). La adecuada interpretación de las mismas permite entender y controlar este comportamiento de los equipos, dentro de parámetros establecidos para garantizar la confiabilidad del sistema productivo.

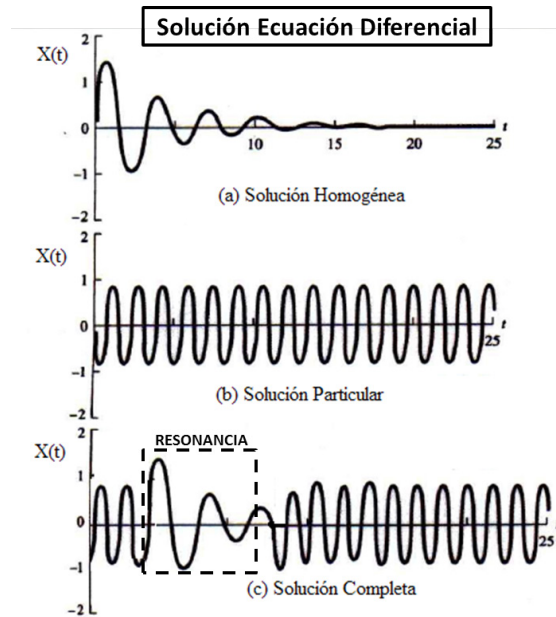


Figura N° 9. Respuesta Dinámica Vibracional. Fuente: Hernández (2017)


REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jiménez, Oscar Y. Caso reales de análisis de vibración. congreso mexicano de confiabilidad y mantenimiento. León. México. 2003.
2. Hernández C., Manuel. Aplicación de Vibraciones mecánicas en Mantenimiento (1ªed.). Trujillo. Venezuela: Fondo Editorial "Mario Briceño-Iragorri". Depósito legal: ME2017000113. ISBN: 978-980-11-18862. Universidad de los Andes. 2017.
3. Manrique, Martha., Bulla, José E. y Giraldo José F. Teoría y Práctica en Ingeniería. Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Disponible: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/email/article/view/1313/2104>. [Consulta: 2019, diciembre 16].
4. Palomino M. Evelio. La Medición y el Análisis de Vibraciones en el Diagnóstico de Máquinas Rotativas. Centro de Estudios Innovación y Mantenimiento. Cuba. 2007.

Publica tu artículo

Consulta las pautas

<https://predictiva21.com/articulista/>

Artículo Técnico 

2.1 Definición de las Fallas Funcionales y Base de Conocimiento

La primera tarea a realizar será el diseño de la base de conocimiento que permitirá definir el conjunto de reglas, necesarias para realizar las estrategias u operaciones de mantenimiento según el análisis RCM (realizado conjuntamente con los expertos de operación, mantenimiento e Ingeniería). En la Figura, se especifica las relaciones y dependencia que existen entre los diferentes elementos considerados por el RCM, tales como estados funcionales, fallas funcionales, equipos, modos de falla, entre otros.

2.2 Variable Difusas y Conjuntos Difusos

En esta sección, se define el conjunto de variables difusas que son usadas en las reglas de control.

Es necesario mencionar que para la definición de las variables difusas se tomó en cuenta las variables de interés analizadas por los operadores y mantenedores las cuales permiten describir el estado del sistema y/o equipo de gas de proceso, cada variable difusa está relacionada con una magnitud específica localizada en planta específicamente con un instrumento de medición en específico, creando las tablas que vinculan cada una de las variables lingüísticas con los instrumentos del sistema y/o equipo, con esta tabla es posible ubicar físicamente cada variable lingüística con ayuda de la identificación (TAG) de los instrumentos asociados. Así entonces se pueden tomar variables como:

1. Temperatura.
2. Presión.
3. Humedad.
4. Vibraciones Radial y Axial.

2.3 Reglas de Control

En esta sección se hace mención al grupo de reglas de control, que arrojarán de acuerdo a sus pesos la información a interpretar y así proceder a la obtención de las tareas de mantenimiento idóneas.

Debe mencionarse que la redacción de las reglas está orientada a la detección de estados anómalos (Anormalidades) en los sistemas y/o equipos de acuerdo a los valores lingüísticos que vayan tomando las variables difusas, de este modo la estructura general que siguen las reglas es la siguiente:

Si <Prop.1>-<Op.1> ... <Prop.N>-entonces <Prop. Resultante>

Las reglas de control cumplen con la finalidad de tomar las variables lingüísticas de entrada y de acuerdo a su valor lingüístico, direccionar el suceso a la variable lingüística de salida.




Fig. 9 Adaptación (RCM - BASE DE CONOCIMIENTO)