

PREDICTIVA 21

Año 10 - No. 48 Marzo 2024

Reflexiones de

RICK

BALDRIDGE

SOBRE MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD

Implementación exitosa
de Mantenimiento
Lean en la Industria
Manufacturera

| Carlos H Betancourth C

El diagnóstico como
paso fundamental en
los proyectos de mejora
en Mantenimiento,
Confiabilidad y
Gestión de Activos

| Manuel Belaochaga

Mantenimiento
Un listado de tareas
o un proceso integral

| Javier Carreño Medina

- 03** Editorial
- 04** Reflexiones de Rick Baldrige sobre Mantenimiento y Confiabilidad
Lisset Chávez
- 11** Análisis de Falla del Termopozo de un Compresor Reciprocante
Enrique González & José Antonio Salazar
- 25** Nearshoring en México: Más de 20,000 ingenieros de mantenimiento y confiabilidad se certificarán en Industria 4.0 con el apoyo de Tractian Academy y Predictiva21
- 30** Estudio de la velocidad de corrosión en el par de aceros ASTM-A36 y AISI/SAE 304 en un sistema de agua-coque de petróleo
Ruben Bajares
- 42** Implementación exitosa de Mantenimiento Lean en la Industrial Manufacturera
Carlos H. Betancourth C.
- 49** Eficiencia Operativa con Mantenimiento Predictivo la visión HxGN EAM al futuro
CTN Global
- 51** Buenas Prácticas de Mantenimiento Aeronáutico en el Mantenimiento Industrial
Viviana Rosalía Cantarella
- 57** Columna: Mundo ACR
Augusto Constantino
- 64** El diagnóstico como paso fundamental en los proyectos de mejora en Mantenimiento, Confiabilidad y Gestión Activos
Manuel Belaochaga
- 71** Decálogo para fracasar en un ACR
Tibaldo Alfredo Díaz Molina
- 75** Cómo hacer un presupuesto de Mantenimiento
José Contreras Márquez
- 81** ¿El Mantenimiento Predictivo maximiza la vida útil de un rodamiento?
José Luis Leal
- 84** Construyendo la Confiabilidad: Entrevista con María Alejandra Martínez Delgado
Lisset Chávez
- 90** Cómo la Automatización y el Internet de las Cosas (IoT) ha estado transformando las operaciones en las industrias, para un futuro sostenible
Elimar Anauro Rojas
- 94** Mantenimiento. Un listado de tareas o un proceso integral
Javier Carreño Medina
- 100** Engrasando tu carrera en Mantenimiento Predictivo
Carlos E. Torres
- 103** Diseño e implementación de procesos de Mantenimiento Alineado a ISO 55001 ¿Cómo hacerlo?
Carlos Y. Valerio C.
- 109** Mantenimiento Productivo Total - TPM
Gonzalo E. Suárez
- 112** Columna: El internista de la 21
Rafael Arguelles
- 118** Mantenimiento de Válvulas de Seguridad
Sheyla Müller

EDITORIAL



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

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

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

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

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

En la edición 48 de Predictiva21, estamos encantados de presentarles una entrevista exclusiva con **Rick Baldrige**, líder indiscutible en **Confiabilidad Corporativa**, quien cuenta con impresionantes **44 años de experiencia**.

Con una amplia trayectoria en la gestión de Operaciones de Planta, Proyectos, Tecnología de la Información, Compras, Excelencia en Confiabilidad y Mantenimiento, Rick es una figura destacada en el campo.

Además de su destacada carrera en Cargill, ha desempeñado roles sumamente importantes, incluido el de **Presidente del Consejo de Directores de la Asociación de Profesionales de Mantenimiento y Confiabilidad (SMRP)**, así como funciones clave en la **Organización Certificadora (SMRPCO)**.

Su liderazgo y experiencia han sido fundamentales para impulsar la excelencia en Confiabilidad en toda la industria, además de que su Certificación de Asesor **Certificado en Gestión de Activos (CAMA)** y sus múltiples certificaciones en áreas como vibración, termografía y análisis de aceite, son testimonio de su dedicación y compromiso con la mejora continua.

En esta edición, tenemos el honor de compartir la perspicacia y el conocimiento de Rick Baldrige, proporcionando a nuestros lectores una visión privilegiada de su vasta experiencia y sus valiosas ideas sobre Confiabilidad y Mantenimiento.

Les invitamos a sumergirse en los artículos y entrevistas de esta edición, donde encontrarán valiosas perspectivas sobre temas relevantes del Mantenimiento, Confiabilidad y Gestión de Activos. ¡No se pierdan esta oportunidad de aprender de los líderes de la industria y mejorar sus prácticas profesionales!

Un abrazo grande.

Andrés González

Editor y CEO de Predictiva21

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

Reflexiones de Rick Baldrige sobre Mantenimiento y Confiabilidad

Nuestra directora editorial tuvo el privilegio de conversar con Rick Baldrige, una destacada figura en el ámbito de mantenimiento y confiabilidad. A lo largo de su distinguida carrera en Cargill Incorporated y su notable desempeño en la SMRP y SMRPCO, Rick ha acumulado una vasta experiencia y conocimientos en el campo del mantenimiento y confiabilidad. En esta entrevista, compartió reflexiones sobre su trayectoria profesional, los desafíos del sector y valiosos consejos para destacarse en este campo en constante evolución.

Más sobre Rick Baldrige:

Rick posee una licenciatura en Ciencias Animales y un título asociado en Negocios y Psicología de la Universidad Estatal de Dakota del Norte. Fue responsable de liderar y dirigir la corriente principal de excelencia en confiabilidad en Cargill Incorporated. Rick fue Presidente del Consejo de Directores de la SMRP (The Society for Maintenance & Reliability Professionals) y también ocupó dos veces el cargo en la Organización de Certificación (SMRPCO). Además, Rick fue Secretario, Tesorero y Vicepresidente para ambas organizaciones así como participante en el Comité de Relaciones Gubernamentales de la SMRP y en 2006, fue Presidente de la Conferencia Anual de SMRP. Rick posee la certificación profesional CAMA a través de WPiAM y certificaciones ASNT-TC 1A en Vibraciones, Termografía, Análisis de Aceite, MLT, AE, UT, VT, PT, ET y MT.

Entrevista por Lisset Chávez

¿Cómo describiría su experiencia como Presidente del Consejo de Directores de la SMRP (The Society for Maintenance & Reliability Professionals)?

Rick Baldrige - Mi experiencia cuando estuve en todos los cargos dentro de la junta, tanto en la SMRP como en la SMRPCO, ha sido valiosa para mí tanto profesional como personalmente. Específicamente, como presidente, aceptar la responsabilidad de liderar la organización de confiabilidad sin fines de lucro más grande a nivel mundial fue significativo. La preparación en los otros cargos de la junta fue fundamental para aprender y aceptar esa responsabilidad. Hubo dos corrientes de valor principales que ayudaron mi crecimiento. El éxito en el liderazgo efectivo de la confiabilidad requiere un cambio significativo de mentalidad que permita que un gerente de línea se transforme en un influenciador. Mi experiencia y retos en la junta de la SMRP, donde tuve la oportunidad de influenciar y ser influenciado por miembros de diferentes empresas (practicantes, proveedores de servicios y de gestión profesional), brindó un crecimiento significativo en mis habilidades y destrezas que me permitieron liderar de manera más efectiva la confiabilidad dentro de la empresa en la cual laboraba. En segundo lugar, adquirí nuevos conocimientos y habilidades en confiabilidad al tener la oportunidad de colaborar con practicantes de otras empresas que tenían responsabilidades de liderazgo similares a las mías.



Rick Baldrige

CMRP, CAMA, líder de excelencia
en Confiabilidad Corporativa



¿Cuáles fueron los principales desafíos que enfrentó durante su posición como Presidente de la Junta de la SMRP, y cómo influyó esta experiencia en su desarrollo profesional y personal?

Rick Baldrige - Como miembro de la junta experimenté el cambio de 4 empresas de gestión que la SMRP financia para ejecutar y apoyar las tácticas estratégicas de la junta. Uno de los mayores desafíos que enfrenté fue liderar el cambio más reciente de esas empresas. La debida diligencia requerida y la responsabilidad de tomar la decisión correcta fueron desafiantes. Nosotros, como junta de una organización sin fines de lucro, necesitábamos aprender la diferencia entre actuar y tomar decisiones estratégicas en lugar de centrarnos en decisiones tácticas y la ejecución. Kellen (la actual empresa de gestión de la SMRP) y Erin Erickson (Directora Ejecutiva) han habilitado la junta con la capacidad de comprender y adaptarse, y ahora están marcando una diferencia crucial en la organización. Otro desafío significativo ha sido discutir, decidir y apoyar si la SMRP es una organización norteamericana o global. Se han dado grandes pasos a medida que aprendemos más durante el último año a través de iniciativas estratégicas muy específicas.

Además de la certificación CMRP, Ud. también es un Asesor Certificado en Gestión de Activos (CAMA). ¿Cómo ha contribuido esta certificación a su carrera?

Rick Baldrige - La certificación profesional de Asesor Certificado en Gestión de Activos (CAMA) me ha brindado una nueva perspectiva y comprensión holística de la Gestión de Activos. Como resultado, he expandido mi enfoque integrado de la confiabilidad. La preparación para la certificación misma me permitió comprender más profundamente los estándares de Gestión de Activos ISO 55000 (el por qué), 55001 (el qué) y 55002 (el cómo). Personalmente, el CAMA me ha permitido hablar y actuar inteligentemente mientras promuevo la ISO 55000.

“

Hasta el día de hoy creo que la confiabilidad trata sobre las personas...

Después de 44 años en Cargill Incorporated, ¿cómo ha evolucionado su enfoque hacia la excelencia en confiabilidad a lo largo de los años?

Rick Baldrige - He tenido el lujo durante los 44 años en Cargill, así como fuera de ella, de estar expuesto y aprender de muchas funciones operativas y perspectivas. Comencé mi carrera como supervisor de producción en una gran instalación de manejo de granos de exportación. Durante ese período me pidieron que fuera supervisor de mantenimiento trabajando bajo uno de los pocos verdaderos mentores que tuve en mi carrera. Mientras supervisaba el mantenimiento, tuve mi primera exposición a un CMMS. Se me pidió que ensamblara todas las tareas para permitir buenas prácticas de gestión del trabajo. Tomé ese conocimiento y habilidad para convertirme en el superintendente de planta de dos instalaciones tipo barcas de carga. Un enfoque significativamente diferente del mantenimiento dado que los trabajadores de producción eran también eran los encargados del mantenimiento.

Todas esas habilidades me ayudaron cuando me pidieron ser gerente de mantenimiento en una gran instalación de exportación de granos. Las expectativas se enfocaban en un ritmo más acelerado y mejores resultados en seguridad, control de costos y tiempo

operativo de las máquinas. Lo que más me enorgullece es que durante esos 16 años bajo mi supervisión nunca se reportó una lesión. Luego pasé a uno de los negocios de América del Norte como gerente de compras, apoyando todas las ubicaciones en ese negocio. Mi experiencia en mantenimiento, sin embargo, cambió bruscamente hacia la confiabilidad cuando adopté los principios del Diseño Centrado en la Confiabilidad y el Costo Total de Propiedad como enfoques para las compras. Esta experiencia me llevó al liderazgo de confiabilidad para uno de los negocios de América del Norte. Durante ese tiempo, mi enfoque fue aprender y poner en práctica la tecnología. Fue a partir de ahí que mi mayor evolución en perspectiva y enfoque comenzó cuando me trasladé a un papel corporativo global. Ciertamente ya tenía el conocimiento y la habilidad técnica, sin embargo, en ese momento comprendí que aún más importante eran la gestión del cambio y el enfoque en las personas. Hasta el día de hoy creo que la confiabilidad trata sobre las personas. El aspecto técnico es muy importante, sin embargo, el factor crítico para el éxito está en las personas.

¿Cómo visualiza el futuro del mantenimiento y la confiabilidad en la industria, considerando las tendencias actuales?

Rick Baldrige - Habrá grandes desafíos que las instalaciones enfrentarán en el futuro. En el tope de mi lista corta estarían el desarrollo exponencial de la tecnología, la creciente escasez de una fuerza laboral calificada y la expectativa competitiva mucho más altas de producir al menor costo de propiedad. El mayor desafío con la tecnología, por la importancia que merece y seguirá teniendo, será que se comprenda en los niveles apropiados de la organización y que se ubique en donde se necesite y cree valor, y no en cualquier lugar. El desafío de la escasez de trabajadores calificados es una realidad. Esa escasez se ha centrado principalmente en la fuerza laboral técnica calificada (mecánicos y electricistas de mantenimiento). Creo firmemente que pronto se comprenderá también que habrá la misma escasez de trabajadores de producción calificados, en la medida que las instalaciones continúen volviéndose más inteligentes. Será difícil competir con aquellos que sean exitosos y tengan el enfoque correcto. Esto podrá mayor presión en las cadenas de suministro, aumentando aún más las expectativas de optimización de costos y productividad. Se desplegará la supervivencia y la rentabilidad de los mejores.

¿Qué consejo le daría a los profesionales que buscan destacarse en el campo de la confiabilidad y el mantenimiento hoy en día?

Rick Baldrige - Destacarse en el campo de la confiabilidad y el mantenimiento solo sucede con el tiempo. Querer destacarse, como motivación para ingresar a esta profesión, traerá resultados no tan exitosos, pero aquellos que tengan la motivación para aprender, crecer y lograr resultados si lograrán destacar. Se deben buscar los objetivos organizacionales a fin de alinear la estrategia. Recomiendo enormemente a los profesionales de confiabilidad y de otros roles de liderazgo operativo que tomen el examen de certificación profesional CMRP (Certified Maintenance and Reliability Professional). He encontrado que esta es una de las mejores herramientas de evaluación de brechas de conocimiento en confiabilidad. Creo que hay tres (3) tipos de candidatos. Los dos más aventajados son aquellos que toman el examen y logran la certificación de inmediato (aun cuando he visto algunos que piensan no hay más que aprender), y aquellos que toman el examen, no tienen éxito, pero aceptan las brechas de conocimiento y buscan cerrarlas. Esas personas son, por lo general, aprendices perpetuos a partir de entonces. El tercer tipo de candidato es aquel que fracasa por no darse la oportunidad de tomar el examen. Estos son los únicos candidatos que fallan. La SMRP ahora ofrece un excelente programa de capacitación que comenzó en 2024. El mismo cubre todos los cuerpos de conocimiento de la SMRP. Los profesionales deben tener en cuenta que la capacidad de aprendizaje de los adultos es estrecha. Siempre recomiendo entender las brechas de conocimiento, tomar pequeños "bocados" de conocimiento y ponerlo en práctica inmediatamente, una y otra vez, para transformarlo en habilidad o competencia.

Escucho las palabras y promesas de transformación y cambio cultural. Esta promesa no se logra de la noche a la mañana. La acumulación de pequeños "bocados" de conocimiento puestos en práctica una y otra vez lograrán la habilidad o competencia. Los bloques de construcción de habilidades acumuladas para uno mismo y para los demás serán los que harán el cambio. Cuando lo "nuevo" se convierta en lo "viejo", tendrás una transformación y cambio cultural. También creo firmemente en la colaboración entre múltiples disciplinas profesionales que aportan una perspectiva valiosa y ayudan a habilitar estrategias. Sean líderes de este cambio en ustedes y los demás. Siempre recuerden que necesitan estar equilibrados en el liderazgo de tecnología, proceso y personas. No hay balas de plata. Creo, sin embargo, que la forma en la que se interactúa y enfoca principalmente en las personas será la bala más brillante. Tengan paciencia ya que lleva años y terminarán destacándose.

“ **La lección de vida más importante aprendida [...] concéntrate en ser el mejor en lo que te están compensando** ”

Si pudiera compartir una lección de vida aprendida a lo largo de su carrera, ¿cuál sería?

Rick Baldrige - La lección de vida más importante que he aprendido a lo largo de mi carrera ha sido no enfocarme primordialmente en el próximo avance o trabajo. Aun cuando los compañeros de trabajo puedan adelantarse, concéntrense en ser los mejores para lo que se les ha contratado. Eso no significa que no deban traba-

jar en su desarrollo profesional. He visto compañeros de trabajo desde mi primer año que ponen más énfasis en un próximo potencial trabajo y pierden de vista el desarrollo y los resultados de su trabajo actual. He visto ganancias en el corto plazo, pero nunca he visto éxito en el largo plazo. También he tenido la oportunidad de trabajar con muchos profesionales de Gestión del Cambio, pero solo he tenido el lujo de trabajar con pocos grandes profesionales de Gestión del Cambio. He analizado la diferencia entre ambos y he llegado a la conclusión de que los grandes viven tanto su vida personal como profesional con los mismos principios de gestión del cambio. Mi capacidad para la Gestión del Cambio fue habilitada por un par de los grandes y ha hecho el mayor cambio positivo en mi desarrollo. No simplemente seleccionas una herramienta de cambio estratégico o táctico y la aplicas. La mayoría de las veces veo que la gestión del cambio está definida por la gestión de las partes interesadas. Si se ejecuta correctamente y en el momento adecuado, la gestión de las partes interesadas es muy valiosa, pero no es la única herramienta. La gestión del cambio debe estar "integrada" cada vez que haya una iniciativa de cualquier tipo que se desee implementar. La iniciativa debe desglosarse en sus componentes individuales y analizarse los impactos asociados al cambio. Ese análisis debe incluir impactos en personas, procesos, estructura y cultura. Aquí es donde se obtiene una comprensión de qué herramienta de gestión del cambio estratégico o táctico abordará apropiadamente esos impactos. Las personas técnicas y los ingenieros tienen el impulso natural de ejecutar inmediatamente una iniciativa apoyados en la tecnología o en los procesos, pensando que la gestión del cambio es algo blando que sólo aplica a otras personas. Esta es una de esas áreas en donde falla la sustentabilidad. Finalmente, el respeto mutuo, el beneficio mutuo y la confianza mutua deben ser parte de los resultados cuando se trabaja con colegas, proveedores de servicios, distribuidores, OEM, etc.

“ Hay tres cosas fuera en mi vida que me preparan para mi próximo desafío...”

Fuera de su vida profesional, ¿cuál es su pasatiempo favorito para relajarse y recargar energías?

Rick Baldrige - Hay tres cosas fuera de mi vida profesional que me satisfacen, me traen alegría y me preparan para mi próximo desafío. Mi familia, la caza y pesca, y el béisbol / fútbol americano universitario. Mi esposa, nuestros 3 exitosos hijos y nuestros 5 nietos son las mayores recompensas de la vida. En segundo lugar, me encanta cazar y pescar. La caza mayor y menor en Montana y Dakota del Norte, así como la pesca de lucios en Dakota del Norte, encierran suficiente desafío y relajación y me alejan temporalmente de mi vida profesional. Finalmente, el béisbol también es una gran pasión para mí. Administré, gestioné o entrené béisbol juvenil durante 12 años. En ese tiempo, participé en 2 juntas de béisbol juvenil de la ciudad y 1 junta estatal. También veo alrededor de 150 juegos de béisbol profesional cada año. El equipo que mi hijo y yo seguimos es los New York Mets. Mi hijo y yo también somos grandes aficionados a los Bison de NDSU, mi alma mater.

Entrevista por Lisset Chávez

Reflections by Rick Baldrige on Maintenance and Reliability

Our editorial director had the privilege of conversing with Rick Baldrige, a prominent figure in the field of maintenance and reliability. Throughout his distinguished career at Cargill Incorporated and his notable performance at SMRP and SMRPCO, Rick has accumulated extensive experience and knowledge in the field of maintenance and reliability. In this interview, he shared reflections on his professional journey, sector challenges and valuable advice for standing out in this constantly evolving field.

More about Rick Baldrige:

Rick holds a bachelor's degree in animal sciences and an associate degree in business and psychology from North Dakota State University. He was responsible for leading and directing the primary stream of reliability excellence at Cargill Incorporated. Rick served as Chairman of the Board of Directors of SMRP (The Society for Maintenance & Reliability Professionals) and held the position twice at the Certification Organization (SMRPCO). Additionally, Rick served as Secretary, Treasurer, and Vice President for both organizations, as well as a participant in SMRP's Government Relations Committee. In 2006, he was the Chairman of SMRP's Annual Conference. Rick holds the CAMA professional certification through WPIAM and ASNT-TC 1A certifications in Vibration, Thermography, Oil Analysis, MLT, AE, UT, VT, PT, ET, and MT.

Entrevista original

How would you describe your experience as Chairman of the Board of Directors of SMRP?

Rick Baldrige - My experience when I was in all the board positions, multiple times w/in both SMRP and SMRPCO, has been valuable to me both professionally and personally. Specifically, as Chairperson, was in accepting the responsibility of leading the largest global non-for-profit reliability organization. The preparation in the other board positions was critical in learning and accepting that responsibility. There were two primary value streams that have helped me in the own growth. The success in effective reliability leadership requires a significant mind shift from being a line manager to being an influencer. My SMRP board experience and challenges being influenced and influencing with members of different companies (practitioners and service providers) as well a professional management company brought significant growth in my abilities and skills to be more effective in leading reliability w/in the company that employed me. Secondly, I was able to gain new reliability knowledge and skills from collaborating with practitioners having similar leadership jobs in other companies.



Rick Baldrige

CMRP, CAMA, líder de excelencia
en Confiabilidad Corporativa



What were the main challenges you faced during your tenure as Chairman of the SMRP Board, and how did this experience influence your professional and personal development?

Rick Baldrige - I experienced historically as a board member the change of (4) management companies that SMRP funds to execute and support the strategic tactics of the board. One of the biggest challenges I faced was in leading the most recent one of those changes. The due diligence required and the responsibility in making the right decision was challenging. We as a nonprofit organization board needed to learn the difference in acting and making strategic decisions in contrast to focusing on tactical decisions and execution. Kellen (current SMRP management company) and Erin Erickson (Executive Director) have enabled the board's capability to understand, adapt and fit and are now making a crucial difference in the organization. Another significant challenge has been in significant discussing, deciding, and supporting whether SMRP is a North American or global organization. Great strides have been made as we learn more during the past year through very specific strategic initiatives.

In addition to the CMRP certification, you are also a Certified Asset Management Assessor (CAMA). How has this certification contributed to your career?

Rick Baldrige - The Certified Asset Management Assessor (CAMA) professional certification has brought me a new perspective and holistic understanding of Asset Management. As a result, I have expanded my already comprehensive integrated approach to reliability. The preparation for the certification itself led and enabled me to more deeply understand ISO 55000 (Why), 55001 (What) and 55002 (How) of the standards of Asset Management. Personally, the CAMA has enabled me to speak and act intelligently as I promote ISO 55000.

After 44 years at Cargill Incorporated, how has your approach to reliability excellence evolved over the years?

Rick Baldrige - I have had the luxury over the (44) years at Cargill as well as external to Cargill to be exposed to and learn from many operational functions and perspectives. I began my career as a production supervisor at a large export grain handling facility, during that period was asked to be a maintenance supervisor working under one of the few real mentors that I had in my career. While supervising maintenance, I got my first exposure to a CMMS. I was asked to assemble all the tasks to enable good work management practices. I took that knowledge and skill to become the plant superintendent for two barge loading facilities. Significant difference in approach to maintenance as production workers were also the maintenance crew, all those skills aided me when asked to be a maintenance manager at a large grain export facility. A much faster pace and greater results for safety, cost control and machine uptime were the expectations. I am most proud that during those 16 years under my supervision there was never a reported injury. I then moved into one of the North American businesses as the procurement manager supporting all the locations in that business. My maintenance experience used, however, sharply shifted to a reliability focus as I took the principles of

reliability centered design and total cost of ownership as my approach to procurement. This experience led me to reliability leadership for one of the North American businesses. During this time, my focus was to learn and put technology into action. It was from there that my biggest evolution in perspective and approach began when I moved into a global corporate role. I certainly had the technical knowledge and skill however at this time I learned that even more important is change management and the focus on people. To this day, I believe that reliability is about people. The technical side is very important however the critical success factor is people. .

How do you envision the future of maintenance and reliability in the industry considering current trends?

Rick Baldrige - There are very big challenges that facilities will face in the future. The very top of my short list would be the exponential development of technology, the growing shortage of a skilled workforce and much higher competitive expectations to produce at the lowest cost of ownership. The biggest challenge with technology, as important as it is and will continue to be, will be in understanding at the right levels of the organization and placement of that technology where value is needed and created - not necessarily everywhere. The challenge of the shortage of skilled workers is real. That shortage has been primarily focused on a skilled technical workforce (maintenance mechanical and electrical crafts). I strongly believe what will soon be realized that there will be the same shortage for skilled production workers as facilities continue to become smarter. For those successful and having the right focus will be difficult to compete with. This will put higher pressures in operational supply chains, further increasing cost optimization and productivity expectations. Unfolded will be the survival and profitability of the best.

What advice would you give to professionals looking to stand out in the field of reliability and maintenance today?

Rick Baldrige - Standing out in the field of reliability and maintenance will only happen over a period of time. Standing out as being the motivation to enter this profession will bring less than successful results. Those that have the motivation to learn, grow and achieve results will stand out. One must seek out organizational goals for alignment of strategy. I highly recommend reliability practitioners and other operational leadership roles to sit for the CMRP (Certified Maintenance and Reliability Professional) professional certification exam. I have found this to be one of the best reliability knowledge gap assessment tools. I believe there are (3) different candidates. The first and second most advantaged are those that take the exam and immediately achieve certification. I, however, have seen that there sometimes is a typical thought that there is no more to learn. The most advantaged are those that take the exam, are unsuccessful however embrace the knowledge gaps and seek out to close those gaps. I typically see these individuals as perpetual learners from there. The third candidate type are those that fail by not offering themselves the opportunity to take the exam. These are the only candidates that fail. SMRP now offers an excellent training program that began in 2024. It covers all the SMRP bodies of knowledge. Practitioners need to keep in mind that adults learning capacity is narrow. I always recommend understanding knowledge gaps, take small bites and immediately execute that knowledge over and over again to transform into skill. I hear the words and promises of transformational and culture change. This is a promise that is not achieved overnight. Accumulation of small bits of knowledge immediately executed over and over again will acquire skill. These building blocks of skill accumulated for self and others will make the change. When the "new" becomes the "old" you will have cultural and transformational change. I also very much believe in collaboration across multiple professional disciplines brings valuable perspective that will help enable strategies. Be a leader of this change within yourself and others. Always remember that you need to be well rounded in the leadership of technology, process and people. There are no silver bullets. I do however believe that how you interact with and primary focus on people will be the shiniest bullet. Be patient as it takes years, and you will end up standing out.

If you could share a life lesson learned throughout your career, what would it be?

Rick Baldrige - The biggest life lesson learned throughout my career has been to not put your primary focus on your next advancement or job. Even as coworkers might leapfrog you focus on being the best at what you are being compen-

sated for. That does not mean you should not be working on career development. I have seen coworkers since my first year put more focus on a perceived next job and lose sight of development and results of their current job. I have seen short term gains, however, have never seen long term success. I also have had the opportunity of working with many Change Management professionals. I have, however, had the luxury of working with a few great Change Management professionals. I analyzed the difference between the two groups and have come to the conclusion that the great ones live both their personal and professional lives with the same change management principles. My capability for Change Management was enabled by a couple of the great ones and has made the biggest positive change in my development. You don't simply pick a strategic or tactical change management tool and apply it. (I most often see change managements as defined by doing stakeholder management. If properly executed and at the right time, stakeholder management is very valuable. It is not the only tool.) Change Management should be "integrated" whenever there is an initiative of any type that there is a desire to be implemented. The initiative should be broken down in its individual components and analyzed for their change impacts. That analysis should include impacts to people, process, structure and culture. This is where an understanding is gained as to what strategic or tactical change management tool will address that/those impact(s). Technical people and engineers naturally have the impulse to immediately execute upon technology or process thinking change management is soft and for others. This is one of those areas that sustainment fails. Finally, mutual respect, mutual benefit and mutual trust should be an outcome when working with colleagues, service providers, distributors, OEM's etc.

Outside of your professional life, what is your favorite pastime to unwind and recharge?

Rick Baldrige - There are three things outside of my professional life that fulfill me, bring joy and make me ready for my next challenge. My family, hunting and fishing, and baseball/college football. My wife, our three successful children and our (5) grandchildren are the biggest rewards in life. Secondly, I love to hunt and fish. Big game and upland hunting in Montana and North Dakota and fishing for walleyes in North Dakota bring enough challenge and relaxation that can temporarily take me from my professional life. Finally, baseball is also a big passion of mine. I administrated, managed or coached youth baseball for (12) years. During that time, I sat on (2) city and (1) state youth baseball boards. I also watch about (150) professional baseball games each year. The team my son and I follow is the New York Mets. My son and I are also avid fans of the NDSU Bison - my alumni.

Análisis de Falla por Agrietamiento de un Termopozo instalado en un Compresor Reciprocante



Autor: Enrique González

Chairman Predictiva21 / CMO E&M Solutions,
Asset Mgmt ISO 55000, Reliability, Vibration
& Turbomachinery



Autor: José Antonio Salazar

Gerente de Proyectos, Full-stack developer,
Ingeniero, MBA, PMP

SUMARIO

Este trabajo presenta el análisis de falla de un termopozo instalado en un motocompresor reciprocante de una planta compresora de gas natural. En el mismo se describen los hallazgos de la inspección visual inicial, así como el árbol de hipótesis posibles de causas de falla que dio lugar a los estudios, simulaciones y pruebas necesarias para la validación o descarte de las hipótesis.

Las evidencias, pruebas y simulaciones confirmaron que la falla fue producida por el mecanismo de deterioro de fatiga de alto ciclo, el cual fue causado por el incremento de los esfuerzos soportados cuando la pieza operaba bajo resonancia dinámica, excitada por un armónico de alto orden (12X) asociado a la velocidad de giro del compresor.

Dentro de las recomendaciones se ofrecen dos posibles opciones de modificación del diseño del termopozo que evitan que el mismo vuelva a estar en resonancia en el rango de velocidad normal de operación del motocompresor, garantizando un factor de seguridad cercano (o superior) a 30.

ANTECEDENTES

Durante el recorrido diario realizado por el personal de operaciones de una planta compresora de gas natural ubicada en la región este de Venezuela, se detectó una fuga de gas natural. En la inspección visual se pudo identificar que la misma provenía de un termopozo instalado en uno de los compresores de media presión (IP-3500), el cual estaba identificado con la etiqueta (Tag) TE-3581A. La Figura 1a muestra el plano general de planta, resaltando la ubicación del compresor IP-3500; la Figura 1b muestra una porción del Diagrama de Tubería e Instrumentación (P&ID) donde se detalla la ubicación del termopozo TE-3501A; y la Figura 1c muestra un registro fotográfico del área donde se observó la fuga de gas.

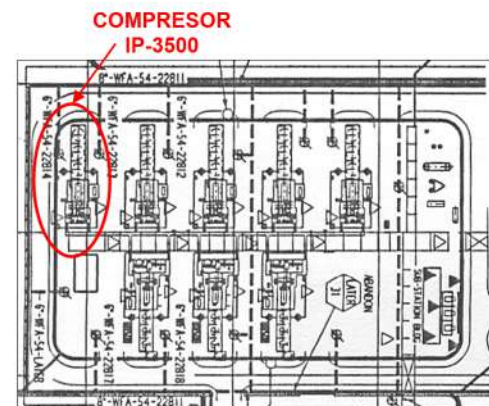


Figura 1a. Plano de planta mostrando el motocompresor IP-3500 donde se presentó la fuga de gas

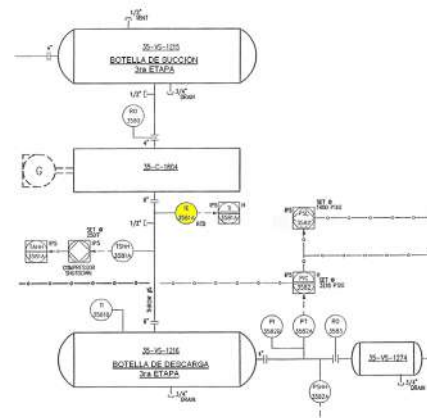


Figura 1b. P&ID del motocompresor IP con el termopozo TE-3581A gas



Figura 1c. Registro fotográfico del área donde se detectó la fuga de gas

INTRODUCCIÓN

La empresa operadora dispone de una planta de compresión de gas natural ubicada en el Estado Monagas, Venezuela, compuesta por ocho (8) trenes motocompresores recíprocos, con capacidad instalada para manejar 150 MMscfd desde una presión de entrada de 350 psig hasta una presión de descarga de 10000 psig. El arreglo de compresión de la planta está dividido en dos sistemas: el sistema de media presión (IP) y el de alta presión (HP). El sistema IP está integrado por cinco (5) trenes motocompresores recíprocos con capacidad de 30 MMscfd c/u, los cuales comprimen el gas desde 350 psig hasta 3100 psig, en tres etapas de compresión denominadas 1ra, 2da y 3ra etapa. La sistema HP, por su parte, está integrado por tres (3) trenes motocompresores recíprocos con capacidad de 50 MMscfd cada uno, los cuales elevan la presión del gas desde 3100 psig hasta 10000 psig.

Las características técnicas y condiciones de operación del compresor las Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla 1. Características técnicas del compresor IP-3500

Equipo	Compresor
Tipo	Recíprocante
Marca	
Modelo	

Tabla 2. Condiciones de operación del IP-3500

Presión	3000 psig
Temperatura	179 °F
Volumen de gas manejado	26-30 MMscfd
Velocidad mínima	925 RPM
Velocidad máxima (setting)	1000 RPM
Velocidad máxima (diseño)	1200 RPM

INSPECCIÓN VISUAL

En la Figura 2, se muestran fotografías del termopozo desmontado, en las cuales se puede observar que está conformado por un vástago de aproximadamente 10 in de longitud, soldado a tope de 45°, sobre una brida de 1-1/2" de diámetro clase 2500.

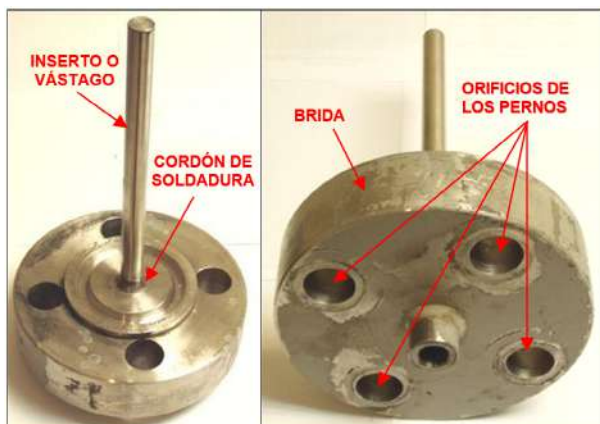


Figura 2. Fotografías del termopozo desmontado

Para determinar la presencia de grietas en el termopozo, se utilizó la técnica de líquido penetrante. En la Figura 3, se muestra el líquido penetrante extraído de la grieta al reaccionar con el líquido revelador, observándose que la grieta está ubicada en el perímetro superior del cordón de soldadura del termopozo, con una extensión de aproximadamente 180°.

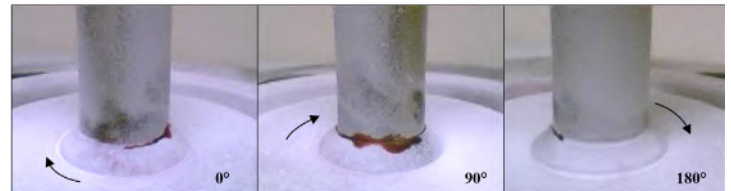


Figura 3. Grieta en el perímetro superior del cordón de soldadura del termopozo

Con la finalidad de poder observar la cara de fractura de la grieta, se procedió a terminar de fracturar la pieza, sin dañarla, aplicando presión continua en la parte superior del vástago. La cara de fractura es mostrada en la Figura 4. Se pudo determinar que la fuga de gas se produjo por causa de una grieta pasante, justamente en una zona de cambio de sección. Adicionalmente, se observó la presencia de marcas cóncavas sucesivas o "marcas de playa", alrededor del origen de la fractura, las cuales se originan cuando la falla es producida por el fenómeno de fatiga.



Figura 4. Cara de fractura de la grieta en el termopozo

DESARROLLO DE HIPÓTESIS

Un componente mecánico sometido a cargas y esfuerzos fallará sólo cuando los esfuerzos aplicados superen la resistencia del material. En el caso más general, tanto la resistencia como los esfuerzos presentarán alguna variación que puede ser modelada bajo una distribución probabilística, tal como se representa gráficamente en la Figura 5; donde se observa que la probabilidad de falla aumenta con la disminución de la resistencia del material y con el incremento de los esfuerzos aplicados.



Figura 5. Diagrama esfuerzo-resistencia

La inspección visual muestra que la propagación de la grieta, y probablemente la nucleación de la misma, se debió al fenómeno de fatiga. La Figura 6, indica las hipótesis en las cuales se puede basar la falla, permitiendo tener una visión clara de cuales deberán ser los análisis realizados para determinar el origen de la falla.

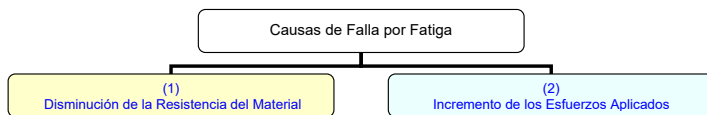


Figura 6. Árbol de hipótesis para fallas por fatiga

En la Figura 7 se muestran las hipótesis de posibles causas que pudieron disminuir la resistencia del material, para las cuales es necesario realizar estudios metalúrgicos, con el fin de validarlas o rechazarlas. Similarmente, en la Figura 8 se muestran las hipótesis que pudieron incrementar los esfuerzos aplicados, para las cuales es necesario realizar “auditorías del diseño” mecánico.

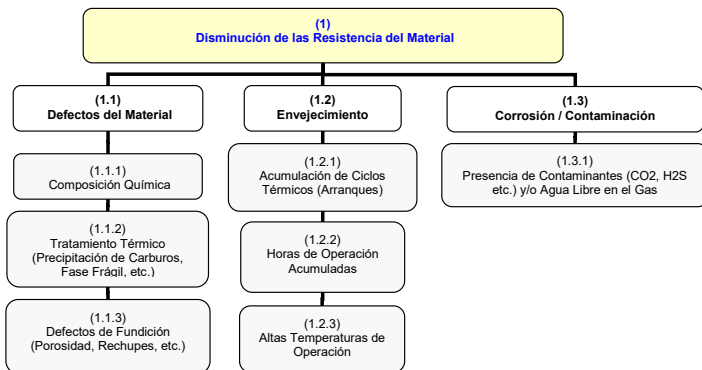


Figura 7. Hipótesis asociadas a la “Disminución de las Propiedades Mecánicas”

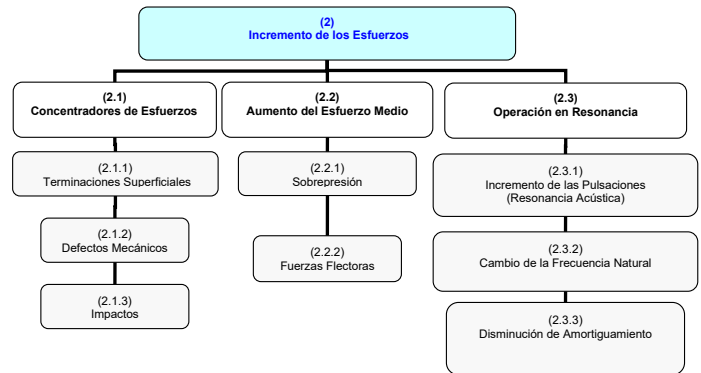


Figura 8. Hipótesis asociadas al “incremento de esfuerzos”

ESTUDIOS METALÚRGICOS

Con el fin de definir las propiedades del material del termopozo, y buscar posibles defectos metalúrgicos y/o defectos en el proceso de fabricación, se procedió a realizar análisis fractográfico, análisis metalográfico y ensayos de dureza.

Análisis Fractográfico

La evaluación realizada reveló lo siguiente:

1. Iniciación de la grieta en la superficie del cordón de soldadura del termopozo. La morfología de la grieta presenta un patrón de distribución radial, asociados a un mecanismo de fatiga superficial, Figura 9a.
2. Patrón de agrietamiento rápido, evidenciado por la presencia de micro hoyuelos o dimples, sin deformación plástica, Figura 9b.
3. No se encontraron defectos en la soldadura, tales como: sopladuras, porosidades, falta de penetración, precipitados duros de segunda fase que pudieran estar asociados a la falla.

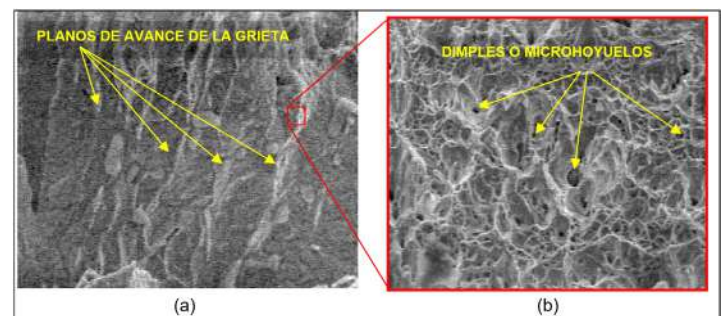


Figura 9. Micrografías de la superficie de fractura del termopozo, mostrando los planos de avance de la grieta y los dimples”

Análisis Metalográfico

La evaluación metalográfica realizada al material del termopozo, con el microscopio óptico, evidenció la presencia de granos austeníticos con precipitados de carburos, típica de aceros inoxidable de la serie 3XX (austeníticos), tal como se muestra en la Figura 10a.

En áreas localizadas de la microestructura, se observaron carburos precipitados en los bordes de grano, Figura 10b, lo cual no es deseable porque pudieran favorecer la ocurrencia de un mecanismo de corrosión intergranular, en presencia de humedad. En este caso no se observó corrosión intergranular.

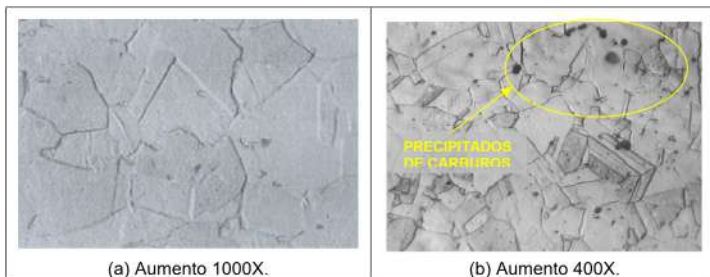


Figura 10. Microestructura del termopozo conformada por granos austeníticos y localización de precipitados de carburo en los bordes de grano

Ensayo de Dureza

El barrido de dureza se practicó desde la periferia de la muestra hacia el centro de la misma, obteniéndose valores relativamente homogéneos con una dureza promedio de 86,6 RB (Rockwell “B”), tal como se muestra en la Tabla 3. Al comparar este resultado de dureza promedio, con el valor de dureza del acero inoxidable austenítico (95 RB máximo), se establece que efectivamente éste corresponde con la microestructura encontrada en el análisis metalográfico.

Tabla 3. Dureza de material

Numero de Ensayos	Dureza Rockwell “B”
1	87
2	87
3	86
4	87
5	86
$\bar{x} \pm \sigma$	86,6 ± 0,5

Análisis de Resultados de los Estudios Metalúrgicos

- Material del metal base: Acero inoxidable austenítico (tipo 3XX), son aceros inoxidables al cromo – níquel. Lo más comúnmente utilizados son los grados AISI 304 y AISI 316, donde el contenido de cromo está por el orden de 18% y el de níquel varía entre 8 y 14%, dependiendo del grado seleccionado.
- Proceso de manufactura: Barra forjada con tratamiento térmico de recocido (enfriado en aire).

En líneas generales, no se observaron defectos metalúrgicos, evidencia de envejecimiento, presencia de corrosión y/o contaminación en el material; que pudieran estar asociados a la falla. En otras palabras, no se observaron indicios de la disminución de la resistencia del material.

AUDITORÍA MECÁNICA

La experiencia a nivel mundial indica que las fallas por fatiga, en sistemas estáticos, comúnmente (no siempre) están relacionadas con operación en resonancia (Ehrich, 1992). En esta condición de operación, la respuesta de vibración del sistema es máxima y los esfuerzos se incrementan más de 10 veces. Es necesario entonces, la realización de un Análisis Dinámico como parte de la auditoría mecánica. Sin embargo, no se descartan las hipótesis 2.1 y 2.2, de la Figura 8.

Para llevar a cabo este análisis, se utilizó el diagrama de Campbell, (Figura 11a) para resaltar potenciales resonancias; el método de los elementos finitos (FEA), para determinar frecuencias naturales y estados de esfuerzos; y el diagrama de fatiga, (Figura 11b), para comparar el estado de los esfuerzos, de los puntos en resonancia, con los límites de aceptabilidad (Soderberg, Goodman, Goodman Modificado).

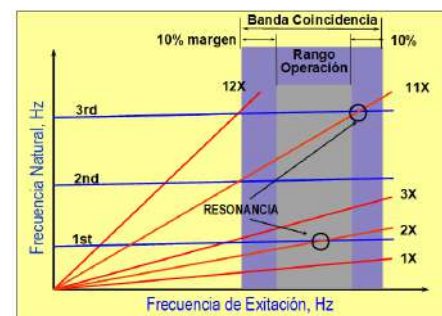


Figura 11a. Diagrama de Campbell



Figura 11b. Diagrama de Fatiga

El diagrama de Campbell, tal como se muestra en la Figura 11a, es un gráfico donde las frecuencias naturales de la pieza (líneas horizontales), son representadas en el eje de las abscisas y las frecuencias de excitación en el eje de las ordenadas. Se grafican además los ordenes o armónicos de excitación de interés (líneas 1X, 2X, 3X etc.). Luego, se

procede a definir el rango de operación del equipo, entre las velocidades mínimas y máximas del mismo, más un margen de seguridad del 10%, para establecer una banda o zona de coincidencia. Los puntos de intersección entre los armónicos y las frecuencias naturales, ubicados dentro de la banda de coincidencia, son puntos de resonancia y ameritan un estudio de esfuerzos para determinar si el elemento falla o no.

Determinación de Frecuencias Naturales Utilizando Pruebas de Impacto

Para determinar las frecuencias naturales del termopozo, se procedió a realizar pruebas de impacto con la asistencia de un analizador de vibraciones de dos canales.

El procedimiento ideal consiste en aislar las frecuencias naturales de la pieza en estudio, de las frecuencias naturales de los elementos o estructuras que la soportan a un sistema inercial (tierra). Tal condición se logra, al dejar flotar la pieza en un ambiente de gravedad nula. Esto, sin embargo, resulta poco práctico, por lo que un método alterno ampliamente usado, es el denominado Método Libre-Libre, el cual consiste en suspender la pieza en sus extremos, por medio de dos filamentos de gran longitud que ofrecen una rigidez adecuada en la dirección vertical, pero tienen una rigidez prácticamente nula en la dirección horizontal. En este caso, las altas oscilaciones que permiten las cuerdas después de un impacto, representan un inconveniente para mantener fijos los sensores de vibración al vástago o inserto del termopozo. El potencial movimiento relativo entre la pieza y el sensor, produciría ruidos o frecuencias no deseadas. Por esta razón, se optó por realizar la prueba de impacto sobre un banco de prueba de soporte rígido, aun cuando este propicie la transmisibilidad de las frecuencias naturales del soporte a la pieza en estudio. Se requiere entonces del uso de algún software de simulación que permita diferenciar las frecuencias naturales asociadas a la pieza, de las frecuencias naturales del soporte.

Procedimiento experimental utilizado:

1. El termopozo fue colocado en posición vertical, sujeto con una prensa de banco, tal como se muestra en la Figura 12.
2. Los acelerómetros fueron colocados de forma perpendicular al eje axial del termopozo, utilizando pegamento de secado rápido. Uno de los acelerómetros se colocó en el extremo libre del vástago (canal A), y el otro (canal B) a 5" del primero, Figura 12.
3. El termopozo fue golpeado, utilizando un martillo de plástico, con el fin de excitar las frecuencias naturales del mismo.

4. Los datos se tomaron con un rango de frecuencia desde 141 a 90.000 cpm, los cuales fueron procesados y transferidos a un computador para luego ser analizados.

La prueba de impacto arrojó como resultados, los espectros mostrados en la Figura 13 y el ANEXO 1. El pico predominante en el canal A, se encuentra a 184,45 Hz (11.067 cpm) con amplitud de 0,019 G's y el mismo se encuentra en el canal B, a 184,92 Hz (11.095 cpm) con amplitud de 0,0036 G's. Adicionalmente, se observan otros picos a frecuencias mayores, entre 55.900 y 66.500 cpm.

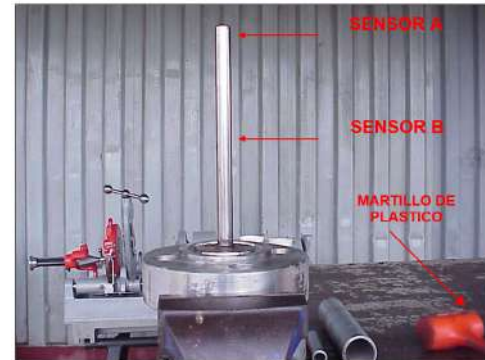


Figura 12. Montaje utilizado para la prueba de impacto

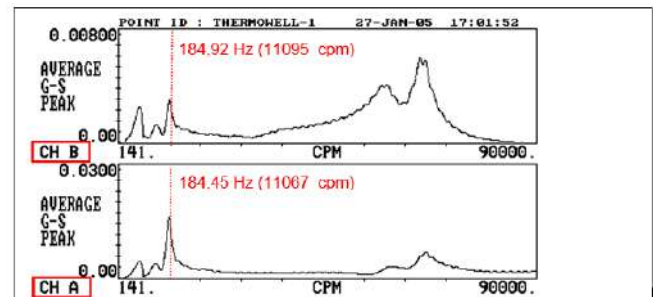


Figura 13. Espectros obtenidos en la prueba de impacto

Es importante destacar que las pruebas se efectuaron sobre el termopozo fracturado. La disminución del área de contacto en la cara de fractura reduce la rigidez, y por lo tanto, las frecuencias naturales de la pieza. Debido a la indisponibilidad de un termopozo en buen estado (sin fractura) para el momento del estudio, no fue posible medir las frecuencias naturales según diseño. Por tanto, estas últimas, serán determinadas utilizando simulación computacional (FEA).

Determinación de Frecuencias Naturales Utilizando FEA

Se utilizó un software de simulación mecánica a través del método de los elementos finitos (FEA), capaz de calcular las frecuencias naturales y los esfuerzos generados por vibración.

Construcción del Modelo Base

Para realizar los análisis se construyó de un modelo base, el cual sirvió de referencia para simular distintos casos: termopozo con y sin fractura. Se tomaron las medidas del termopozo y, utilizando un software CAD, se dibujaron como sólidos en 3D, tal como se muestra en la Figura 14. El sólido fue transferido al software de FEA y se definió el tipo de material como AISI 304, Tabla 4. Se definieron los elementos tipo bloque (brick) y se procedió a realizar el mallado, tal como se muestran en la Tabla 5 y la Figura 15.

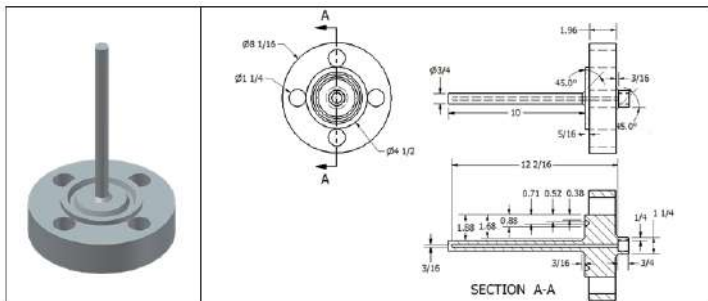


Figura 14. Termopozo en 3D y dimensiones del mismo

Tabla 4. Propiedades del material utilizado para el modelo

AISI 304	
Densidad de la Masa	0,00074859 lbf*s ² /in ³
Modulo de Elasticidad	27993000 lbf/in ²
Radio de Poisson	0,29
Modulo de Rigidez	12473000 lbf/in ²

Tabla 5. Resultado del mallado superficial y sólido

TIPO	ELEMENTOS
SUPERFICIALES	14.897
SÓLIDOS	98.996

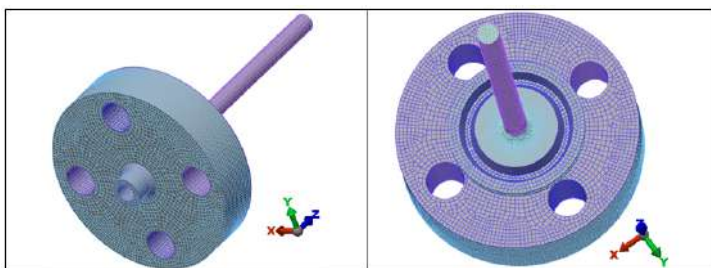


Figura 15. Malla del termopozo utilizada para simulación FEA

Termopozo con Fractura

Para diferenciar las frecuencias naturales del termopozo, de las frecuencias naturales del soporte, en los espectros obtenidos con la prueba de impacto, se procedió a utilizar FEA.

En este modelo se adicionaron las masas de los dos acelerómetros utilizados en las pruebas de impacto. Los acelerómetros se representaron como anillos con masa igual a la de los acelerómetros, según se muestra en la Figura 16 y la Tabla 6.

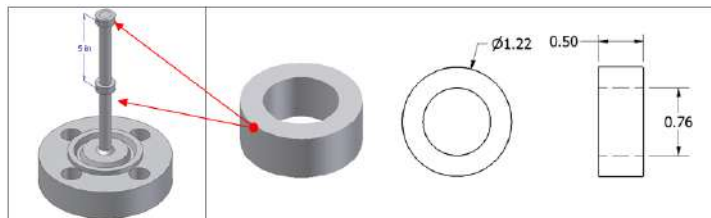


Figura 16. Modelo en 3D con las piezas que sustituyen los acelerómetros

Tabla 6. Propiedades de la pieza sustituta de los acelerómetros

TIPO	ELEMENTOS
Material	AISI 304
Densidad de la Masa	0,00074859 lbf*s ² /in ³
Volumen	0,363 in ³
Masa	0,105 lbm

Las dimensiones y la morfología de la grieta encontrada fueron consideradas, tal como se observa en la Figura 17.

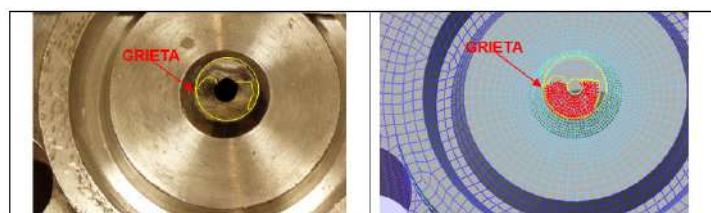


Figura 17. Grieta real a la izquierda y grieta modelada con FEA a la derecha

La Tabla 7 muestra las frecuencias de los dos primeros modos de vibración. Puede observarse la existencia de dos frecuencias naturales por cada modo, debido al carácter asimétrico de la grieta. Adicionalmente, se comparan los valores simulados con las respuestas pico, observadas en los espectros de la Figura 13. Se puede apreciar que el valor de la primera frecuencia natural identificada, coincide con un error menor al 2%, lo cual se considera aceptable, quedando de esta manera validado el modelo de FEA. La Figura 18 muestra la forma de los modos de vibración identificados.

Tabla 7. Frecuencias naturales del termopozo con fractura

TIPO	DIRECCIÓN	FRECUENCIA NATURAL		ERROR
		PRUEBAS DE IMPACTO	FEA	
MODO 1	A	-No identificada-	164,18 Hz	-
	B	184,45 Hz	188,16 Hz	1,97 %
MODO 2	A	965,00 Hz	1.064,62 Hz	9,36 %
	B	1.107,00 Hz	1.159,00 Hz	4,50 %

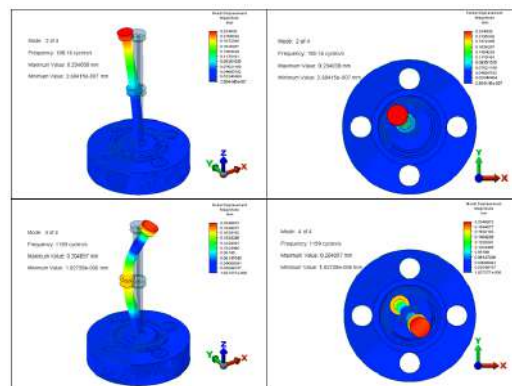


Figura 18. Dos primeros modos de vibración del termopozo con fractura, calculados con FEA

Termopozo sin Fractura

Se utilizó el mismo modelo base. La Tabla 8 muestra los resultados de las frecuencias correspondientes a los dos primeros modos de vibración, y la Figura 19 la forma de los mismos. Puede apreciarse que en ausencia de la grieta, la primera frecuencia natural del termopozo aumenta de 188,16 Hz (11.290 cpm) a 212,45 Hz (12.700 cpm), es decir, un incremento de 11%.

Tabla 8. Frecuencias naturales del termopozo sin fractura

TIPO	DIRECCIÓN	FRECUENCIA NATURAL
MODO 1	A	211,68 Hz
	B	212,45 Hz
MODO 2	A	1287,96 Hz
	B	1292,00 Hz

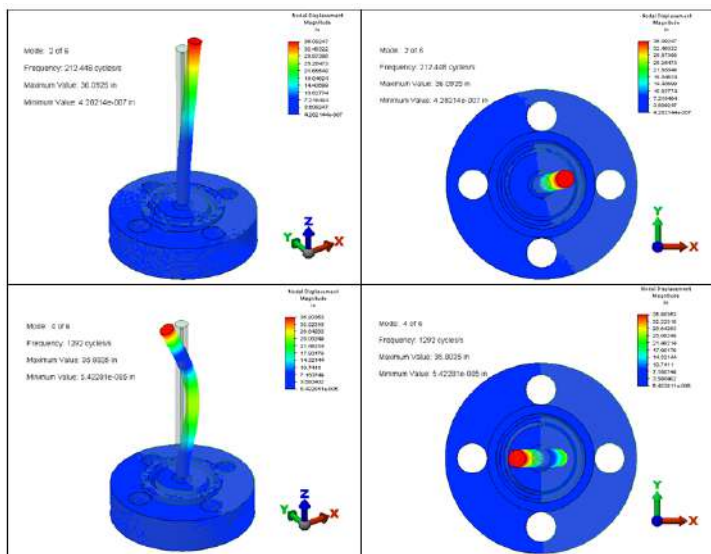


Figura 19. Dos primeros modos de vibración del termopozo sin fractura, calculados con FEA

Frecuencias de Excitación en Operación - Vibración en Campo

Se realizó un análisis de vibración con los motocompresores operando, a fin de determinar las frecuencias de excitación predominantes a las que pudo estar sometido el termopozo. No pudo tomarse datos en el compresor IP-3500 por encontrarse en stand-by para el momento de la visita, sin embargo, se tomaron datos en los compresores IP-3100 e IP-3300. Los espectros de vibración se encuentran en el ANEXO 2 y las amplitudes predominantes, en las tres direcciones principales, se resumen en la Tabla 9. La dirección axial corresponde a la dirección del eje principal del vástago.

Existe una variación en la soportería de la brida que hace pareja con la brida del termopozo. La Figura 1c, por ejemplo, muestra el soporte incorporado en el tren IP-3300. Este cambio, implantado con anterioridad en algunos trenes, ha sido incorporado por el personal de la planta para mitigar problemas repetitivos de agrietamientos estructurales, los

cuales no están relacionados con el análisis de falla cubierto en este estudio.

En la Tabla 9 puede verse claramente que las frecuencias armónicas 11X y 12X tienen altos niveles de vibración, por lo que deben tomarse en cuenta en el diagrama de Campbell. El armónico de 12X está relacionado con el número de cilindros (seis) y los ciclos de carga (dos) a los que está sometido cada cilindro por cada revolución del cigüeñal.

Tabla 8. Frecuencias naturales del termopozo sin fractura

RESUMEN DE DATOS TOMADOS EN CAMPO						
CONDICION	DIRECCION	VELOCIDAD DEL MOTOR (RPM)	11X		12X	
			FRECUENCIA (cpm)	AMPLITUD (in/s)	FRECUENCIA (cpm)	AMPLITUD (in/s)
IP-3100 SIN SOPORTE	Horizontal	960.90	10579	1.072	11539	0.149
	Vertical	962.40	10586	1.166	11545	0.05108
	Axial	961.30	10581	1.142	11540	0.09758
IP-3300 CON SOPORTE	Horizontal	958.10	10546	1.369	10725	0.02424
	Vertical	962.20	10570	0.1013	11539	0.4561
	Axial	958.20	10549	0.5745	11505	0.1582

Diagrama de Campbell - Puntos de Resonancia

Con las frecuencias naturales y las frecuencias de excitación determinadas en los apartes anteriores, se construyó el diagrama de Campbell mostrado en la Figura 20. La banda de $\pm 5\%$ alrededor de la primera frecuencia natural considera las variaciones típicas causadas por desviaciones en las tolerancias de fabricación y ensamblaje. La banda de coincidencia se definió para el rango de velocidades de diseño, más un margen de seguridad de $\pm 10\%$.

El círculo destaca una condición de resonancia cuando el tren opera en su límite de control de velocidad (1000 rpm). Allí coincide la primera frecuencia natural del termopozo y la frecuencia de excitación 12X. Para este punto se hace necesario simular la respuesta forzada del termopozo, a fin de determinar si los esfuerzos a los que está sometido exceden la resistencia a la fatiga del material.

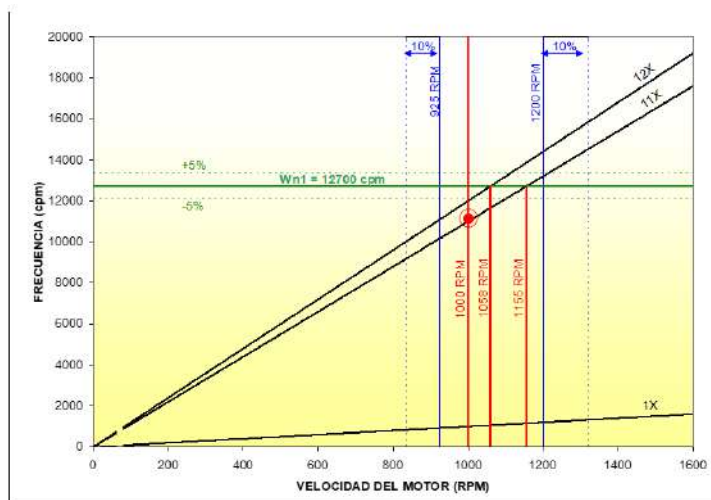


Figura 20. Diagrama de Campbell

Análisis de Esfuerzos - Respuesta Forzada

Resistencia a la Fatiga

Para realizar un análisis de esfuerzos bajo carga cíclica, es necesario calcular la resistencia a la fatiga del material. La Tabla 10 resume los cálculos realizados, observándose que la resistencia a la fatiga del material es de 29,17 kpsi.

Tabla 10. Resumen del cálculo de resistencia a la fatiga (Shigley, 1999)

DESCRIPCION	NOMENCLATURA	UNIDADES	VALOR
Propiedades del Material (AISI 304)			
Resistencia última a tensión	S_{ut}	kpsi	73,24
Resistencia a la fatiga ($0,5.S_{ut}$)	S_e'	kpsi	36,91
Factor de superficie	K_a	-	0,87
Factor de tamaño	K_b	-	0,90
Factor de temperatura	K_d	-	1,01
RESISTENCIA A LA FATIGA CORREGIDA	$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_d \cdot S_e'$	kpsi	29,17

Cálculo de Esfuerzos Utilizando FEA

Se calcularon los esfuerzos soportados por el termopozo cuando opera con frecuencias de excitación igual a la primera frecuencia natural, previamente calculada. Para este análisis se requiere conocer la magnitud y ubicación de la fuerza aplicada, o en su defecto, el movimiento que describe algún punto del termopozo, cuando las fuerzas están aplicadas (condición de borde). Para este estudio se consideró una amplitud de vibración de 1,369 in/s, igual al máximo valor medido en campo, Tabla 9.

El punto de mayor concentración de esfuerzos se encontró en el perímetro superior del cordón de soldadura, justo donde se originó la grieta, con un valor de 142 kpsi, Figura 21. Este valor excedió en casi cinco veces el límite de fatiga de material (29,17 kpsi), confirmando la hipótesis 2.3 de la Figura 8.

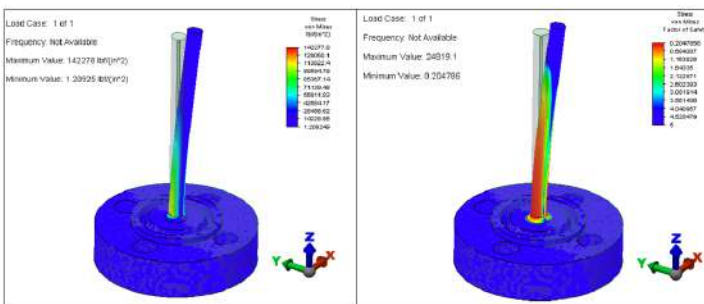


Figura 21. Esfuerzo y factor de seguridad del termopozo en resonancia

Estimación de Ciclos de Carga para Falla por Fatiga

La Tabla 11 y la Figura 22, muestran la distribución de velocidades a la cual operó el compresor durante un período de 1757 horas (muestra de 632.461 datos), previas a la ocurrencia de la falla.

Tabla 11. Distribución de las velocidades del motor

VELOCIDAD DEL MOTOR (RPM)	OCURRENCIA (%)	VELOCIDAD DEL MOTOR (RPM)	OCURRENCIA (%)
< 910	12,89	965	15,32
920	0,03	970	22,32
925	0,05	975	13,77
930	0,10	980	3,00
935	0,21	985	0,58
940	0,42	990	0,13
945	1,88	995	0,04
950	6,14	1000	0,03
955	8,46	>1000	0
960	14,62	MUESTRA	632461

El histograma indica que el tren operó al menos un 0,03% del tiempo en su límite máximo por control de velocidad (1.000 RPM). Al multiplicar este valor por las 17.000 h de vida del termopozo, se tiene que el mismo acumuló 510h de operación en resonancia, equivalentes a 4×10^8 ciclos de carga a una frecuencia de 212,45 Hz (12.700 cpm), suficientes como para producir falla por fatiga.

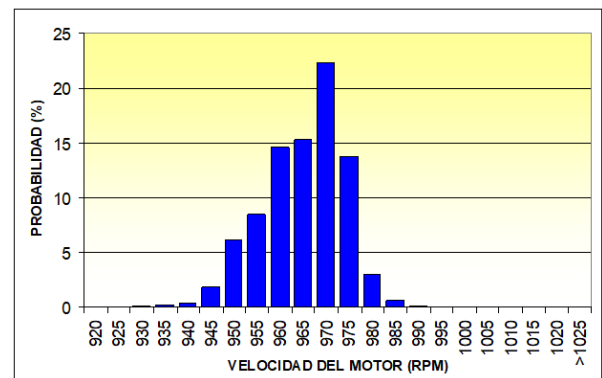


Figura 22. Distribución de las velocidades del motor

Diagrama de Fatiga

Finalmente, el resultado del estado de esfuerzo obtenido fue representado en el diagrama de fatiga, Figura 23. Observándose el punto de esfuerzos (para el termopozo original) muy por encima de las líneas de seguridad, en la zona de falla.

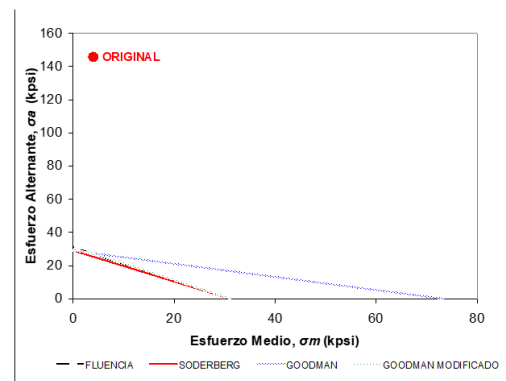


Figura 23. Diagrama de fatiga y estado de esfuerzo del termopozo en resonancia

PROPUESTAS DE DISEÑOS ALTERNOS

PROPUESTA 1: Recortar el Vástago del Termopozo

Con el fin de aumentar la frecuencia natural del termopozo, se propone como primera opción, recortar el vástago o inserto, de tal manera que,

por lo tanto, $Wn_2 = 1,5 \cdot Wn_1$ Ec. 1

$$l_2 \approx 8in$$

La diferencia de este modelo con el base, es la longitud del vástago del termopozo, tal como se muestra en la Figura 24, el resto de las dimensiones permanecen iguales.

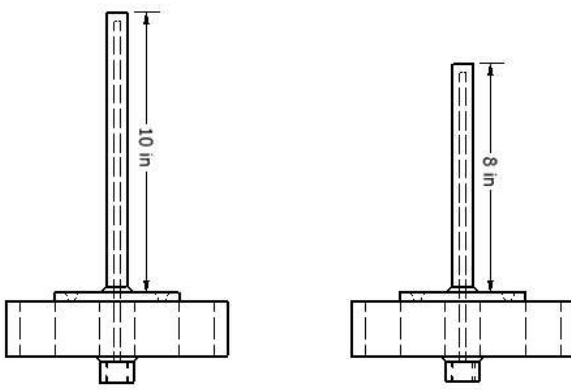


Figura 24. Dimensión original del termopozo a la izquierda y nueva dimensión del termopozo según PROPUESTA 1 a la derecha

Los resultados muestran una frecuencia natural de 329,255Hz (19.755 cpm), con un factor de seguridad igual a 44, Figura 25.

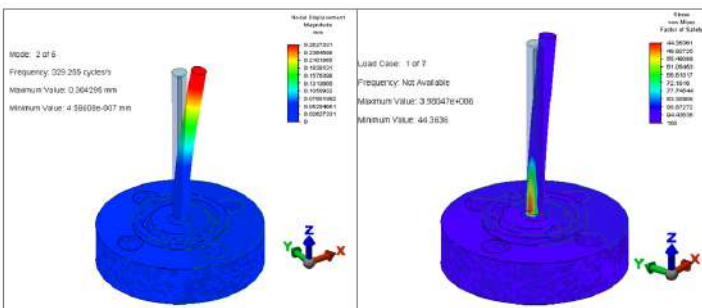


Figura 25. Primer modo de vibración y factor de seguridad, PROPUESTA 1

Una desventaja de esta propuesta es que la longitud del inserto en contacto permanente con el fluido en movimiento es pequeña o prácticamente nula, de acuerdo a las dimensiones de la tubería en la cual está inserta. Esto ocasionaría desviaciones o errores en la medición de temperatura.

PROPUESTA 2: Aumentar el Diámetro Externo del Vástago

Con el fin de aumentar la frecuencia natural del termopozo, se propone como segunda opción, aumentar el diámetro externo del vástago, de tal manera que se cumpla la Ec. 71, por lo tanto,

$$De_2 \approx 1 \frac{3}{16} in$$

La diferencia de este modelo con el base, es el aumento del diámetro del vástago del termopozo, quedando iguales el resto de las dimensiones, condiciones de borde y material, Figura 26.

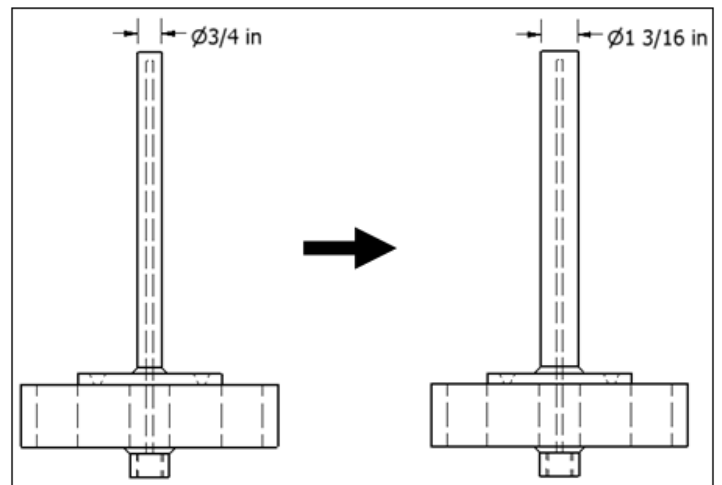


Figura 26. Dimensión original del termopozo a la izquierda y nueva dimensión del termopozo según PROPUESTA 2 a la derecha

Los resultados muestran una frecuencia natural de 308,747Hz (18.524 cpm), con un factor de seguridad igual a 29, Figura 27.

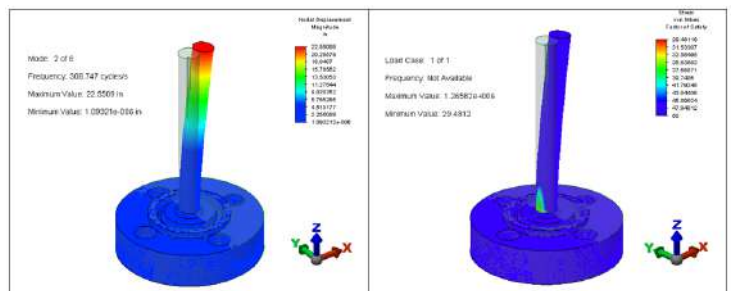


Figura 27. Primer modo de vibración y primera frecuencia natural, calculados con FEA

Diagrama de Fatiga

Representando los resultados de esfuerzos, de las propuestas 1 y 2, en el diagrama de fatiga, Figuras 28 y 29. Se observa que ambos estados de esfuerzos se encuentran por debajo de las líneas de seguridad, en el área de vida infinita.

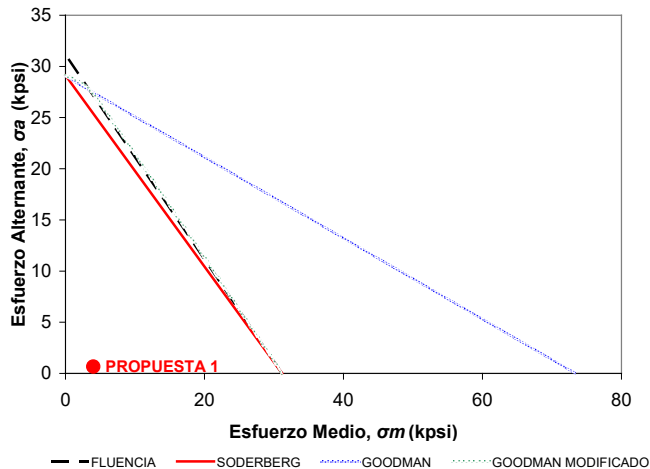


Figura 28. Diagrama de fatiga y estados de esfuerzos de la PROPUESTA 1

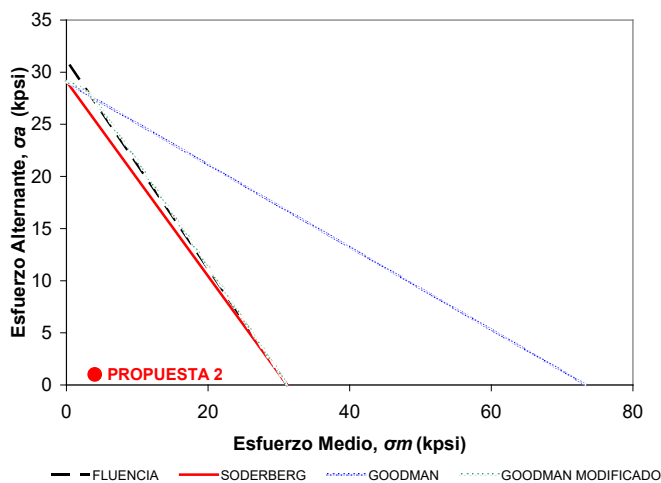


Figura 29. Diagrama de fatiga y estados de esfuerzos de la PROPUESTA 2

CONCLUSIONES

1. La fuga de gas se originó por causa de una grieta pasante en el cordón de soldadura del termopozo.
2. La grieta en el termopozo fue causada por el mecanismo de fatiga debido al incremento de los esfuerzos por la operación en resonancia, cada vez que el tren alcanzaba velocidades cercanas a las 1.000 RPM.
3. No se detectaron defectos metalúrgicos en el material del termopozo y en el cordón de soldadura.

4. La metalografía detectó la presencia de carburos precipitados en los bordes de grano de un área mínima localizada. Estos, sin embargo, no contribuyeron al mecanismo de falla estudiado.
5. Los soportes instalados, en la brida del termopozo, disminuyeron las amplitudes de vibración en la dirección vertical y axial del vástago, en 39 y 50% respectivamente, sin embargo, en la dirección horizontal se incrementó en 21%.

RECOMENDACIONES

1. Modificar el diseño del termopozo para aislarlo de la condición de operación de resonancia. Para ello, es necesario involucrar al fabricante con el fin de validar si las dos propuestas de modificación contenidas en este informe, son aplicables a la instalación. Se prefiere la opción de mayor diámetro para no introducir errores en las mediciones de temperatura.
2. Remover el resto de los termopozos instalados y hacer inspección con tintes penetrantes, a fin de detectar la existencia de grietas. Incorporar este tipo de inspección en los planes de mantenimiento programado, de la instalación.
3. Realizar un muestreo de vibración a los equipos (bottellas, termopozos, soportes, etc.) de los trenes restantes, para verificar la existencia de altos niveles de vibración. En aquellos casos en los cuales no se ha instalado el soporte adicional a la brida del termopozo, será indispensable realizar un monitoreo antes y después de la modificación, a fin de registrar el beneficio real que aporta el soporte.
4. Mejorar el diseño de la soportería para aquellos casos en los que se detecte alta vibración, aún después de instalado el soporte de diseño actual. Asegurar, mediante simulación FEA, que los esfuerzos resultantes tienen el factor de seguridad adecuado.
5. Consultar al fabricante sobre beneficios de los aceros inoxidables austeníticos, tipo 304L ó 316L (aceros con un menor contenido de carbono: 0,03 máx.), ya que minimizan la probabilidad de precipitación de carburos en la matriz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

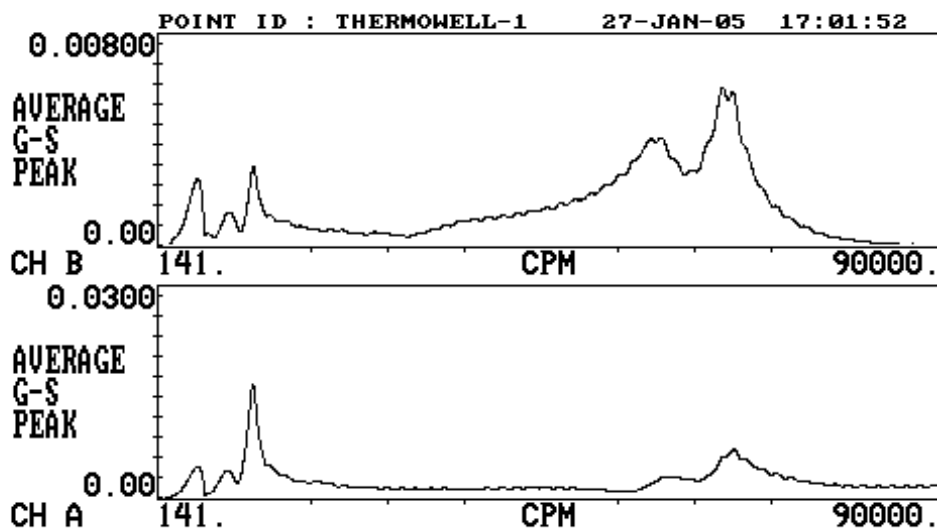
- Shigley E., "DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA", Quinta Edición, Editorial Mc Graw Hill, México (1999).
- Ehrich F., "HANDBOOK OF ROTORDYNAMICS", Primera Edición, Editorial Mc Graw Hill, USA (1992).

ANEXO 1 | Pruebas de Impacto

1. Espectros Resultantes de la Prueba de Impacto

POINT # 1 THERMOWELL-1
[TRANSV ,]

SIGNAL STATUS : BAD SENSOR
LAST MEASUREMENT ON : [?? ??]
LAST SURVEY ON : [?? ??]
OVERALL =0.00 G-S



CHANNEL B:

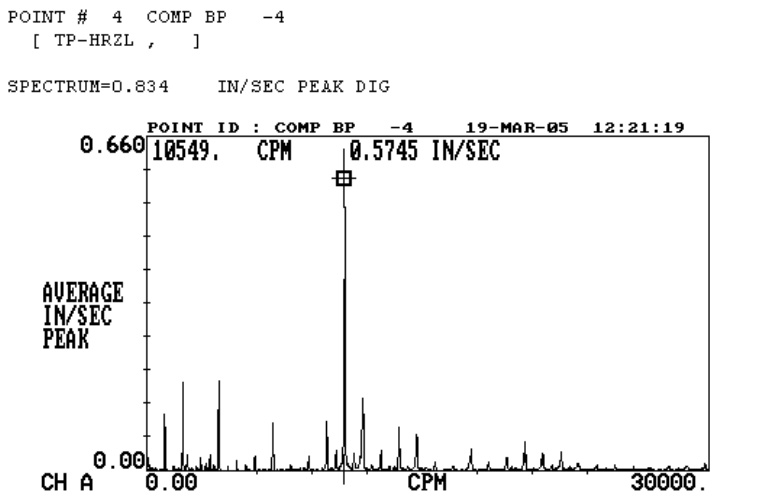
FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA
1813.	.000375	4767.	.002990	8367.	.001544	11095.	.003555

CHANNEL A:

FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA
2419.	.000837	4838.	.004554	11067.	0.01899		
4767.	.005404	8255.	.004809				

ANEXO 2 | Datos de Vibración Tomada en Campo

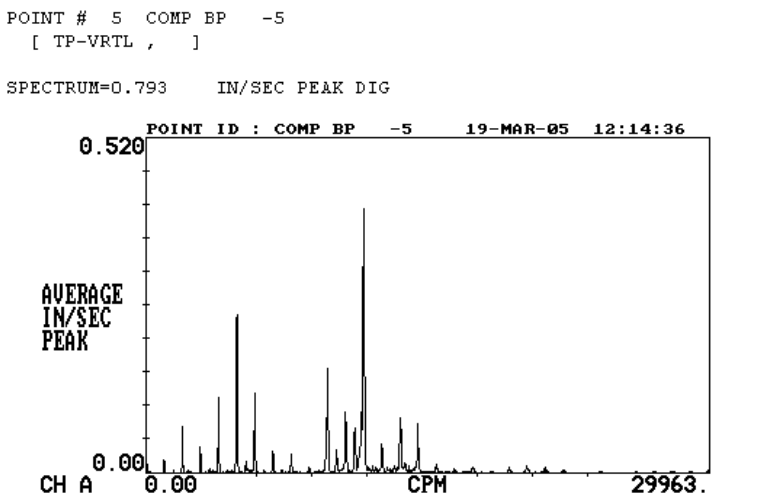
1. Termopozo con Soporte – Dirección Axial (con respecto al vástago)



CHANNEL A:

FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA
958.2	0.1121	6706.	0.1004	11505.	0.1582	17261.	0.04987
1917.	0.1795	9591.	0.1153	12465.	0.04261	20082.	0.03303
2165.	0.03428	10065.	0.04216	13429.	0.09010	20129.	0.06560
3360.	0.03349	10549.	0.5745	14334.	0.05255	21084.	0.03847
3833.	0.1995	11033.	0.03777	14388.	0.07890	22042.	0.04252

2. Termopozo con Soporte – Dirección Vertical



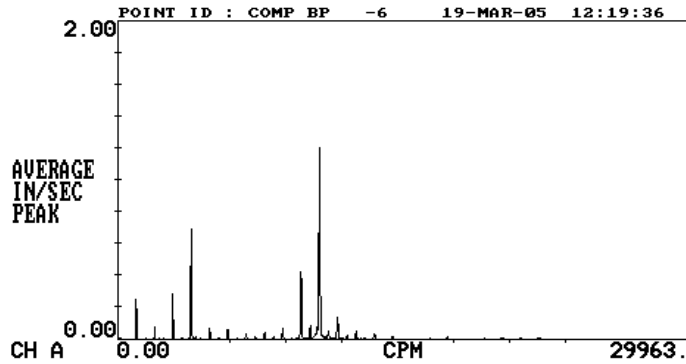
CHANNEL A:

FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA
962.2	0.02162	5769.	0.1312	10570.	0.1013	11539.	0.4561
1924.	0.07986	6736.	0.03516	11055.	0.07754	12497.	0.05212
2885.	0.04152	7695.	0.03315	11156.	0.02486	13470.	0.09504
3849.	0.1213	9625.	0.1775	11314.	0.03984	13500.	0.07391
4810.	0.2855	10097.	0.04216	11409.	0.1082	14414.	0.08024

3. Termopozo con Soporte – Dirección Horizontal

 POINT # 6 COMP BP -6
 [TP-AXIAL ,]

SPECTRUM=1.96 IN/SEC PEAK DIG



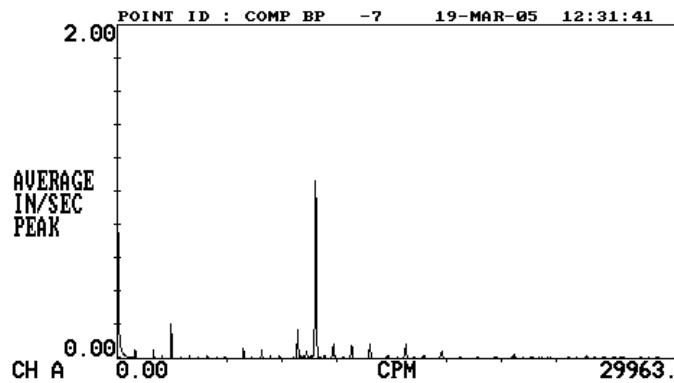
CHANNEL A:

FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA
958.1	0.2519	4790.	0.07909	9587.	0.4561	11017.	0.06139
1916.	0.07554	5748.	0.07245	10063.	0.09043	11503.	0.1597
2875.	0.2989	6705.	0.03548	10339.	0.04189	11974.	0.02501
3833.	0.7781	7663.	0.04411	10546.	1.369	12462.	0.05413
4070.	0.02139	8620.	0.07074	10725.	0.02424	13419.	0.04022

4. Termopozo sin Soporte – Dirección Axial (con respecto al vástago)

 POINT # 7 COMP BP -7
 [TP-HRZL MAQ SIN SOPO ,]

SPECTRUM=2.11 IN/SEC PEAK DIG

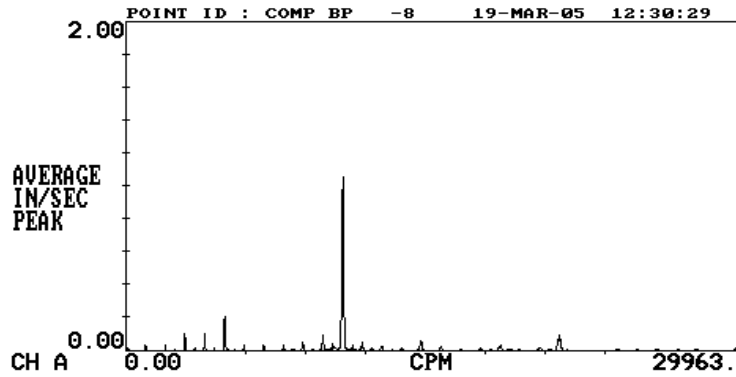


CHANNEL A:

FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA
961.3	0.05859	7693.	0.05078	10581.	1.142	14432.	0.02278
1923.	0.05846	8655.	0.02144	11055.	0.01779	15387.	0.09663
2884.	0.2142	9613.	0.1795	11540.	0.09758	16361.	0.01953
3847.	0.01943	10095.	0.04522	12499.	0.08839	17320.	0.05048
6735.	0.06026	10342.	0.02188	13472.	0.1028	21173.	0.02463

5. Termopozo sin Soporte – Dirección Vertical

 POINT # 8 COMP BP -8
 [TP-VERT MAQ SIN SOPO ,]
 SPECTRUM=1.50 IN/SEC PEAK DIG

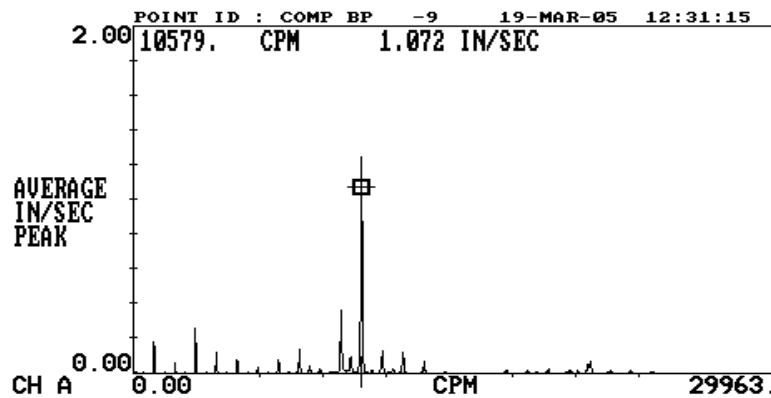


CHANNEL A:

FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA
962.4	0.03461	5773.	0.03807	10100.	0.04454	14400.	0.04894
1925.	0.03797	6737.	0.03245	10586.	1.166	14443.	0.06743
2887.	0.1071	7699.	0.04270	11069.	0.04189	18293.	0.03450
3849.	0.1135	8659.	0.04894	11545.	0.05108	21094.	0.05950
4812.	0.2338	9625.	0.1025	12514.	0.03315	21195.	0.1030

6. Termopozo sin Soporte – Dirección Horizontal

 POINT # 9 COMP BP -9
 [TP-AXIAL MAQ SIN SOPO ,]
 SPECTRUM=1.54 IN/SEC PEAK DIG



CHANNEL A:

FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA	FREQUENCY	DATA
960.9	0.1901	5767.	0.04003	9614.	0.3827	12024.	0.03045
1922.	0.07654	6727.	0.08100	10050.	0.08522	12498.	0.1344
2883.	0.2715	7692.	0.1466	10081.	0.09851	13467.	0.07139
3843.	0.1220	8168.	0.04488	10579.	1.072	21067.	0.06213
4806.	0.08119	8652.	0.03026	11539.	0.1490	21144.	0.07245

Nearshoring en México: Más de 20,000 ingenieros de mantenimiento y confiabilidad se certificarán en Industria 4.0 con el apoyo de Tractian Academy y Predictiva21

La industria está en constante evolución, y en este ambiente tan cambiante, la capacitación en las últimas tecnologías se ha vuelto esencial para mantenerse a la vanguardia. Con el objetivo de abordar esta necesidad, surge la certificación gratuita y 100% en línea para todos los especialistas de mantenimiento en México: [INTENSIVO 4.0](#).

¿De dónde nace esta iniciativa?

Este evento, al que se pueden inscribir ingenieros de todas las industrias de manera gratuita, surge de la comprensión de la urgencia de adquirir habilidades en tecnologías emergentes para mantenerse altamente competitivos en un entorno industrial globalizado y dinámico.

“Se requieren equipos más capacitados para alcanzar un crecimiento sostenible. El fortalecimiento en habilidades como la Inteligencia Artificial, el análisis de datos y la industria 4.0, es crucial para respaldar el crecimiento de la industria en México”

comenta Leonardo Vieira, Co-Fundador y CEO de TRACTIAN México.



“La capacitación continua es esencial para desarrollar el pensamiento analítico y crítico, un proceso que requiere tiempo y dedicación, al igual que volcamos horas en convertirnos en expertos en una actividad específica necesitamos horas de análisis y autocuestionamiento para desarrollar ese pensamiento”

comenta Andrés González, CEO de Predictiva21 y Predyc.

Conectando a profesionales de la industria

Además de brindar conocimientos avanzados en mantenimiento y confiabilidad, INTENSIVO 4.0 ofrece una oportunidad única para que los especialistas de la industria fortalezcan sus redes profesionales y establezcan conexiones de valor. En un mercado cada vez más interconectado, donde el intercambio de ideas y la colaboración son clave para la innovación, este evento proporciona un espacio propicio para el encuentro y la interacción entre profesionales con intereses y objetivos comunes.

El evento INTENSIVO 4.0 contará con una agenda de **tres masterclasses 100% en línea** de temas clave para la Industria 4.0, el mantenimiento predictivo y la confiabilidad. Durante los tres días del evento, los participantes tendrán la oportunidad de explorar los siguientes temas:

Programa del evento

Día 1: La evolución de la Industria 4.0 y conceptos clave

El primer día del evento estará a cargo del Dr. Diego Galar, Director de Investigación Tecnológica en Tecnia y especialista en soluciones de mantenimiento predictivo y monitoreo de condiciones. El Dr. Galar abordará temas fundamentales como la evolución de la Industria 4.0, el procesamiento de datos en activos industriales y la diferencia entre IA, Machine Learning y Data Analytics. Además, se explorarán conceptos avanzados como el análisis de datos en mantenimiento, la Industria 5.0 enfocada en sostenibilidad y los estándares de gestión de activos para promover prácticas eficientes y seguras en la industria.

Día 2: Mantenimiento asistido y movilidad del mantenimiento remoto

El segundo día del evento contará con la participación de Edgar De la Cruz, Ingeniero de Aplicaciones y Especialista en Tecnologías 4.0 en TRACTIAN. De la Cruz compartirá su experiencia en la implementación de estrategias efectivas de mantenimiento predictivo, con un enfoque en el mantenimiento asistido y la movilidad del mantenimiento remoto. Se discutirán herramientas clave utilizadas en esta práctica, casos de aplicación con auto-diagnóstico de fallas y la digitalización para auditorías internas y externas.

Día 3: Modelo de mantenimiento preventivo y transformación en la Industria 4.0

El tercer día del evento estará a cargo de Jorge Alarcón, Global Technical Manager en Polaris Laboratories, quien tiene más de 20 años de experiencia en consultoría de confiabilidad y mantenimiento predictivo. Alarcón profundizará en el modelo de mantenimiento preventivo y los planes RAMS, destacando su importancia en la gestión de activos. Además, se discutirán las herramientas y tecnologías utilizadas en la implementación de estos planes, la inspección sensitiva basada en insights y la aplicación de estos conceptos en la Industria 4.0, destacando las oportunidades y transformaciones en los roles laborales.

Preparándose para el futuro del mantenimiento y la confiabilidad

En última instancia, el evento INTENSIVO 4.0 representa una oportunidad invaluable para que los ingenieros de mantenimiento y confiabilidad de México y Latinoamérica se preparen para el futuro del campo. Al abordar temas críticos como la evolución de la Industria 4.0, la aplicación de herramientas de mantenimiento asistido por inteligencia artificial y el desarrollo de estrategias eficientes de mantenimiento preventivo, TRACTIAN y Predictiva21 están desempeñando un papel clave en la preparación de la fuerza laboral industrial para los desafíos y oportunidades que se avecinan en el horizonte.

INTENSIVO 4.0 – INDUSTRIA 4.0, TECNOLOGÍA DE MONITOREO Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO es el mayor evento online centrado en especialistas de mantenimiento y confiabilidad.

Se desarrolla con el apoyo de **Tractian Academy, Predyc, Predictiva21 y TRACTIAN**. La cuarta edición se llevará a cabo del **25 al 27 de marzo de 2024**, siendo un evento online y gratuito. Se espera la participación de más de 20 mil profesionales de la industria.



PRECONLUB

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

León, Gto. 20 y 21 de junio

HOTEL HOTSSON



2024



www.preconlub.com

OBJETIVO

Tiene como objetivo el aportar a la comunidad industrial mexicana donde puedan obtenerse los últimos avances, nuevas metodologías y tecnologías en las áreas de Confiabilidad (RCM-2), ISO 55001, Gestión de Activos, Mantenimiento Predictivo y el monitoreo de condición en tiempo real utilizando la tecnología más avanzada, así como mostrar casos y experiencias prácticas, de cómo, al implementar acciones sencillas, económicas y directas en las tareas de lubricación y, sobretodo, en el control de la contaminación de los fluidos lubricantes, es posible de manera inmediata incrementar la Confiabilidad de maquinaria, reducir la tasa de fallas e incrementar la productividad de la planta productiva.

En este Congreso se busca tener una visión más fresca que lo que otros eventos/ congresos organizados por otras empresas tradicionalmente han venido realizando, para ello, se tendrá la presentación de casos de éxito pero no solamente presentados por los proveedores, sino por usuarios mismos de empresas líderes de sus segmentos ampliamente reconocidas, se tendrán mesas de negocio a fin de que conozca más de cerca a cada una de las empresas organizadoras y así, puede determinar áreas de oportunidad de negocio de una manera más directa.

Mesas de Negocio



Se tendrán Conferencias dadas por especialistas de Europa, USA y América Latina sobre las...

ÁREAS BÁSICAS DEL EVENTO

01

Planta 4.0

03

Mantenimiento Productivo Total

02

ISO 55001

04

Mantenimiento Predictivo

05

Tribología Centrada en Confiabilidad

El evento está dirigido a profesionales de la Confiabilidad, Gerentes y Jefes de Mantenimiento, Coordinadores de TPM, Profesionales del medio de lubricantes, Gerentes de Operaciones, Gerentes de Producción, Directores de Planta, especialistas del Mantenimiento Predictivo, etc., de todos los segmentos industriales, tales como: Acero, Aluminio, Embotelladoras, Fábricas de Cerveza, Inyección de plástico, industria alimentaria, refinación de crudo, generación de energía, fabricación de cemento, plantas químicas, industria textil, autopartes, armadoras, minería, ingenios azucareros, industria de cartón y papel, fabricación de vidrio, transporte marino, ferrocarril, industria petroquímica, fabricantes de equipo original (bombas, reductores, etc.), productos de cobre, industria cosmética, etc., etc.

Esperamos contar con tu valiosa participación

CONTACTOS

Corporativo en México:

comercial1@grupo-techgnosis.com

comercial2@grupo-techgnosis.com

joseparamo@grupo-techgnosis.com

joseparamo@techgnosis5.com

manuel Sanchez@grupo-techgnosis.com

joseluisperez@grupo-techgnosis.com

WhatsApp: +52 462 139 8684 | +52 477 230 6910

Oficinas Europa:

jacriado@applitechgnosis.com WhatsApp: +52 462 217 1661 +34 605 090 019

Sitios Web:

www.grupo-techgnosis.com

www.ticd.eu

www.preconlub.com

www.applitechgnosis.com

www.ticd-certifications.com





in Autor: Ruben Bajares

Estudio de la velocidad de corrosión en el par de aceros **ASTM-A36 y AISI/SAE 304** en un sistema agua-coque de petróleo

Resumen.

En la sinergia producida por la acción de los porcentajes de azufre, sodio, y demás elementos que componen químicamente al coque de petróleo venezolano, en compañía de una proporción significativa de agua en dicha mezcla, genera un ambiente con índices corrosivos importantes para cualquier equipo metálico que tenga interacción con este, tanto en la industria petrolera como en cualquiera otra que use este combustible como producto o insumo en sus operaciones. En este trabajo se realizaron ensayos de laboratorio para determinar la velocidad de corrosión en un sistema conformado por el par metálico de acero estructural ASTM-A36 y el acero inoxidable AISI/SAE 304. El estudio se realizó mediante gravimetría, que es la metodología empleada frecuente para establecer valores de pérdida de masa en el tiempo, usando las normativas internacionales correspondientes, y así poder determinar el tiempo de vida útil de cualquier estructura de almacenamiento, expuestas a la corrosión generada por este ambiente.

Palabras clave: Dupla Metálica, Gravimetría, Vida Útil.

1. Introducción.

La corrosión es el deterioro de un material, generalmente metálico, por la acción química o electroquímica del medio ambiente. Como es una reacción química de oxidación, su velocidad dependerá de la temperatura, la salinidad o concentración del fluido en contacto con el metal y las propiedades del material en cuestión. La mayoría de los metales se encuentran en la naturaleza en forma de óxidos o sulfatos metálicos, estos compuestos tienen una energía de formación inferior a la de los metales, por lo tanto, son estables termodinámicamente. Por esta razón, la corrosión es un proceso espontáneo, el metal reacciona con líquidos o gases del medio ambiente.

Ciertos metales, como por ejemplo el acero inoxidable y el aluminio, tienden a formar películas de óxidos superficiales relativamente estables cuando en contacto con la atmósfera. Estas capas superficiales de óxido son el resultado de cierta pasividad y una vez formados, reducen considerablemente la velocidad de corrosión del material en un medio corrosivo.

Dependiendo del ambiente, y de las proporciones en que se encuentren los metales, estos reaccionarán de forma diferente, actuando como pasivadores y oxidantes según fuese el caso en lo que respecta a la interacción entre ellos.

A los metales se le puede catalogar, según **Avner [1]**, en un esquema de serie galvánica de potencial eléctrico que varía según el grado de procesamiento metalúrgico, pasando de menor a mayor potencial en función a su proceso. Tomando en consideración lo anterior para nuestro caso de estudio, cuando la dupla metálica de aceros ASTM-A36 y AISI/SAE 304 se encuentran interactuando entre sí en un sistema de agua coque de petróleo, y dependiendo de su potencial eléctrico, uno de estos se va a oxidar, para proteger o pasivar al otro, lo cual influirá en la velocidad de corrosión de dicho sistema, tomando en cuenta la severidad de los índices corrosivos del ambiente al cual se está exponiendo. En este estudio se analizará el comportamiento de la pérdida metálica en el tiempo que tiene la dupla de aceros mencionados anteriormente, y se comparará con cada uno de ellos por individual.

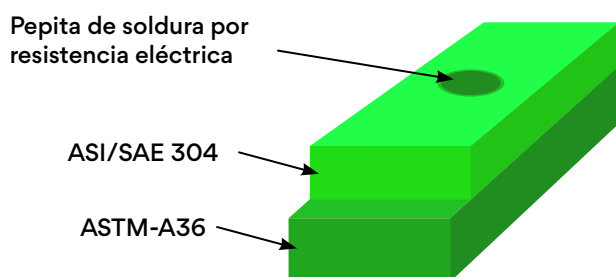


Figura 1. Representación esquemática de las probetas conformadas por el par metálico usado en el estudio.

2. Procedimiento experimental/ Metodología

El trabajo de obtención y corte de las probetas fue desarrollado en el taller de operaciones de la empresa Industria Metalúrgica Oriente, C.A., del Estado Anzoátegui-Venezuela. Los materiales usados fueron una lámina de acero ASTM-A36 con las siguientes dimensiones: 1200mm x 2400mm y de 3mm de espesor, y un lámina de acero AISI/SAE 304 con las siguientes dimensiones: 1200mm x 2400mm x 1,60mm de espesor.

Para garantizar la igualdad de las dimensiones superficiales de las probetas metálicas, con una guillotina de acción neumática se cortaron trozos rectangulares de 10mm x 20mm, obteniendo así un área de 200mm² tanto para el acero estructural como para el acero inoxidable. Las extensiones de los cupones de corrosión fueron establecidas conservando la relación del área de contacto que establece **Palacios [2]**,

donde $\frac{\text{área catódica}}{\text{área anódica}}$, siendo el caso más desfavorable un área catódica muy grande en comparación con el área anódica, debido a que el flujo de corriente es mayor en el área anódica, por lo tanto la velocidad de corrosión será mayor. Es decir:

$$\frac{\text{Área catódica}}{\text{Área anódica}} \gg 1 \Rightarrow \text{DESFAVORABLE} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\frac{\text{Área catódica}}{\text{Área anódica}} \ll 1 \Rightarrow \text{FAVORABLE} \quad (\text{Ec. 2})$$

La variación del espesor garantiza tener mayor cantidad de masa anódica que catódica, pero se conserva la superficie igual entre los dos metales. Según **Avner [1]**, en su esquema de serie galvánica de potencial eléctrico, el acero inoxidable AISI/SAE 304, por ser un acero aleado, sería el electrodo catódico, y el acero ASTM-A36 por asemejarse su composición química a la de un acero al carbono, sería el electrodo anódico.

2.1. Tratamiento y montaje de las probetas en el banco de pruebas.

Antes de realizar la preparación de las muestras de cada uno de los materiales a usar en el experimento, se procedió a determinar una población acorde para el ensayo, teniendo como objeto evaluar cinco (05) puntos que servirán de tiempos en la gráfica de *Diferencia de Masa vs. Tiempo de prueba*; la norma **NACE TM0169-2000 [3]**, sugiere duplicar los especímenes de prueba usados en $\pm 10\%$ cuando el ataque con el medio corrosivo sea uniforme; en el ensayo efectuado se realizó para cada punto de prueba tres (03) mediciones de pérdida de masa, verificando la desviación para cada tiempo de prueba, entre estas mediciones. De lo anterior se puede deducir, lógicamente, que la cantidad de probetas a evaluar por el par metálico es de quince (15), mismo número este, que se evaluó para cada uno de los aceros por individual, al ser expuesto al ambiente de estudio, dando un total general de cuarenta y cinco (45) cupones de corrosión.

Para lograr unos resultados óptimos, se realizó la preparación superficial de los cupones de corrosión, de acuerdo a lo establecido en las normas **ASTM G1-90 [4]** y **NACE TM0169-2000 [3]**, desbastando cada una de las rebabas y deformaciones ocasionados por la cizalla neumática durante el corte de estos, para así evitar concentradores de esfuerzos y energía acumulada en cada una de las probetas, que pudiesen alterar algún resultado, ya que estos son factores que favorecen el aumento de la velocidad de corrosión. Al acero ASTM-A36 se procedió a realizar un pulido más detallado con papel de lija, logrando una superficie de "metal desnudo", para así garantizar una probeta limpia de cualquier incrustación extraña como polvo, óxido previo, suciedad, fluidos o cualquier agente no innato en este.

Se tomaron quince (15) pares de cupones metálicos, conformados por los aceros ASTM-A36 y AISI/SAE 304, y se realizó la unión de cada uno de estos, los cuales fueron superpuestos uno sobre otro, y unidos mediante el uso de soldadura por resistencia eléctrica con electrodo no consumible, tal como se muestra en la figura 1.

Cada uno de los pares metálicos descritos anteriormente, se sumergieron en una mezcla de tres (03) partes en volumen de coque de petróleo con una (01) parte en volumen de agua blanca de la tubería de servicio provenientes de la red por individual en quince (15) recipientes distintos bien identificados. El mismo procedimiento se realizó con quince (15) probetas de acero ASTM-A36 y quince (15) de acero AISI/SAE 304, obteniendo así tres (03) bancos de pruebas distintos para los aceros en cuestión, dejando destapados cada uno de los recipientes de vidrio de capacidad 250 cm³, de cada uno de los integrantes del conjunto en estudio, para que así tengan interacción con el ambiente. La composición fisicoquímica del agua blanca y el coque de petróleo utilizados se muestran en las tablas 1 y 2 respectivamente [5, 6].

Tabla 1. Análisis Fisicoquímico del agua blanca usada en el experimento

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO	UNIDADES	CONCENTRACIONES
pH	-	7,5
Turbiedad	UTM	0,2
Calcio	mg/1	24
Silice	mg/1	10
Magnesio	mg/1	6,8
Cloruro	mg/1	4,9
Potasio	mg/1	2,0
Densidad @25°C	g/1	997,05
Conductividad	us	114,80

Fuente: Hidrológica del Caribe, C.A. (2010).

Tabla 2. Análisis Fisicoquímico del coque de petróleo usado en el experimento

COMPOSICIÓN QUÍMICA				
Propiedad	Unidad	Valor	Límite	Método de Ensayo
Humedad	%	0,10	máx	ASTM D3173-00
Volátiles	%	0,30	máx	ASTM D3175-01
Cenizas	%	0,30	máx	ASTM D3174-00
Carbón fijo	%	99,30	min	ASTM D3172-02
Azufre (S)	%	1,8-2,8		ASTM D4239-02
Hierro (Fe)	ppm	300	máx	ASTM D3682-01
Silicio (Si)	ppm	200	máx	ASTM D3682-01
Níquel (Ni)	ppm	220	máx	ASTM D3682-01
Vanadio (Va)	ppm	270	máx	ASTM D3682-01
Níquel + Vanadio	ppm	450	máx	ASTM D3682-01
Sodio (Na)	ppm	100	máx	ASTM D3682-01
Calcio (Ca)	ppm	150	máx	ASTM D3682-01
PROPIEDADES FÍSICAS				
Propiedad	Unidad	Valor	Límite	Método de Ensayo
Densidad real	g/cm ³	2,06-2,10		ASTM D 2638-97
Densidad Vibrada (-28 + 48 mesh)	g/cm ³	0,87	min	ASTM D 4292-92
Resistividad Eléctrica	μohm*m	480-520		ISO 10143-95
Índice de Molturabilidad	H.G.I.	35-40		ASTM D 409-97
Reactividad al CO ₂ a 1000°C	%	10,0	máx	ISO 12981-1
Reactividad al aire a 525°C	%/min	0,18	máx	ISO 12982-2

Fuente: Empresa Mixta PetroCedeño (2010).

En un recipiente plástico grande, se preparó la mezcla del sistema de agua-coque de petróleo en las proporciones que se muestran en la tabla 3, las condiciones de temperatura en las que se realizó el experimento fueron ambientales, oscilando entre 25°C como mínima y 36°C como máxima, teniendo como temperatura promedio de 30,5°C. El ensayo se efectuó por inmersión para los tres (03) bancos de pruebas, según lo establecido en la norma **ASTM G31-90** [7], sugiriendo esta que la relación mínima del volumen de disolución con el área de exposición de los testigos de sea de 40 cm³/cm². Para este ensayo se contó para cada recipiente con un volumen de la mezcla que compone el sistema agua-coque de petróleo de 200 ml, garantizando así que el volumen sea lo suficientemente grande para evitar cambios apreciables de corrosión a causa de agotamiento de los constituyentes corrosivos o a la acumulación de productos de corrosión que pudieran afectar el avance de la misma.

Se midió el pH de la solución que fungió como medio corrosivo, obteniéndose 6,4 como valor. Cada uno de los testigos de corrosión fueron identificados según lo sugerido en la norma **ASTM G4-68** [8], haciéndolo además con cada uno de los recipientes de los bancos de pruebas, tal como se muestran en la figura 2.

Tabla 3. Cantidades y Condiciones usadas para preparar el Sistema Agua-Coque de Petróleo

SUSTANCIA	CANTIDAD
Coque de Petróleo	6000 ml
Agua	3000 ml
Temperatura	27°C

Fuente: Los Autores (2010).

El tiempo de duración de la prueba se estableció según lo sugerido en la sección 4.10.5 de la norma **NACE TM0169-2000** [4], que coincide con lo establecido en la norma **ASTM G4-68** [8], donde el tiempo mínimo de duración de las pruebas de corrosión es:

$$\text{Duración de Prueba (h)} = \frac{50}{\text{Velocidad de Corrosión (mm/año)}} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$\text{ó}$$

$$\frac{2000}{\text{Velocidad de Corrosión (mills/año)}}$$



Según el **Departamento de Química Física de la Universidad de Alicante** [9], para aleaciones caras, las velocidades de corrosión, mayores a 0,1 – 0,5 mm/año son excesivas, clasificando este rango como bueno para la resistencia relativa a la corrosión. Por lo anterior se tomó el valor de 0,1 mm/año para sustituirlo en la ecuación 2.3, y así determinar el tiempo de duración de la prueba, dando como resultado 500 horas, lo que equivale a 20 días con 20 horas como tiempo de duración mínimo. Teniendo en cuenta lo anterior, se estableció un régimen de duración para el ensayo de 43 días como máximo, es decir, incrementando en poco más del doble del tiempo de exposición sugerido por la norma para así lograr mejores resultados en el tiempo; sacando en varios intervalos de tiempo un trío de probetas de cada banco de pruebas, generando así una serie de gráficas para cada uno de los metales en estudio, con cinco (05) puntos representativos, en función a la pérdida de masa en el tiempo.

Para obtener resultados confiables en la medición de la pérdida de masa, se realizó una limpieza mecánica, retirando los depósitos de óxido generados, usando un rascador relativamente suave de cepillo de cerda de fibra tieso evitando rasar o quitar de metal de la superficie del espécimen, según lo descrito en la norma **ASTM G1-90** [4].

3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos después de realizar la limpieza mecánica, y la medición de la pérdida de peso se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4. Planilla de Datos para el estudio de gravimetría

MUESTRA: ASTM-A36			MUESTRA: AISI/SAE 304		MUESTRA: ASTM-A36 + AISI/SAE 304	
Nro. de Probeta	Peso Inicial Po (g)	Peso Final Pf (g)	Peso Inicial Po (g)	Peso Final Pf (g)	Peso Inicial Po (g)	Peso Final Pf (g)
I-1	7,4428	7,4167	2,4211	2,4206	9,4983	9,4942
I-2	7,5074	7,5019	2,4401	2,4395	9,8201	9,8173
I-3	7,2780	7,2612	2,3381	2,3378	9,3885	9,3824
II-1	7,1976	7,1760	2,2772	2,2768	9,2735	9,2685
II-2	7,2120	7,1953	2,2716	2,2707	9,2745	9,2465
II-3	6,6874	6,6622	2,3679	2,3675	9,3681	9,3618
III-1	7,3726	7,3443	2,3209	2,3200	9,3671	9,3263
III-2	7,2739	7,2346	2,3181	2,3173	9,4610	9,4140
III-3	7,1061	7,0641	2,4109	2,4106	9,3012	9,2490
IV-1	7,0142	6,9824	2,3084	2,3078	9,2132	9,1634
IV-2	7,5706	7,4908	2,2891	2,2885	9,1132	9,0637
IV-3	7,1856	7,1498	2,3962	2,3951	8,9140	8,8588
V-1	7,3520	7,2408	2,2779	2,2770	9,2011	9,1081
V-2	7,2538	7,2064	2,2969	2,2961	9,2436	9,2098
V-3	7,0608	7,0054	2,3137	2,3130	9,4905	9,4205

Fuente: Los Autores (2010).

De la tabla anterior se obtuvo diferentes resultados, los cuales fueron promediados, según el tiempo de exposición, tal como lo indica la siguiente tabla

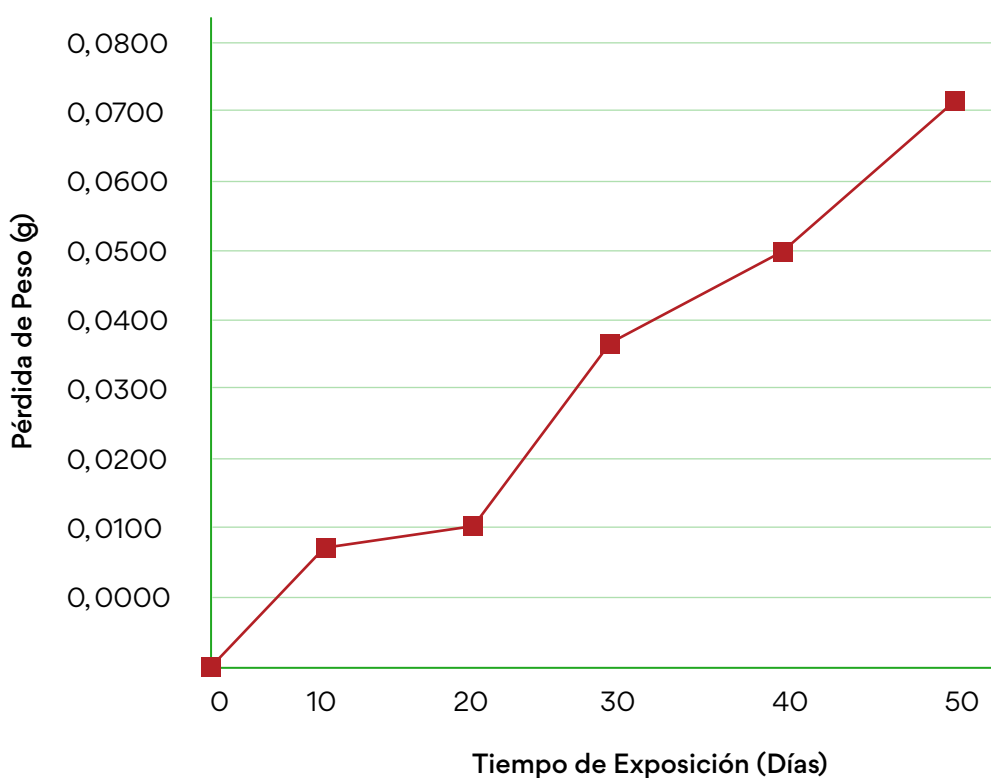
Tabla 5: Tabla de datos de la pérdida de masa promedio generadas en el estudio gravimétrico

ÍDEM DEL GRUPO DE MUESTRAS	TIEMPO DE EXPOSICIÓN (DÍAS)	PÉRDIDA DE PESO PROMEDIO (g)		TEMPO DE EXPOSICIÓN (Días)	PÉRDIDA DE PESO PROMEDIO (g)
		ASTM-A36	AISI/ SAE 304		PARAMÉTALICO: ASTM-A36 + AISI/SAE 304
ORIGINAL	0	0,0000	0,0000	0	0,0000
I	7	0,0161	0,0005	7	0,0043
II	14	0,0212	0,0006	12	0,0131
III	21	0,0365	0,0007	22	0,0467
IV	33	0,0491	0,0008	29	0,0515
V	43	0,0713	0,0008	43	0,0656

Fuente: Los Autores (2010).

De los resultados recogidos en la tabla numero 5, se obtuvieron las siguientes gráficas para cada uno de los aceros que conformaron el banco de pruebas.

Gráfica 1: Velocidad de corrosión de un acero ASTM-A36 en un Sistema de Agua-Coque de Petróleo



En la gráfica 1 se muestra que la pérdida de masa con respecto al tiempo para el acero ASTM-A36 en un Sistema Agua-Coque de Petróleo es aproximadamente lineal, lo que indica que la corrosión es uniforme en los cupones expuestos al medio de prueba. Ahora bien, si se toman los valores promedios, identificados en la tabla 5, y se dividen entre el número de días, esto dará como resultado, un valor de la velocidad instantánea de corrosión, en cada uno de intervalos estudiados en el banco de pruebas, tal como se refleja en la tabla 6.

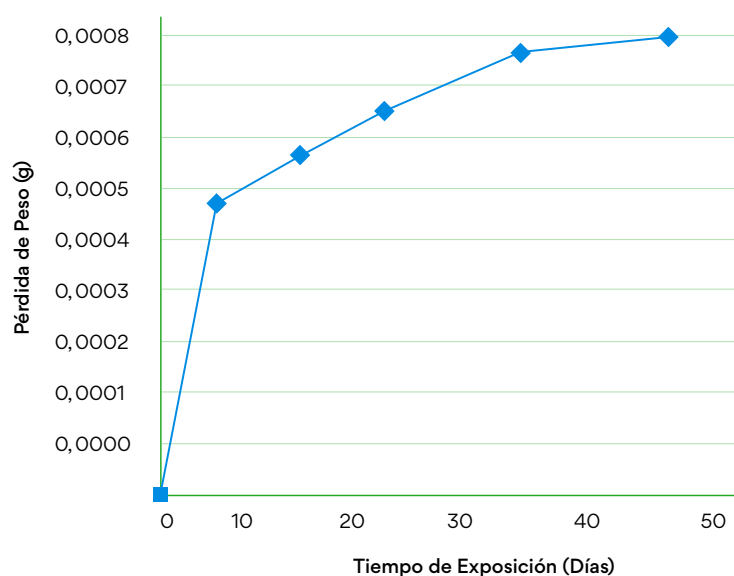
Según lo anterior, si se toman cada una de las velocidades instantáneas de corrosión y se promedian, se tendrá un valor promedio de la velocidad de corrosión para el acero ASTM-A36, que es mostrado en la tabla 6.

Tabla 6. Velocidades instantáneas de corrosión, y velocidad promedio de corrosión de los aceros ASTM-A36 y AISI/SAE 304

GRUPO DE MUESTRAS	TIEMPO DE EXPOSICIÓN (Días)	VELOCIDAD INSTANTÁNEA DE CORROSIÓN (g/día)	
		ASTM-A36	AISI/SAE 304
ORIGINAL	0	0,000000	0,000000
I	7	0,002305	0,000067
II	14	0,001512	0,000040
III	21	0,001740	0,000032
IV	33	0,001489	0,000023
V	43	0,001659	0,000019
VELOCIDAD PROMEDIO DE CORROSIÓN (g/día):		0,001451	0,000030

Fuente: Los Autores (2010).

Gráfica2: Velocidad de corrosión de un acero AISI/SAE 304 en un Sistema de Agua-Coque de Petróleo



El procedimiento establecido para la gráfica 1, se puede tomar también para todas las demás, ya que el comportamiento de estas tienden a ser casi lineal, para lo que se puede agregar que el valor de la velocidad promedio de corrosión en el acero AISI/SAE 304 es de 0,000030 g/día, según lo expresado en la tabla 6.

Gráfica 3. Velocidad de corrosión del par metálico de acero ASTM-A36 y AISI/SAE 304 en un Sistema de Agua-Coque de Petróleo

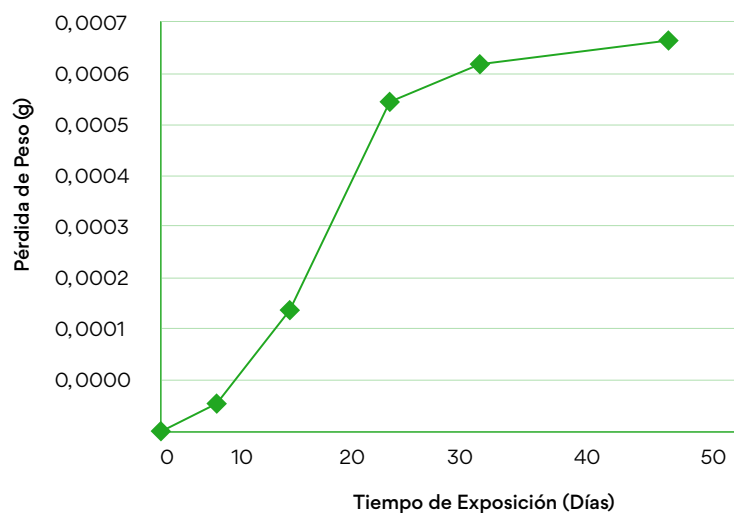


Tabla 7. Velocidades instantáneas de corrosión y velocidad promedio de corrosión del Par Metálico: ASTM-A36 + AISI/SAE 304

ÍTEM DEL GRUPO DE MUESTRAS	TIEMPO DE EXPOSICIÓN (Días)	VELOCIDAD INSTANTÁNEA DE CORROSIÓN (g /día)
		PAR METÁLICO: ASTM-A36 + AISI/SAE 304
ORIGINAL	0	0,000000
I	7	0,000619
II	14	0,001092
III	21	0,002121
IV	33	0,001776
V	43	0,001526
VELOCIDAD PROMEDIO DE CORROSIÓN (g/día):		0,001189

Fuente: Los Autores (2010).

La gráfica 3, representa el comportamiento de la dupla metálica ASTM-A36 + AISI/SAE 304, donde tiene una tendencia lineal en lo que respecta a los diferenciales de masa con respecto al tiempo, por lo tanto, si se sigue el procedimiento descrito antes, y aplicado para las graficas 1 y 2, se obtendrá un valor de velocidad promedio de corrosión de 0,001189 g/día, tal como se muestra en la tabla 7.

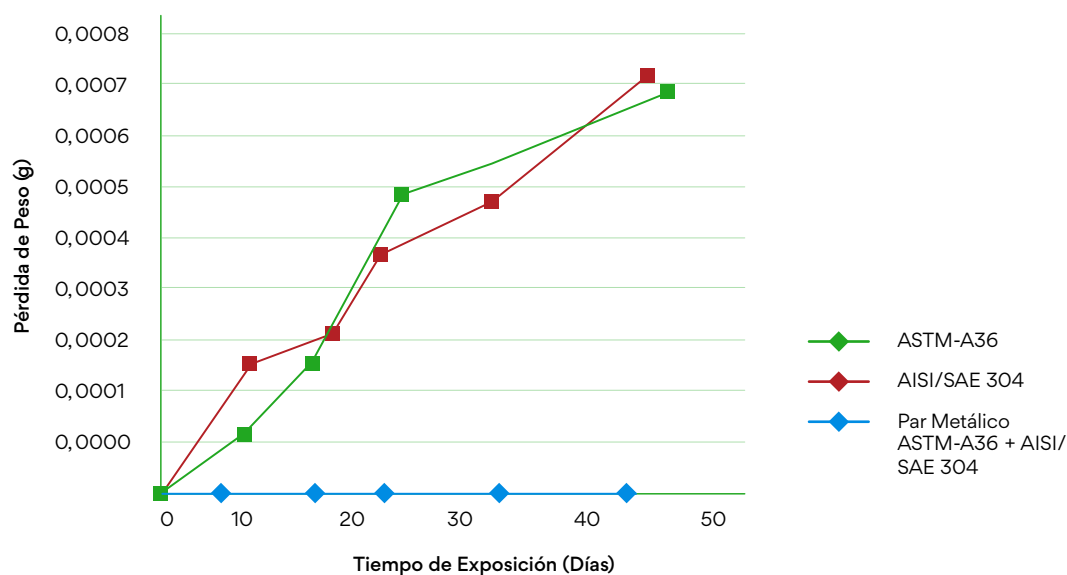
En la gráfica 4 se hace una comparación entre el comportamiento de cada uno de los especímenes que conforman el banco de pruebas de corrosión, mostrando que el acero AISI/SAE 304 no sufre casi ningún daño en comparación con el acero ASTM-A36 y el Par Metálico conformado por los aceros nombrados anteriormente, si además se visualiza la tabla 8, nos daremos de cuenta que según la rata de corrosión mostrada por los ejemplares de prueba, el acero ASTM-A36 tiene un comportamiento muy parecido al de la dupla metálica ASTM-A36 + AISI/SAE 304, pero este último posee una pérdida de espesor por año menor.

Tabla 8: Pérdida de espesor por año de los especímenes del banco de pruebas de corrosión

ESPÉCIMENES DE PRUEBAS	ÁREA DEL ESPÉCIMEN (cm ²)	DENSIDAD (g/cm ³)	VELOCIDAD PROMEDIO DE CORROSIÓN (g/día):	PÉRDIDA DE ESPESOR POR AÑO (mm/año)
ASTM-A36	2,00	7,86	0,001451	0,336834
AISI/SAE 304	2,00	7,94	0,000030	0,006923
PAR METÁLICO: ASTM-A36 + AISI/ SAE 304	2,00	7,90	0,001189	0,274650

Fuente: Los Autores (2010).

Gráfica4: Comparación de las Velocidades de corrosión de los aceros ASTM-A36, AISI/SAE 306 y el Par metálico ASTM-A36 + AISI/SAE 304 en un Sistema de Agua-Coque de Petróleo



4. Conclusiones

- El estudio de la determinación de la velocidad de corrosión comprobó que el Par Metálico: ASTM A36 + AISI/SAE 304, tiene una pérdida de espesor por año de 0,274650 mm/año, estando dicha dupla capacitada para resistir la severidad al ambiente corrosivo del Sistema Agua-Coque de Petróleo, ya que se encuentra dentro del rango de 0,1 – 0,5 mm/año, clasificado como bueno para la resistencia relativa a la corrosión.
- La Dupla Metálica: ASTM-A36 + AISI/SAE 304, está sometida al ambiente corrosivo generado por el Sistema Agua-Coque de Petróleo, conservando una proporción: $\frac{\text{área catódica}}{\text{área anódica}} = 1$ lo que indica una relación cátodo – ánodo FAVORABLE, ya que se mantiene dentro del rango establecido como bueno para la resistencia a la corrosión, para este Par Metálico.
- Se puede establecer que el comportamiento del acero AISI/SAE 304, sometido a este ambiente, de forma individual, fue excelente, debido al valor obtenido de la velocidad de corrosión.
- Los resultados obtenidos en este estudio se pueden tener como referencia para tomar medidas preventivas en cuanto al mantenimiento de los equipos que tengan las características estructurales y el uso aquí descrito.

Referencias

- AVNER, S. “Introducción a la Metalurgia Física”, 1974, Editorial Mc. Graw-Hill. México.
- PALACIOS, C. “Apuntes de Corrosión”, 1985, Fondo Editorial UCV. Venezuela.
- NACE STANDARD TM0169-2000, “Standard Test Method Laboratory Corrosion Testing of Metals”, 2000, Annual Book of NACE Standards, Item No. 2200, NACE International. Houston, TX.
- ASTM G1-90. “Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens”, 1993, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 3.02, ASTM, Philadelphia, PA.
- HIDROLÓGICA DEL CARIBE, C.A. “Examen fisicoquímico del agua de Planta”, 2010, Planilla de Laboratorio. Venezuela.
- EMPRESA MIXTA PETROCEDENO. “Examen de Laboratorio de la Composición Fisicoquímica del Coque de Petróleo Calcinado”, 2010, Planilla de Laboratorio. Venezuela.
- ASTM G31-90. “Standard Method for Conducting Corrosion Coupon Test in Plant Equipment”, 1993, Annual Book of ASTM Standards. Vol. 3.02, ASTM, Philadelphia, PA.
- ASTM G4-68. “Standard Recommended Practice for Conducting Plant Corrosion Test”, 1974, Annual Book of ASTM Standards. Vol. 3.02, ASTM, Philadelphia, PA.
- DEPARTAMENTO DE QUÍMICA FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE “Fundamentos de Corrosión”, 2002, Fondo Editorial. España.



¡Abrimos inscripciones!

Gestión y Optimización de Inventarios para Mantenimiento

Duración: 13 de Abril – 04 de Mayo | 16 horas académicas en línea en vivo

Contenido del Curso

Conceptos Básicos

Aspectos Claves en Gestión de Inventarios

- Eliminando el exceso de inventarios.
- Fijación de los niveles iniciales de repuestos.
- Mejorar la disponibilidad.
- Estableciendo los mejores objetivos.

Importancia Económica de los Inventarios

- Factores que promueven el Exceso de Inventarios.
- Razones relacionadas con los cambios en el entorno.
- Razones relacionadas con la estructura interna de la empresa.

Clasificación del Inventario para Mantenimiento

- Perfiles típicos del inventario para mantenimiento.
- Artículos activos.
- Artículos pasivos.
- El árbol del inventario.
- Análisis ABC.
- Análisis XYZ.

Análisis de Criticidad-Jerarquización de Repuestos

- Método Criticidad-Valor

Parámetros Claves en la Gestión de Inventarios

- Sistema de inventario permanente.
- Diferentes políticas de reposición.
- Punto de pedido.
- Stock mínimo.
- Stock de seguridad.

Nivel de Servicio

Cantidad Económica de Pedido

Técnicas de Confiabilidad para Optimizar el Inventario

- Distribución Binomial.
- Distribución de Poisson.

El valor del Inventario

- Método FIFO
- Método LIFO
- Método del valor ponderado

Indicadores en la Gestión de Inventarios

- Rotación de inventarios
- Auditorías

Solicitud de información

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

Empresas participantes en 2023



"Implementación exitosa de Mantenimiento Lean en la Industria Manufacturera"



Autor: Carlos H Betancourth C.

Ingeniero Industrial especialista en Gerencia de Producción.
Consultor de Mejora Continua – Director de Costos y Productividad – Instructor y Speaker Internacional

Introducción

Cada día el Mantenimiento Lean se ha convertido en una herramienta fundamental para mejorar tanto la eficiencia como la productividad en la industria manufacturera. Esta metodología, originada en el Sistema de Producción de Toyota, se enfoca en eliminar el desperdicio y optimizar los procesos de mantenimiento. En este artículo, abordaremos tanto los beneficios como las mejores prácticas para implementar con éxito el Mantenimiento Lean en la industria manufacturera de tal forma que se logren obtener los máximos beneficios en su organización.

¿Qué es Lean?

Cuando hablamos de Lean nos referimos a algo esbelto, liviano, sin grasa. Ahí radica la importancia de tener muy clara la forma de gestionar las empresas de tal manera que ellas sean capaces de poder reaccionar ante cualquier evento sin que afecte su permanencia en el mercado y poder ser sostenibles en el tiempo.

Hablar de Lean es basarnos en las prácticas del "Toyota Production System" con el fin de pensar en el cliente para poderle crear el máximo valor por medio de diferentes vías tales como la reducción de los desperdicios, tiempo, energía y esfuerzo.

De acuerdo con lo anterior podemos identificar los cinco (5) Principios Lean los cuales son:



¿Qué es Mantenimiento Lean?

El Mantenimiento Lean es una filosofía que busca eliminar las actividades innecesarias y el desperdicio en los procesos de mantenimiento. Se basa en los principios del Lean Manufacturing, que se centra en la reducción de los tiempos de espera, los movimientos innecesarios y la sobreproducción. Al aplicar estos principios al mantenimiento, las empresas pueden mejorar la eficiencia, reducir los costos y aumentar la satisfacción del cliente.

Fundamentos de Mantenimiento Lean

- **Definición y Principios Básicos:**

El Mantenimiento Lean se define como “un sistema que consiste en realizar operaciones de mantenimiento proactivas que estén alineadas con las buenas prácticas de la metodología TPM (Mantenimiento Productivo Total). Estas prácticas tienen como objetivo optimizar los procesos productivos para eliminar mermas relacionadas con el mal estado o funcionamiento de la maquinaria, dispositivos o equipos de fabricación”.

El objetivo del Mantenimiento Lean es eliminar todo tipo de desperdicio que haga ineficiente la operación las cuales no agregan valor.

Basados en los Principios Lean identificaremos los cinco principios del Mantenimiento Lean los cuales son:

- **Generar valor al cliente:** en el caso de la industria manufacturera generalmente el cliente es el área de producción. Es muy importante tener en cuenta que el cliente es quien define si agrega o no agrega valor el servicio recibido y se deben identificar las actividades, la planeación y personal de mantenimiento requerido para atender sus compromisos frente a su cliente.
- **Comprender el funcionamiento del proceso y métodos que añaden valor a mantenimiento:** las áreas de mantenimiento deben conocer muy bien el proceso sobre el cuál ellos interactúan y los métodos de la forma como intervienen los equipos en el momento requerido. No tener en cuenta los anteriores puntos solo conducen a un mantenimiento desenfocado que en vez de solucionar lo que generan son más problemas a la organización. Es importante la elaboración del “Maintenance Value Stream Map” donde se identifican los desperdicios que se generan y mediante indicadores se determina la efectividad de la gestión de mantenimiento hacia manufactura. (OEE, MTBF, MTTR, entre otros).
- **Facilitar el flujo de trabajo aplicando metodologías apropiadas:** las áreas de mantenimiento son críticas en los procesos de manufactura, pero en muchas ocasiones dichas áreas no cuentan con metodologías que les permita ser ágiles e innovadoras en sus procesos, retardando la entrega efectiva de sus entregables y ocasionando una restricción que desencadena en sobrecostos, desperdicios e incumplimientos al cliente final.
- **Mantenimiento pull para garantizar el just in time (cumplimiento de los tiempos de entrega por reparación):** lamentablemente es normal escuchar que si mantenimiento dice que entrega la máquina reparada en dos (2) horas entonces significa que en realidad la entregará en cuatro (4) horas. El cumplimiento de los tiempos de entrega por reparación debe ser lo más ajustado posible porque de esto depende muchas decisiones que debe tomar manufactura tales como programación de entregas, despachos, programación de personal, etc.
- **Objetivo:** la perfección a través de la mejora continua. La mejora continua es el resultado de todas aquellas acciones que las áreas de mantenimiento realizan día a día convirtiéndola en un estilo de vida. Esta mejora continua debe ser soportada mediante la estandarización de sus procesos por medio de pequeños pasos sostenibles en el tiempo y el desarrollo del equipo, empleados y empleadores con respecto a las prácticas Lean en el mantenimiento.

Ejemplos de aplicaciones exitosas:

- **Toyota:** La empresa automotriz Toyota es conocida por su implementación exitosa de Lean Maintenance. Han aplicado principios como el mantenimiento preventivo y predictivo para minimizar el tiempo de inactividad de las máquinas y optimizar la eficiencia de la producción.
- **General Electric:** GE ha utilizado Lean Maintenance para mejorar la confiabilidad de sus equipos y reducir los costos de mantenimiento. Han implementado técnicas como el análisis de causa raíz y la planificación de mantenimiento basada en datos para maximizar la disponibilidad de la maquinaria.
- **Boeing:** En la industria aeroespacial, Boeing ha aplicado Lean Maintenance para optimizar la gestión de activos y aumentar la seguridad en sus operaciones. Han adoptado enfoques como el mantenimiento centrado en la confiabilidad para garantizar un alto rendimiento de sus aviones.
- **Nissan:** Al igual que Toyota, Nissan ha utilizado Lean Maintenance para mejorar la eficiencia de sus procesos de fabricación. Han implementado prácticas como el mantenimiento autónomo, donde los operadores son responsables del cuidado básico de los equipos, lo que ha llevado a una reducción significativa de los tiempos de inactividad no planificado.
- **Caterpillar:** La empresa de maquinaria pesada Caterpillar ha aplicado Lean Maintenance para optimizar la gestión de su flota de equipos. Han utilizado herramientas como el análisis de riesgos y la programación de mantenimiento basada en la vida útil de los componentes para maximizar la disponibilidad y prolongar la vida útil de sus máquinas.

Beneficios del Mantenimiento Lean

Los beneficios del Mantenimiento Lean cada vez se hacen más relevantes dentro de las organizaciones y está en manos de cada una de ellas sacar el máximo provecho. Dentro de estos beneficios tenemos:

- **Reducción de costos operativos y de mantenimiento**

Cuando en las empresas se reducen o se disminuyen los tiempos perdidos por paros de mantenimiento permite un beneficio de tipo económico en el ahorro de dinero en reparaciones con altos costos y pérdidas de producción. De igual forma se optimiza el costo de la mano de obra y toda aquella cantidad de repuestos requeridos para la maquinaria.



- **Mejora de la eficiencia**

Este es uno de los beneficios más relevantes que se identifican con el Mantenimiento Lean al mejorarse la eficiencia de los procesos sobre los cuales estamos interviniendo.

El objetivo es anticiparnos identificar las posibles fallas que se puedan presentar en determinado momento y de esta forma evitamos que las fallas en caso de darse sean costosas y de alto impacto.





- **Incremento de la disponibilidad de los equipos**

Cuando optimizamos los procesos y las actividades de mantenimiento de inmediato se ve favorecida la disponibilidad de la maquinaria para que sea utilizada en el momento que se requiera y de esta forma podamos responder de forma efectiva a los clientes convirtiéndose en un factor diferenciador.

- **Productos con mejor calidad**

Cuando la maquinaria y equipos se encuentran en óptimas condiciones esto garantizará en gran proporción que la calidad del producto cada vez sea mejor y se evite rechazos por parte del cliente por problemas de calidad y su satisfacción cada vez sea mayor.



- **Fortalecimiento de la cultura de la mejora continua**

En muchas ocasiones se trabaja la cultura de la mejora continua solo a nivel de las áreas productivas dejando por fuera al área de mantenimiento mientras que al implementar Mantenimiento Lean el personal de mantenimiento se une con los demás equipos de otras áreas buscando siempre mejores maneras de hacer las cosas permitiendo una mejora constante de hacer las cosas innovando de forma permanente.

- **Optimización del tiempo de ciclo**

Al fortalecerse cada vez más las labores de mantenimiento conlleva por sí a que los tiempos de ciclo se reduzcan porque los tiempos perdidos cada vez serán menores y de esa forma la respuesta de las empresas hacia los clientes será mucho más rápida logrando cumplir los tiempos de entrega.

- **Reducción de la accidentalidad**

Mediante el Mantenimiento Lean los equipos serán más confiables por lo que cada vez se requiere intervenir menos a los equipos de forma no planeada y esto permitirá que los accidentes se reduzcan y el clima laboral se mejore arrojando una mejora en la productividad y moral de sus trabajadores.

- **Reducción del impacto al medio ambiente**

Al tener equipos y maquinaria operando eficientemente el impacto es directo a la reducción del consumo de energía, agua y materiales. De igual forma los equipos van a durar más tiempo por lo que se aplaza la compra de los mismos lo cual redundará en la disminución de residuos y disminución de la huella ambiental contribuyendo a la sostenibilidad.



- **Mejora de la planificación y programación del mantenimiento**

Con el fortalecimiento de las herramientas y técnicas de mantenimiento se optimiza la programación y asignación de recursos pasando de forma reactiva a una forma planificada conllevando a la mejora de la eficiencia global de toda la operación.

- **Reducción de inventarios de repuestos**

A medida que los tiempos de paro por falla de maquinaria se reduzcan de igual forma se reducen los costos correspondientes a altos niveles de inventario de repuestos, costos de almacenamiento y reposición permitiendo que el capital que antes se tenía en estos altos niveles de inventario ya se redireccionen a otras áreas de las empresas donde se requieran recursos.

- **Mejora en la gestión del conocimiento**

Al implementar mantenimiento lean se van a estandarizar las actividades, se elaboran lecciones de un punto, se elaboran los manuales, se elaboran los procedimientos operativos estándar, etc., lo cual permitirá que el conocimiento no se pierda en la organización logrando el desarrollo de nuevas generaciones de personal operativo fortalecido.

Pasos para la implementación del Mantenimiento Lean

- **Evaluación inicial**

El objetivo de esta evaluación inicial es conocer de forma detallada cómo es la operación actual del departamento de mantenimiento. Dentro de esta evaluación se debe identificar todos los desperdicios actuales y las oportunidades de mejora que puedan presentarse. Es muy importante la participación de todo el personal mas no realizar dicha evaluación solo con los cargos directivos.

- **Definición de objetivos**

Tanto los objetivos como las metas que se definan deben ser claros y medibles y siempre estar alineados con los objetivos estratégicos de la empresa. Para su definición se recomienda utilizar la Técnica SMART. (específicos, medibles, alcanzables, retadores y en un tiempo definido). ¿Qué quiere lograr con el Mantenimiento Lean?

- **Evaluación de equipos críticos**

Mediante una matriz de priorización determinar cuáles son los equipos críticos para la producción y en caso de fallar cuál sería su impacto.

- **Elaboración del plan de implementación**

En la elaboración del plan de implementación debe definir el alcance del proyecto, los recursos necesarios y el cronograma a seguir.

- **Formación y capacitación**

Se debe establecer el cronograma de capacitación a todo el personal fundamentado en los Principios Lean, tipos de pérdidas y desperdicios y las herramientas específicas de Mantenimiento Lean.

- **Identificación de valor**

En esta parte es muy importante identificar todas aquellas actividades que agregan valor y todas aquellas actividades que no agregan valor. Tener en cuenta que quien define el valor es el cliente.

- **Reducción o eliminación de desperdicios**

Una vez identificadas las actividades que no agregan valor en las labores de mantenimiento se procede con los planes de acción para eliminar las actividades y procesos que no son necesarios y que no agregan valor al cliente final.

- **Implementar el ciclo PHVA**

La importancia de implementar el ciclo de mejora PHVA (planear, hacer, verificar, actuar) es garantizar la mejora continua del Mantenimiento Lean, permitiendo la optimización permanente de los procesos del área de mantenimiento.

- **Definir los Indicadores Clave de Desempeño (KPI's)**

Al definir los KPI's para el área de mantenimiento podemos establecer la línea base y la línea meta a lograr y realizar su seguimiento y actuar en el momento requerido.

- **Implementar gerenciamiento diario**

El objetivo del gerenciamiento diario es que el personal de mantenimiento se reúna para conocer de forma directa cómo ha estado el desempeño de la maquinaria en el turno comparado con el rendimiento esperado y en caso de tener que tomar correctivos estos se realizan de forma inmediata.

- **Desarrollar la cultura de la mejora continua**

Permitir que el personal de mantenimiento sea actualizado capacitándolo permanentemente y ellos puedan identificar y proponer soluciones que conlleven a la mejora continua de los procesos de su área.

- **Integración con otras áreas funcionales**

Una vez maduras las anteriores etapas, se debe fortalecer la integración del personal de mantenimiento con las demás áreas de la empresa lo cual permitirá fortalecer y optimizar la cadena de valor.

Conclusiones y recomendaciones

Implementar Lean en Mantenimiento puede llevar a una operación más eficiente, rentable y segura, lo que a su vez puede mejorar la satisfacción de los clientes internos y externos. De igual forma dicha implementación genera un valioso aporte a la mejora continua de la organización.

Se recomienda que la implementación de Mantenimiento Lean sea ejecutada por un equipo de trabajo sólido con el apoyo incondicional de la Gerencia porque dar pasos en falso puede desencadenar en la pérdida de confianza de los empelados frente a dichas metodologías o filosofías y generar una resistencia al cambio para futuras mejoras.

Cibergrafía

- Qué es Lean Maintenance – Rafael Vega <https://www.linkedin.com/pulse/que-es-el-lean-maintenance-beneficios-y-perspectivas-rafael-vega/?originalSubdomain=es>
- Propuesta de Implementación de metodología lean para el mantenimiento del equipo crítico en el área acería de empresa del rubro siderúrgico – Robles Gutiérrez Alonso <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/56032/3560902039291UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Qué es Lean <https://institutolean.org/que-es-lean/>
- Qué es Lean <https://leanglobal.org/what-is-lean/>
- Lean <https://institutolean.cl/lean/>
- Gerenciamiento Diario <https://institutolean.co/producto/gerenciamiento-diario/>
- Lean Management: ¿cómo aplicarlo al mantenimiento? <https://mobility-work.com/es/mantenimiento-industrial/>
- Metodología LEAN en el Mantenimiento <https://www.fracttal.com/pt-br/manutencao-lean>

TRACTIAN

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

Descubre las ventajas de ser un socio estratégico de TRACTIAN.

Descubre más

Disponibilidad Total Mensual:

98,2% ▲

Agenda una demostración



Eficiencia Operativa con Mantenimiento Predictivo: la visión de HxGN EAM al futuro



Autor: CTN Global

En la era moderna de la industria, donde la eficiencia y la productividad son imperativos, el mantenimiento predictivo se ha convertido en una herramienta indispensable para garantizar un funcionamiento sin problemas de los activos. A través de la integración de software avanzado como HxGN EAM (Enterprise Asset Management), las empresas pueden dar un salto significativo hacia el futuro en la gestión del mantenimiento en la industria moderna, anticipando y abordando las necesidades de mantenimiento antes de que se conviertan en problemas mayores.

Desde la planificación, la adquisición, el mantenimiento hasta la disposición, HxGN EAM ofrece una plataforma centralizada para administrar todos los aspectos relacionados con los activos de una organización.

Hexagon ha desarrollado una avanzada solución de Mantenimiento Predictivo que utiliza tecnologías de vanguardia, como la IA y el análisis de datos, para anticipar y prevenir posibles fallas en maquinaria industrial, de un “¿qué pasó?” a un “¿qué podría pasar?” Al comprender el estado de los activos en tiempo real, las empresas pueden planificar intervenciones de mantenimiento de manera estratégica, minimizando los paros no programados y prolongando la vida útil de los equipos.

Mantenimiento Predictivo con HxGN EAM

Una de las características más poderosas es su capacidad para integrar datos de sensores en tiempo real y análisis avanzados para predecir fallos y necesidades de mantenimiento. Algunas de las formas en que HxGN EAM facilita el mantenimiento predictivo incluyen:

- **Integración de Datos en Tiempo Real:** Se conecta a sistemas de monitoreo, como sensores IoT y SCADA, para obtener datos instantáneos sobre el estado y rendimiento de activos.

- **Análisis Avanzado de Datos:** Procesa grandes volúmenes de datos con algoritmos avanzados, identificando patrones y anomalías para prever posibles fallos o necesidades de mantenimiento.
- **Generación de Alertas y Notificaciones:** Basado en el análisis, genera alertas y notificaciones automáticas, permitiendo respuestas inmediatas ante posibles problemas.
- **Planificación de Mantenimiento Proactivo:** minimiza los tiempos de inactividad no planificados y maximiza la disponibilidad de los activos.

Beneficios del Mantenimiento Predictivo

- **Reducción del Tiempo de Inactividad:** Disminución drástica del tiempo de inactividad no planificado y maximizando la disponibilidad operativa.
- **Optimización de Recursos:** HxGN EAM mejora el uso de recursos, minimiza mantenimientos innecesarios y reduce costos asociados con reparaciones de emergencia.
- **Mejora de la Seguridad:** Identificando y abordando problemas de mantenimiento antes de convertirse en riesgos de seguridad, HxGN EAM contribuye a un entorno de trabajo más seguro para el personal y los activos.
- **Maximización del Rendimiento de los Activos:** Antes de afectar el rendimiento, HxGN EAM maximiza la vida útil y rendimiento de activos, optimizando el retorno de la inversión.

Al implementar el Mantenimiento Predictivo, las empresas ahorran costos en reparaciones y tiempos de inactividad; además, experimentan mejoras tangibles en la productividad. La extensión de la vida útil de los equipos y la capacidad de programar intervenciones de mantenimiento en momentos estratégicos se traducen en un flujo de trabajo más fluido y rentable.

Imagine una fábrica donde las máquinas no solo hagan su trabajo, sino que también hablen. Se trata de entender el lenguaje de las máquinas y responder con acciones preventivas que mantengan sus procesos en marcha y funcionando sin problemas. En lugar de esperar a que algo falle, HxGN EAM propone anticiparse a los problemas, ¿cómo? brindando la posibilidad de evitar esos momentos incómodos, esas interrupciones y esos dolores de cabeza gracias a este sistema que observa, escucha y aprende constantemente.

HxGN EAM responde a los desafíos actuales de la gestión de activos; además, propone una visión proactiva, permitiendo a las empresas evitar problemas y mantener sus procesos en marcha de manera eficiente y sin contratiempos. Estar más cerca de la transformación digital es posible con una solución robusta que permita alcanzar altos niveles de eficiencia.

¡HxGN EAM prevé problemas antes de que ocurran!

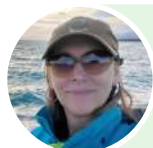


Nuestro mantenimiento predictivo usa IA y análisis avanzado para evitar tiempos de inactividad. Detecta y soluciona problemas en tiempo real, reduciendo hasta un 20% el desperdicio.

¡Mantén tu producción eficiente!



Buenas Prácticas de Mantenimiento Aeronáutico en el Mantenimiento Industrial



Autor: Viviana Rosalía Cantarela

Ingeniero Mecánico Aeronáutico, experiencia en el Cuerpo Profesional Ingeniería de la Armada Argentina, Jefatura de Ingeniería de Mantenimiento YPF SA, Bahía Blanca.

Introducción

En nuestra actividad se conoce el proceso de RCM, planes de mantenimiento, tipos de mantenimiento, etc. Sus orígenes podemos buscarlos en la industria de la aviación.

Sin embargo, para llegar hasta los estándares actuales hubo un proceso desde los inicios de los primeros aviones.

Así como hoy en día la industria ha introducido mucha de estas prácticas y las ha perfeccionado, hay muchas más que podemos utilizar para hacer más ordenada y trazable nuestras tareas diarias de mantenimiento. Pero hagamos un poco de historia.

Un poco de historia: El camino hacia el RCM

Durante la segunda guerra mundial el mantenimiento de las aeronaves no era estrictamente riguroso lo que llevaba a que su vida útil se viera reducida.

En los años 50 se comenzó a buscar mejorar los diseños, tanto de sistemas como de componentes, mejorando la eficiencia a medida que también mejoraban las tecnologías y el uso de materiales más ligeros y resistentes. Sin embargo era necesario conseguir más confiabilidad y seguridad en las aeronaves.

Esto llevó a trabajar en los procesos para conseguir más eficiencia en el mantenimiento, comenzando a utilizarse los primeros programas de mantenimiento.

En el año 1968, con la operación del avión Boeing 747, los representantes de varias aerolíneas, junto con fabricantes y las autoridades de aplicación se reunieron para desarrollar un programa de mantenimiento. Aquí surge el MSG-1 (Maintenance Steering Group), un programa de mantenimiento basado en decisiones lógicas, experiencia y procedimientos establecidos por el fabricante/aerolínea en la operación del Boeing 747.

A mediados de 1970, el gobierno de los Estados Unidos de América quiso saber más acerca de la filosofía moderna en materia de mantenimiento de aeronaves. Y solicitaron un reporte sobre éste a la industria aérea. Dicho reporte fue escrito por Stanley Nowlan y Howard Heap de United Airlines. Ellos lo titularon **“RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE”** (MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD), fue publicado en 1978, y aún sigue siendo uno de los documentos más importantes en la historia del manejo de los activos físicos.

Con la experiencia conseguida con el MSG-1 se consideró que esta manera de desarrollar un plan de mantenimiento debía ser aplicada en las nuevas aeronaves.

La actualización de aquel documento resultó en un documento titulado Planeación de Programas de Mantenimiento / Fabricante, conocido como MSG-2.

Este desarrollo contemplaba, dentro del mantenimiento aeronáutico tres categorías fundamentales, que son:

- a. Mantenimiento con límite de funcionamiento o de vida:** (en inglés Hard Time) el elemento deberá ser detenido antes de alcanzar un límite expresado en horas de vuelo o de funcionamiento, o en tiempo calendario, o en número de ciclos.
- b. Mantenimiento por verificación de estado:** (en inglés On Condition) el elemento sufre intervenciones periódicas, o eventualmente es sometido a observaciones continuas permitiendo supervisar su estado. Los criterios para determinar si el elemento puede ser conservado según su verificación de estado son los siguientes:
- Posibilidad de evaluar la degradación del estado, generalmente sin detención ni desagrupación por inspección visual, medida de parámetro/s significativo/s, ensayos, etc.
 - Definición en un documento de conservación del valor límite del/de los parámetro/s significativo/s.
- c. Mantenimiento como consecuencia del comportamiento en servicio:** (en inglés Condition Monitoring) consiste en seguir estadísticamente la fiabilidad de los elementos pertenecientes a esa categoría. Esto tiene como consecuencia la ausencia de conservación preventiva, se deja que se produzcan los deterioros y se efectúa la puesta en estado. Este modo de mantenimiento no es aplicable más que a elementos cuyo deterioro no tenga repercusión sobre la seguridad o a elementos que tengan función “oculta”.

En 1980 se presentó el MSG-3, documento para la planeación de programas de mantenimiento para fabricantes / aerolíneas, el cual ha sido revisado en tres oportunidades, la primera vez en 1988, luego en 1993 y la tercera en 2001.

El objetivo fundamental del MSG-3 es englobar un programa de mantenimiento programado para una aeronave en su totalidad, es decir, cubriendo sus partes, componentes, motores, sistemas y lo que se refiere a estructuras.

Este programa comienza con la determinación de las bases de los primeros procedimientos de mantenimiento que adopta una aerolínea, estando sujetos a la aplicación individual y a las revisiones que solo pueden hacer aquellas empresas aéreas que cuenten con una gran experiencia en la operación del equipo que se trate.

Para las aeronaves civiles / comerciales americanas, el desarrollo de un programa de mantenimiento se basa en el MRB (Maintenance Review Board) aprobado por la FAA y el MPD (Maintenance Planning Document) del fabricante Maintenance Review Board.

El MSG-3 contiene las siguientes secciones:

- Artículo significativo de mantenimiento (MSI1)
- Programa estructural²
- Cobertura por zonas³
- Mantenimiento centrado en confiabilidad y planeación y control de producción

¹MSI: es cualquier parte de un sistema que se manejará de la manera más individual, es aquella parte que:

- Podría tener un efecto adverso al fallar
- La falla es difícil de detectar
- Impacto económico
- Impacto en la imagen

²En el programa estructural se tiene en cuenta:

- Daño accidental (AD)
- Deterioro ambiental (ED)
- Daño por fatiga (FD)

³El programa de inspección por zonas: está basado en una inspección visual que permite visualizar condiciones por corrosión, rotura, fugas, rozamientos.

Los objetivos fundamentales de esta nueva filosofía de mantenimiento son:

- Garantizar la seguridad de vuelo de la aeronave
- Preservar un alto nivel de confiabilidad en las operaciones
- Reducir los efectos negativos originados por el deterioro presentado en sistemas y componentes
- Incluir un sistema de mejora continua
- Minimizar los imprevistos en el mantenimiento de línea
- Minimizar los costos de mantenimiento

Para la aplicación correcta de las tareas de mantenimiento, es necesario cumplir con 3 criterios fundamentales, que son:

- **Efectividad:** para reducir la resistencia a la falla, esta debe ser detectable y su régimen de reducción predecible
- **Efectividad – seguridad:** donde la tarea debe reducir el riesgo de falla para garantizar una operación segura
- **Efectividad – economía:** en el cual la tarea debe ser costeable, es decir, la tarea debe ser menor al costo de la falla.

MSG-2	MSG-3
Mantenimiento orientado a procesos	Mantenimiento orientado a tareas
<p>Procesos: Límite por tiempo (Hard Time) Según condición (On Condition) Condición por Monitoreo (Condition Monitoring)</p> <p>Tareas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Servicio • Inspección • Pruebas • Calibración • Reemplazo 	<p>Tareas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lubricación y servicio • Prueba operacional / Inspección visual • Inspección / Prueba funcional • Restauración • Desecho <p>Grupo de tareas no programadas que resultan de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tareas efectuadas a intervalos específicos • Reporte de mal funcionamiento (originada por los pilotos) • Análisis de datos
<p>Objetivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prevenir el deterioro de los diferentes niveles que son inherentes en el diseño de confiabilidad y operación segura • Realizar estas actividades con un costo mínimo 	<p>Objetivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Garantizar la seguridad de vuelo de la aeronave • Preservar un alto nivel de confiabilidad en las operaciones • Minimizar las tendencias al deterioro en los sistemas y componentes
<p>El análisis de falla utiliza un diagrama lógico dividido en tres pilares:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Como se pueden realizar las tareas 2. Como deben ser realizadas 3. Como deberían realizarse 	<p>El diagrama lógico para el análisis de fallas se divide en dos niveles:</p> <p>Nivel 1: Consecuencia de la falla; se evalúa cada falla funcional para determinar la categoría del efecto, por ejemplo seguridad, operación, economía, falla oculta o falla no detectable.</p> <p>Nivel 2: Efecto de la falla, toma las causas de falla para cada falla funcional para seleccionar una tarea específica para aplicar</p>

Allá por 1978 la aviación comercial en los EEUU presentó también un estudio sobre patrones de falla en los componentes de aviones, lo que llevó a un cambio de mirada sobre el mantenimiento. En la actualidad los equipos en general son mucho más complejos, por lo cual también han ido cambiando los modelos de falla.

El programa de mantenimiento puede modificarse en base a la experiencia de la aerolínea/usuario.

Las aeronaves militares cumplen los programas de mantenimiento aprobados por los organismos de regulación, según procedimientos establecidos, ya sea recomendados por el fabricante o un programa equivalente para cada aeronave o producto / parte a mantener.

El programa de mantenimiento del fabricante es aquel que se encuentra en los manuales de mantenimiento emitidos por el mismo y consensuado con operadores y autoridades aeronáuticas.

Frecuencia de mantenimiento

Hay varias maneras de planificar el mantenimiento. Estas pueden ser:

Por horas: estas revisiones se realizan de acuerdo a la cantidad de horas que el componente ha estado operando, por ejemplo motores, controles de la aeronave y otros sistemas que se operan en forma continuada durante el vuelo y/o rodadura.

Por ciclos: estas revisiones están determinadas por al numero de ciclos operados, por ejemplo el tren de aterrizaje. Aquí el ciclo se cuenta según despegues y aterrizajes, por lo cual este número variará según la planificación del vuelo. La estructura, componentes de motor como álabes de turbinas y otros componentes que se encuentran sometidos a esfuerzos cíclicos se consideraran para la planificación del mantenimiento.

Por tiempo calendario: aquí se toma en cuenta aquellas partes de la aeronave que están sometidos a modificaciones por tiempo, por ejemplo el fuselaje, tanques de goma, etc.

Un componente podrá tener una planificación de mantenimiento según alguna de las anteriormente mencionadas, o varias, la que se produzca primero.

Buenas prácticas

Historial de componentes

Todos aquellos componentes que deban tener trazabilidad se les confecciona un historial, el cual se inicia desde la entrada en servicio de ese componente.

Por ejemplo, la aeronave, las plantas propulsoras, hélices, trenes de aterrizaje, bombas de combustible, bombas de aceite, etc.

En el historial se asientan no solo las horas o ciclos de operación, sino también las intervenciones que se realizan y boletines aplicados.

Esto permite que cuando un componente entra a inspección o intervención, se conozca su historial.



Se muestra una vista general de una hoja de registro de motores con varias secciones para registrar datos de operación y mantenimiento.

Detalle de la parte superior de una hoja de registro de motores, incluyendo datos de identificación y estado de los componentes.

MONEDUCALATA	Nº DE SERIE	Nº TOTAL	HRS. DE SERVICIO	HRS. DE REPARACIÓN	OBSERVACIONES
MOTOR DE COMBUSTIBLE	1000	1000	1000	1000	
TREN DE ATERRIZAJE	2000	2000	2000	2000	
ELÉCTRICOS	3000	3000	3000	3000	
FLUIDOS	4000	4000	4000	4000	
OTROS	5000	5000	5000	5000	

Boletines de servicio

Estos documentos son emitidos por los fabricantes de aeronaves, motores, hélices, etc. con el propósito de que el operador corrija fallas o un mal funcionamiento del producto, o introducir modificaciones y/o mejoras. Muchos de ellos son resultado de la misma experiencia de los operadores.

Estos boletines de servicio (SB) son categorizados como Mandatorios, Alerta o Recomendados.

También la autoridad de regulación del país puede emitir Directivas de Aeronavegabilidad que pueden ser mandatorias para el usuario.



TECHNICAL DIRECTIVES											ACCESSORY BULLETINS			
1. IDENTIFY MODEL, EQUIPMENT AND SERIAL NUMBER											2. TRANSLATIONS			
3. SPECIFIC SUBJECTS/DESCRIPTION											4. DATE OF ISSUE, MODEL NUMBER			
Model	Year	Alt	Alt	Alt	Alt	Alt	Alt	Alt	Alt	Alt	Model	Issue	Issue	Issue
306											306	12 JUL 94	S/S STEVEN W	
430											430	HS-5	17 JUL 94	JT M DAY
436											436	HS-5	17 JUL 94	JT M DAY
438											438	HS-5	17 JUL 94	JT M DAY

Identificación de servicio del componente

A los efectos de la trazabilidad de los componentes o partes que ingresan a mantenimiento, un sistema de identificación con tarjetas de color permite saber cual es el estatus de dicho componente o parte. En cada tarjeta se colocan los datos que permiten identificar el elemento, por ejemplo N/P, N/S, Horas de funcionamiento, Horas de último mantenimiento, fecha, etc.

Tarjeta amarilla: indica que el mismo se encuentra para inspección y/o intervención de mantenimiento.

Tarjeta verde: indica que el componente se encuentra apto para el servicio. Se coloca en elementos nuevos o los que salen de mantenimiento.

Tarjeta roja: el componente es irreparable y debe ir a descargo del inventario.



Almacenamiento y preservado

Todos los componentes o partes durante sus periodos de inactividad deben ser controlados, conservados y protegidos de la intemperie y/o factores externos, a los efectos de mantener sus condiciones.

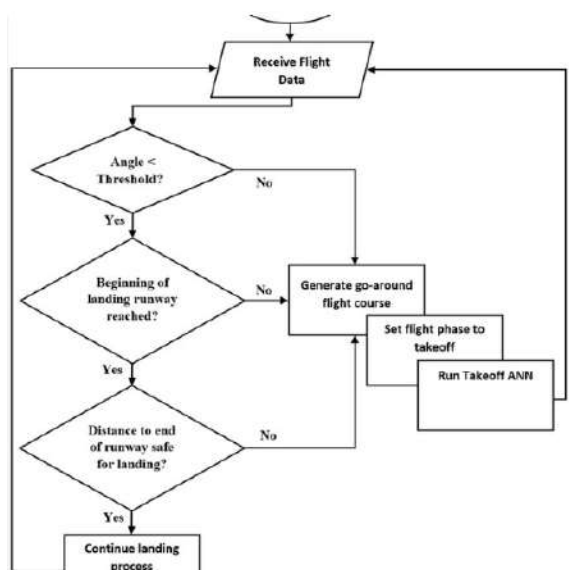
Para esto es necesarios espacios o locales de estiba, donde son clasificados, identificados y almacenados en embalajes adecuados.

Aquellos componentes elastoméricos, por ejemplo, son estibados en locales con humedad e iluminación adecuada. Tienen limite de vida por lo cual al alcanzarla deben ser destruidos, excepto aquellos elementos de viton, los cuales no tienen vencimiento.



Troubleshooting

Es un proceso lógico o deductivo que se utiliza en las líneas de mantenimiento de aeronaves para diagnosticar un problema / falla, que va desde lo mas simple a lo mas complejo. Los manuales de los fabricantes tienen un capítulo destinado para esto, y se aplican según el escalón de mantenimiento correspondiente.



Aplicación en la industria

Los conceptos y alcances del mantenimiento aeronáutico son muchos mas amplios y se puede explayar tanto como se pretenda. Ahora bien, con lo expuesto aquí, se puede aplicar algo de estas buenas prácticas en el mantenimiento industrial?

En la experiencia de quien escribe, actualmente trabajando en la industria petrolera, algunas de estas prácticas han sido propuestas y se están utilizando con buena aceptación. Por supuesto que en algunos casos implican cambios culturales en la forma de trabajar.

Boletines de mantenimiento

El concepto de los Service Bulletin descriptos precedentemente, son aplicados para las actividades de mantenimiento e integridad, pueden ser propuestos por cualquier persona de esas áreas y aprobadas por el Area Transversal de la empresa. Sus categorías son:

Recomendado: aquí se presentan recomendaciones y buenas prácticas de mantenimiento. Queda a criterio de los diferentes Activos de la Empresa su aplicación o no.

Alerta: se basan en alguna experiencia sobre equipos o procesos críticos. Puede ser resultado de un proceso de Analisis Causa Raiz o Informe de Falla. Es una advertencia, pero sigue siendo potestad de los diferentes Activos de la Empresa su aplicación o no.

Mandatorio: puede surgir de algún evento que pudiera generar impacto en seguridad o económico. En este caso como lo indica su categoría, es de aplicación mandatoria.

BOLETIN DE MANTENIMIENTO		Nº Boletín: IDM M 0215
CARÁCTER: MANDATORIO		Fecha: 26/03/2015
		Página 1/5

Objetivo	Establecer la metodología de montaje y controles a efectuar en pernos pie de biela (PPB) y los alojamientos de manivela.
Tipo de equipo/instalación	Aparato Individual de Bombeo (AIB)
Alcance	Todos los AIB

- DOCUMENTO DE REFERENCIA**
 - Manual de instalación Lukin y Emepa/Darco
- MOTIVO O CAUSA QUE ORIGINA LA EMISION DEL PRESENTE BOLETIN:**

La no verificación de la concidad del perno pie de biela (PPB) o del alojamiento de la manivela, conforme a planos establecidos por el fabricante, así como las malas prácticas de instalación del PPB, constituyen las causas raíces de falta del mismo, que luego desencadenan la falla catastrófica del aparato individual de bombeo (AIB). Lo antes descrito esta soportado en varios documentos, entre los que se pueden mencionar:

 - Informe de falla PPB B3 8 - Barrancos - Mondoza
 - IDM-AFA-2015-03-SOLEC-GIRO DE PPB DE AIB
 - AB-PRO-PR-21-901-01 - Transporte, Montaje y Desmontaje de AIB
- REFERENCIA LEGAL O REGULATORIA:**

N/A
- DESCRIPCION:**

Un elevado porcentaje de las fallas graves en los AIB, que se producen en los ya mencionados de YPF, son causados por la falta del perno pie de biela. La mayor parte de esas fallas podrían evitarse con:

 - Córrrecta inspección de la bancada de manivela y el perno antes de su instalación.
 - Aplicando al perno el torque de apriete correcto.

Cuando se aprieta un perno, la fuerza rotacional o torque, hace que el perno se estire conforme las rosca se asientan estrechamente una contra la otra, lo que causa tensión y el correspondiente estrés de la fuerza de compresión entre los materiales a unir. El

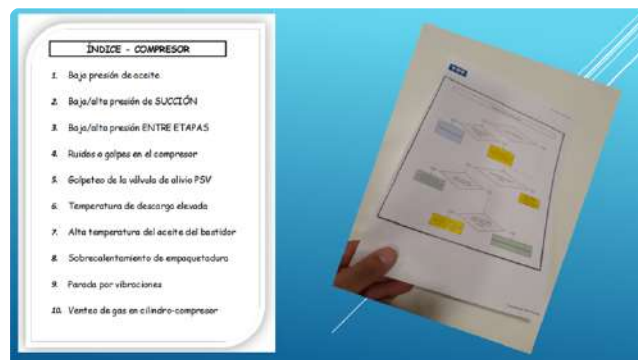
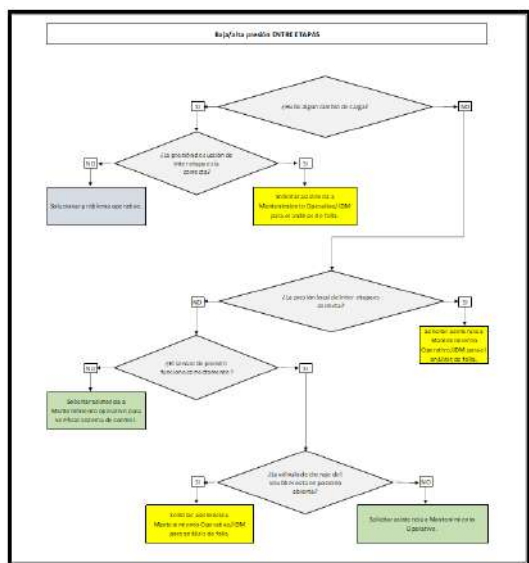
Confección:	Validó:	Aprobó:
-------------	---------	---------

Troubleshooting

En el activo que la empresa tiene en Tierra del Fuego, los equipos de compresión son propios. Poseen muchas horas acumuladas y sistemas de control obsoletos. Además de haber pertenecido a varias operadoras anteriores, el personal de mantenimiento ha ido también cambiando, perdiéndose el Known How.

Como herramienta para la primera línea (operadores) se generaron diagramas de decisión para las fallas, yendo siempre desde lo mas simple a lo mas complejo. El proceso que se siguió fue el siguiente:

1. Recopilar información: fue necesario conseguir los manuales originales de los equipos y conversaciones con quienes conocen estos equipos.
2. Describir el problema:
 - ¿Cuáles son los síntomas?
 - ¿Cuándo ocurre el problema?
 - ¿Dónde ocurre el problema?
 - ¿Cuáles son las condiciones cuando ocurre el problema?
 - ¿Es reproducible el problema?
3. Determinar la causa mas probable
4. Crear un plan de acción y probar una solución
5. Implementar la solución
6. Analizar los resultados
7. Documentar el proceso
 - ¿El resultado?



Actualmente se está trabajando en la implementación, luego de lo cual seguramente se deban hacer ajustes.

Conclusión

Como se puede ver, además del RCM, hay muchas buenas prácticas en la industria del mantenimiento de aviones que se pueden utilizar para mejorar nuestros resultados.

La utilización de historiales de equipos ayudaría para no perder datos en el tiempo; sabemos que en nuestra industria petrolera los equipos suelen ser cambiados de ubicación o cambian las operadoras o servicios de mantenimiento.

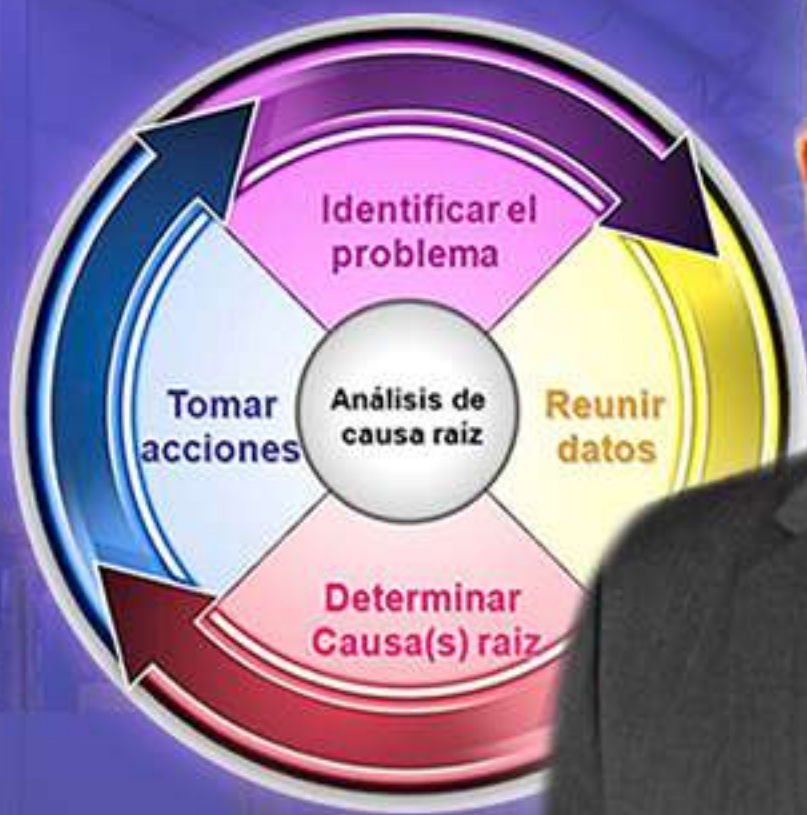
Los boletines de mantenimiento permiten sinergia entre las diferentes áreas de la empresa además de alertar sobre posibles fallas o situaciones de confiabilidad de equipos.

Utilizar diagramas de decisión para analizar la falla, desde lo mas simple a lo mas complejo, agiliza y optimiza recursos y tiempos.

Todo es aprendizaje y lo que podemos aportar para hacerle mas fácil el camino a otros, vale la pena.

Mundo ACR

con Augusto Constantino



Todo lo que debe
saber y conocer del
Análisis Causa Raíz



Autor: Augusto Constantino

Especialista en Análisis de Causa Raíz y
Resolución de Problemas Complejos

Mundo ACR

¡Bienvenido a Mundo ACR!

En principio quiero agradecer a todo el equipo de Predictiva21 por permitirme formar parte de esta publicación, por la colaboración para editar y darle formato a mis artículos de la forma profesional como lo hacen, por el espacio que dan para expresar nuestras ideas, experiencias y opiniones, especialmente agradecer a Enrique González Hernández que me abrió sus puertas para participar, a Andrés González Giraldo por llevar adelante tan exitoso proyecto y a Lisset Chávez González por el apoyo para toda la gestión de notas y publicidad.

A toda la comunidad de Predictiva21 les doy la bienvenida a esta columna que hoy comienzo y espero que sea de su agrado, daré lo mejor de mi experiencia para que así sea.

La realidad del Análisis de Causa Raíz

Los problemas existen desde siempre, lo tienen todos los seres vivos desde siempre, el hombre no escapa a esta situación también la forma en que se resuelven, contiene o se repiten es ancestral, por eso estamos ante la presencia de algo existencial: esto hace que existieran, existan y existirán. Pero se deben abordar y resolverlos de la mejor forma para hacer que no se repitan, ese es el desafío.

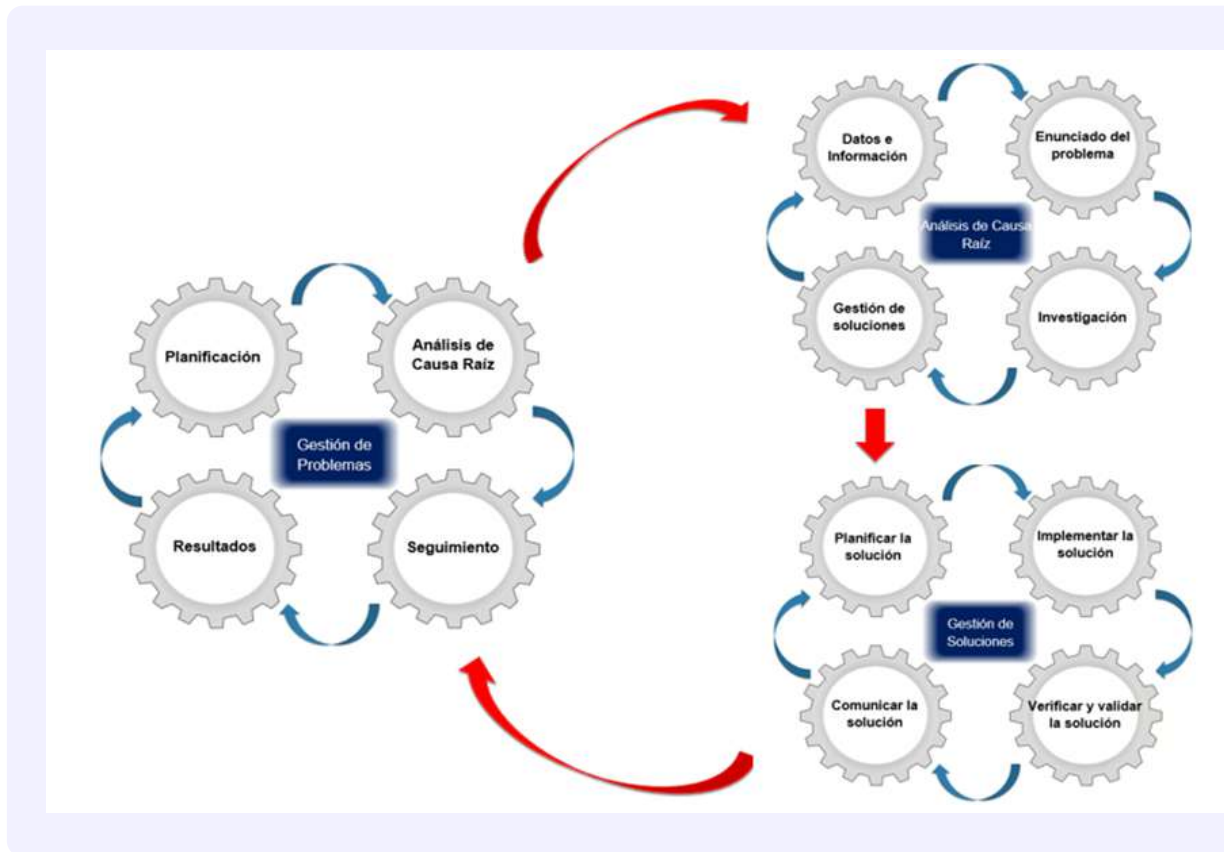
La resolución de problemas es algo que siempre estuvo presente aún con la aplicación de decisiones puntuales cotidianas o con el uso de prácticas específicas. En la vida personal resolvemos problemas todo el tiempo, lo hacemos continuamente, desde como vestirse para salir hacia el trabajo, la elección de la escuela de los hijos, la compra de un vehículo, una vivienda, como aquellos que serán relevantes y quizás los más importantes en la vida. Todos estos problemas tienen un alto nivel de importancia para nosotros y el resto de las personas que nos rodean, pues también pueden definir el futuro de ellas y el de las organizaciones en que actúan. Es por ello por lo que será necesario resolverlos encontrando las mejores soluciones y tomando las decisiones adecuadas.

Desde hace unos años y más precisamente luego de la Segunda Guerra Mundial, se comenzó a hablar de Calidad enfocada en conceptos modernos que aún hoy están vigentes y potenciados. Esto fue en Japón y desde allí se inició un cambio que fue trascendental en la cultura de Calidad de las organizaciones locales y luego expandiéndose en forma global, se comenzó a conocer una expresión que evolucionó junto a las prácticas de mejora continua: el Análisis de Causa Raíz.

Pero ¿qué es el Análisis de Causa Raíz?: es un concepto amplio que lleva a la búsqueda de las causas que originaron y compusieron un evento. Más adelante en el tiempo se tomó como una metodología, pero esta se constituye así cuando se lo define con alguna de sus prácticas, como ser con la utilización de algún método tradicional, genérico, conocido o los creados por organizaciones particulares.

El ACR se enfocó en analizar lo que pasó y buscar las soluciones, que es lo correcto, por lo cual en muchos casos se ha quedado en solo eso: la necesidad de buscar soluciones ante un problema y tomar acciones. Esto ha cambiado en los últimos años y los enfoques también lo han hecho, llevando a ampliar el concepto y el alcance y a considerar que la Resolución de Problemas esté formada por el ACR y la Gestión de Soluciones, como un proceso integrado.

Así podemos entender cómo se compone un proceso de este tipo como lo muestra la figura.



Dentro de este proceso también se encuentra el enfoque en la prevención cuando se Planifica la gestión, en él se encuentran los análisis de riesgo, el AMFE/FMEA, los procesos de prevención con sus prácticas y acciones, los modelos actuales como el Desempeño Humano y Organizacional HOP, pero también sobre el final del proceso se encuentra el enfoque en la prevención al transmitir y compartir los resultados de las investigaciones con otros procesos. Es decir, la gestión es completa abarca un antes y un después del ACR.

De este tema me referiré y ampliaré en posteriores artículos, pero debemos entender que la Resolución de Problemas se consolidará como un proceso que incluya al Análisis de Causa Raíz, donde se encuentra definido el proceso de investigación y la generación de soluciones, esta última formada por un proceso de aplicación de la solución, verificación y validación, logrando así mantener la solución aplicada en el tiempo y hacer posible que el evento no vuelva a ocurrir.

Como se está usando y como debería serlo

La organización debe aplicar el Análisis de Causa Raíz con uno o varios métodos que se orienten a resolver los problemas como un camino hacia la mejora continua, puede hacerlo como un inicio hacia ese camino y más aún, sin tener otros sistemas de gestión aplicados o certificados, es decir, es posible realizar una gestión eficiente de la organización teniendo un Método de Análisis de Causa Raíz fuerte, definido y aplicado por toda la organización.

El foco es hacia la gestión de problemas, el ACR como un proceso de resolución de problemas que requiere de habilidades técnicas, una gestión eficiente e insertada dentro de un marco moderno donde los problemas tienen diferentes dimensiones dependiendo desde donde se presenten. Cuando una falla se produce no solo afecta a un equipo en particular, afecta también al proceso en el cual está inserta, por lo tanto, resolver el problema no es particular de un sector, debe ser abordado por un equipo multidisciplinario que avance sobre el problema desde diferentes perspectivas.

Es aquí donde el aprendizaje de las personas debe estar enfocado a métodos más sólidos, como los hay, y con una visión de ir hacia la gestión del ACR, con participación y habilidades particulares y personales adecuadas, la resolución de problemas es una habilidad del futuro y debe estar dentro de la organización como proceso más. De la misma forma que las diferentes actividades dentro de la organización han evolucionado hacia la gestión, como la calidad, ambiental, y en el caso del mantenimiento hacia la gestión de activos, el ACR debe evolucionar hacia lo mismo enfocado como un proceso de resolución de problemas.

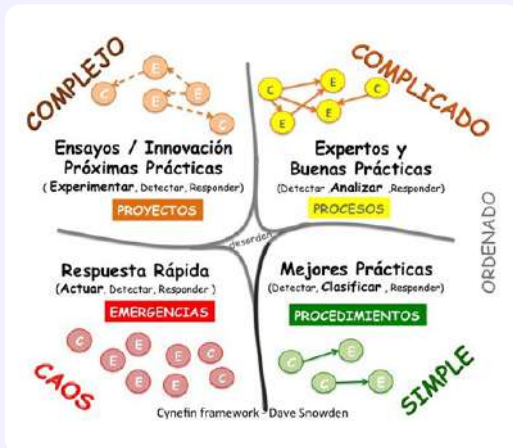
Todos somos conscientes de la evolución de la tecnología, pero en los últimos 30 años se ha acelerado y cada vez más se acerca a un avance exponencial. Los casos de problemas que se presentan van siendo cada vez más difíciles de resolver con prácticas simples o medianamente simples, aunque es hoy que muchas organizaciones utilizan prácticas simples para problemas complicados. Así es poco probable resolver una caída de una red eléctrica o un accidente grave o fatal con un 5 Porque, o tratar de entenderlo con solo detectar causas con una Espina de pescado. Necesitamos de prácticas que permitan un análisis más profundo del evento, con alternativas de búsqueda de soluciones eficaces.

La era de la complejidad

Desde hace 50 años se comenzó a hablar de problemas complejos, hubo diversos enfoques para abordarlos, prácticas para buscar las posibles soluciones o mitigar los efectos que se derivan de ellos propio de las situaciones que lo generan, la evolución, la emergencia y otras particularidades propias de ellos.

Pero fue a partir del fin de los 90's y principio del siglo actual cuando han surgido enfoques más desarrollados que han permitido entenderlos mejor y actuar en consecuencia. Así el Framework Cynefin de Dave Snowden es uno de ellos, pero quizás el más avanzado en este sentido. En él aparecen los problemas Ordenados como los Simples y los Complicados donde el ACR está presente en forma muy fuerte, en los primeros desde las prácticas simples como las mencionadas anteriormente y enfocada a problemas simples, pero el avance hacia la complejidad hizo que los problemas se presentes como Complicados donde el requisito en modelos de investigación más sólidos es necesario al igual que el apoyo de especialistas externos, consultores, asesores.

Del otro lado de este marco aparecen los Problemas Complejos y el Caos, completando los cuatro cuadrantes del modelo, en los primeros las prácticas de ACR se presentan como complementos de otras prácticas y habilidades personales necesarias para afrontar problemas complejos como ser: el lanzamiento de un productos nuevo o de un servicios atañe diseño de procesos, en ellos los equipos son necesarios y resolver este tipo de situaciones implica un análisis donde la participación de especialistas entre ellos de equipamiento es necesaria, así las personas relacionados con el mantenimiento, los activos, la confiabilidad participan en la resolución de problemas complejos. Una vez más las nuevas habilidades de resolución de problemas se hacen presente, ahora con necesidades de especialistas en la materia que nos ocupa.



El diagrama siguiente muestra su composición y ayuda a entenderla.

Dentro de lo Simple y lo Complicado el ACR se encuentra presente con la aplicación de las prácticas incluso la Resolución de Problemas, como lo explicado anteriormente, es el proceso adecuado para afrontarlos. Pero al evolucionar hacia lo Complejo o aún el Caos se debe abordar estas situaciones con prácticas de Resolución de Problemas Complejos, una instancia superior de problemas que van más allá de lo Ordenado y exige habilidades especiales para afrontarlos.

De todas formas, el ACR forma parte de este proceso, con la Gestión de Problemas que ello implica y acompañados de otros conocimientos, habilidades, prácticas, incluso las que se acercan a la aleatoriedad y la incertidumbre. Pero esto es tema de otra columna.

¿Cuál es el futuro?

La propuesta es llevar al ACR a un nuevo enfoque como proceso de Resolución de Problemas involucrado en diferente complejidad de problemas, no ya como prácticas simples y generalistas que han sido exitosas desde mediados del siglo pasado y aún hoy en algunas situaciones. Para ello es necesario entender el nuevo marco de situación sumergido en la complejidad, enfocarse en la gestión, desarrollar las habilidades necesarias no solo las prácticas sino las habilidades blandas tan necesaria para trabajar con las personas (Factor X) y hacer que el ACR sea una actividad más dentro de la organización, donde resolver problemas relacionados con los activos sea una especialidad.

Es un tema que da para analizar y extenderse más allá de una columna, pero es importante hacerlo para que vaya insertándose en las actividades diarias de las personas y que, a futuro, nos permita abordar temas complejos que se vienen, la inteligencia artificial es uno de ellos y ya la tenemos entre nosotros, ella también se insertará en las prácticas de ACR para ayudarnos a entender los problemas y acelerar los procesos de investigación haciéndolos más eficientes.

Lo espero en la próxima columna.

ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ ACR

La evolución es:

Método + Software

Sologic + Causelink



Incluye:

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

**AGENDA DEL
1ER TRIMESTRE DEL AÑO**



WEBINARS

→ 15 de Febrero de 2024. 2pm GMT-03

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

→ 21 de Marzo de 2024. 2pm GMT-03

¿PODRÁ LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL RESOLVER LOS PROBLEMAS?

→ 18 de Abril de 2024. 2pm GMT-03

CÓMO ELEGIR LA HERRAMIENTA DE ACR MÁS EFECTIVA



CURSOS ABIERTOS

→ 5 de Marzo

Facilitador (Modalidad Virtual)

→ 14 de Mayo

Facilitador Líder (Modalidad Virtual)



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



E-mail infolatam@sologic.com

+54 911 3474 1012 +52 993 214 9385

www.sologic.com/es-mx





El diagnóstico como paso fundamental en los proyectos de mejora en Mantenimiento, Confiabilidad y Gestión de Activos

 Manuel Belaochaga

Gerente de Mantenimiento, Confiabilidad y Gestión de Activos | Auditor ISO 55000

Uno de los grandes retos que tenemos cuando queremos implementar algún proyecto de mejora en nuestras compañías es el elaborar un plan de trabajo completo y ejecutable que nos ayude a mejorar los resultados de nuestra gestión.

Desde la experiencia tanto en el ámbito laboral, como el docente y la consultoría, uno de los errores principales que he podido apreciar es que partimos con la solución en la cabeza, sin tener en cuenta si es la adecuada para el contexto en el que se encuentra la organización.

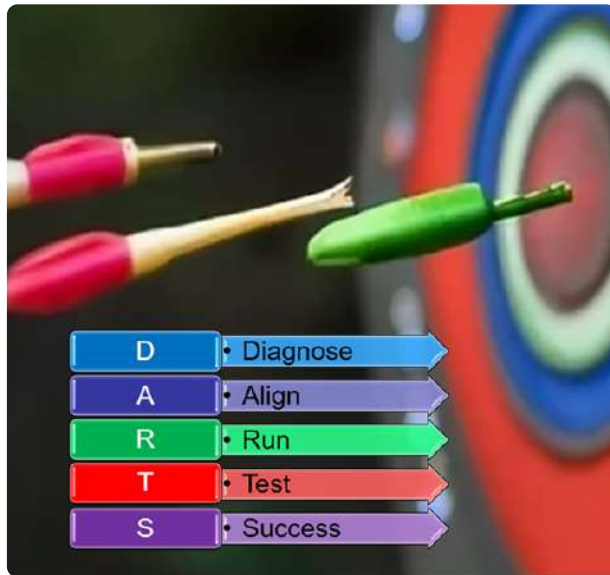
La elección de la “solución” incorrecta acarrea varios problemas:

- Se pierde credibilidad en procesos que pueden ser muy útiles si las condiciones fueran las adecuadas (es por eso que escuchamos a menudo “eso funciona en otro lado, acá no, somos diferentes”).
- Se gasta mucha energía y no necesariamente se obtienen los resultados esperados.
- Genera ansiedad en los clientes internos y frustración en el equipo ejecutante por lograr los resultados comprometidos.

Es así que de la investigación desarrollamos una metodología de implementación de proyectos de mejora que es aplicable a la Gestión del Mantenimiento, Confiabilidad y Gestión de Activos, a la cual denominamos metodología DARTS por sus siglas en inglés:

- D: Diagnosis – Diagnóstico de la situación
- A: Alignment – Alineamiento con el negocio
- R: Run – Realización del proyecto, que incluye la etapa de planificación y ejecución
- T: Test – Evaluación continua del avance, donde se incluyen las medidas de control de la ejecución
- S: Success – Éxito y Mejora Continua, donde se analizan las lecciones aprendidas y los siguientes pasos.

Esta metodología estructurada nos permite elaborar proyectos de mejora enfocados en las necesidades del negocio, y permite al equipo a cargo de la ejecución distribuir los recursos en actividades que generen impacto real a las organizaciones.



Modelo DART. Elaboración propia

CMRP, CAMA, Auditor ISO 55000, entre otras, demuestran que el profesional conoce de las buenas prácticas y ha podido sustentar sus conocimientos ante un ente certificador.

De estas certificaciones, la CAMA y la de Auditor ISO 55000 tienen una competencia particularmente útil, que es la de elaboración de procesos de auditoría, es decir, que sean capaces de armar un checklist de evaluación y de hacer las preguntas necesarias para poder realizar una evaluación objetiva.

Cuando el personal interno no tiene las competencias o experiencia para realizar el diagnóstico, es recomendable realizarlo con personal externo, en el caso de transnacionales o con varias plantas, la formación de un equipo de auditores que permita realizar las auditorías cruzadas ayuda en la objetividad del proceso y en generar benchmarking entre las unidades.

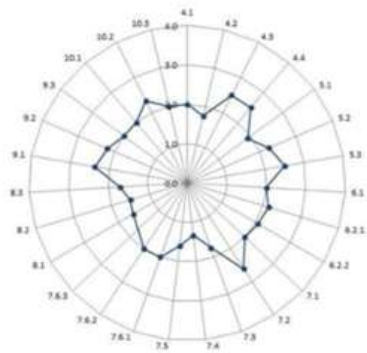
El siguiente caso si no se puede formar el equipo interno es realizarlo con un consultor que puede ayudar en la generación del cuestionario, evaluación y soporte en el plan de trabajo luego de los hallazgos.



Como bibliografía para el diseño de una auditoría les podría recomendar el libro “Auditoría del Mantenimiento e Indicadores de Gestión” de Francisco González Fernández, la metodología utilizada en este libro es bastante práctica y nos puede dar una buena idea del estado actual de la Gestión del Mantenimiento, cuantificado y separado por segmentos.

Otra herramienta muy completa que podemos utilizar es la Self Assessment Methodology + o SAM+ elaborada por The Institute of Asset Management – IAM, esta plantilla nos permite realizar una evaluación alineada a la PAS 55:2008, a la ISO 55001:2014 o a los 39 elementos del Asset Management Landscape. Los resultados, dependiendo del cuestionario utilizado, nos dan una idea del nivel de madurez de la organización.

Portada del Libro Auditoría del Mantenimiento en Indicadores de Gestión, Francisco González Izquierdo



Self Assesment Methodology + Sam +

Es importante como un tema estratégico, para ver evolución en la gestión, que definamos el cuestionario de auditoría con el que queremos trabajar y lo mantengamos durante cierto tiempo. En caso decidamos variarlo, lo ideal es que veamos correspondencia de puntuaciones para que los esfuerzos puedan ser evidenciados. Hace un tiempo mientras hacíamos una reunión preliminar con una empresa, como parte de los documentos de evaluación del servicio nos mostraron los resultados de tres auditorías realizadas en tres años consecutivos, la primera mostraba un cumplimiento del 80%, la segunda uno del 90% y la tercera uno del 95%, lo cual no hacía sentido con los resultados del negocio que teníamos ni lo que habíamos podido evidenciar en las reuniones con el equipo que gestionaba. Lo que descubrimos luego de ahondar en cómo se habían hecho las evaluaciones es que habían sido hechas por personas con competencias muy diferentes y los cuestionarios habían sido variados en el tiempo, por lo que el supuesto avance no era tal e invalidaba las últimas auditorías.

Muchas veces nos enfocamos en la puntuación de la auditoría y como esta se encuentra dentro de nuestros objetivos de evaluación de desempeño (que a menudo están relacionados con alguna bonificación o aumento), tendemos a perder objetividad y algo que está en camino lo colocamos como completo o algo que sabemos que no hacemos, tratamos de demostrarle al auditor que si lo tenemos pero de otra forma. Es así que la experiencia del auditor en hacer las preguntas adecuadas y la sinceridad del auditado en responder con lo que tiene, es fundamental para un buen diagnóstico.

Si vamos al punto de cómo debería influir el resultado de las auditorías en la evaluación de desempeño del auditado, probablemente lo que tenga que definirse son avances sobre la auditoría anterior más que un número absoluto, para influenciar los planes de desarrollo en la mejora de los puntos débiles, más que el puntaje total.

Lo más importante dentro del diagnóstico no es el puntaje obtenido, si no la identificación de los puntos fuertes en el sistema de gestión y de los puntos que tienen oportunidades de mejora. A continuación, vamos a describir casuística recopilada de los diagnósticos:

Caso 1:

En el diagnóstico encontramos que la ejecución de las tareas de mantenimiento tiene muchas oportunidades, los técnicos no realizan bien las tareas, si el supervisor no está cerca las hacen incompletas, no llenan los reportes y formatos de manera adecuada. En casos como este, no vamos a ganar mucho con iniciativas como implementar un programa de mantenimiento basado en la condición, primero tenemos que trabajar en encontrar por qué el equipo de mantenimiento no puede ejecutar las tareas de la manera correcta, en este caso se exploraran temas de:

- Perfiles profesionales
- Selección de personal
- Cultura del área
- Procedimientos de trabajo



Potenciales causas de la mala ejecución. Elaboración propia

Las soluciones están más por el lado del liderazgo y la gestión de personas que por el lado técnico.

Caso 2:

Desde mi punto de vista los primeros procesos a evaluar y que deben de funcionar de manera correcta para poder soportar cualquier otra mejora son los procesos de Planificación, Programación, Supervisión y Ejecución.

Estos cuatro procesos componen el ciclo de gestión de las tareas, sobre el que se soportan todas las otras metodologías de mejora.

Planificación se encarga de definir qué se tiene que hacer y qué recursos se requieren, traduce los requerimientos en paquetes de trabajo ejecutables maximizando la productividad del equipo de trabajo.

Programación se centra en definir las prioridades de los trabajos, manejando el backlog de manera que no se quede ningún trabajo importante sin realizar y alertando si se tiene una carga de trabajo que sobrepase los recursos disponibles

Supervisión es el proceso que se centra en que las cosas sucedan en el campo, definiendo las prioridades del día a día, retroalimentando el proceso de planificación y programación, a la par que dando soporte a los ejecutores.

La ejecución, si todo lo anterior funciona como es debido, se centra en la actitud y aptitud de los técnicos, y que tiene que ver con el liderazgo y estilo de trabajo de la organización, conceptos del trabajo correcto en el tiempo correcto o trabajo bien ejecutado a la primera son fundamentales en este proceso.

Para poder tener estos procesos sólidos y funcionando, lo primero que se requiere es tener formalizado cual es el proceso y sobre esto definir y comunicar roles y responsabilidades. El trabajo en formatería, procedimientos y métodos de control es clave en esta etapa. El soporte informático alivia la comunicación y los registros manuales, pero no perdamos de vista que es una herramienta más no la solución, la solución empieza porque todos entendamos el proceso.

Si en nuestra evaluación los cuatro procesos básicos (Planificación, Programación, Supervisión y Ejecución) están en un nivel aceptable o encaminados, el siguiente paso es revisar los indicadores de desempeño, enfocándonos en cuatro básicos: costo de mantenimiento, cumplimiento del mantenimiento preventivo (MP), tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio para reparar (MTTR). El ver estos cuatro indicadores en tendencia y abiertos por líneas, máquinas o hasta ítems mantenibles, nos va a dar una idea de cómo van los resultados de lo que estamos operando al momento.

Cumplamos con los Básicos para Mejorar



Revisar primero los básicos. Elaboración Propia

Caso 3:

El escenario típico es un MTBF bajo, cumplimiento del MP bajo y costos altos, lo que puede significar un área de mantenimiento en crisis. Las mejoras ante esos escenarios donde no puedo hacer mis mantenimientos preventivos porque vivo en estado de emergencia normalmente involucran proyectos de “Eliminación de Defectos” donde trabajamos en encontrar a los malos actores y vamos eliminando las causas raíz de una manera sistemática. Como referencia, podemos leer el libro “Don’t just fix it, Impove it!” de Winston P.Ledet que nos ilustra sobre como implementar ese tipo de programas.

Normalmente la forma que utilizo para identificar por donde empezar es utilizando el Diagrama de Pareto, ya sea en base a gasto, tiempos perdidos o cantidad de fallas, dependiendo cual sea el mayor problema.



*El Análisis de Pareto nos ayuda a discriminar los problemas importantes.
Elaboración propia*

Una vez aislado el problema podemos empezar a buscar diversas alternativas de solución. El elaborar un Diagrama de Pareto requiere en principio data completa y relativamente poco esfuerzo, y permite direccionar nuestros esfuerzos de una manera más enfocada en lo que realmente nos está impactando.

Este tipo de proyectos nos permite aliviar la presión que tenemos de nuestro cliente interno y generar confianza en las decisiones que se toman desde el lado de mantenimiento, y usualmente no terminan siendo muy complejos.

Un consejo adicional, si el problema que les salió como primero es muy complejo, evalúen el siguiente, puede que ese sea más rápido de ejecutar y podemos generar ganancias tempranas, cuando estamos en situación de crisis, el estar hoy un poquito mejor que ayer es vital.

Caso 4:

Otro hallazgo puede ser que se tiene un cumplimiento del MP alto y se tiene un MTBF bajo, lo que es señal que el mantenimiento preventivo no está cumpliendo con su propósito. En este tipo de hallazgos nos hacen ir por dos caminos: el primero es verificar que las instrucciones y la ejecución haya sido la correcta, y luego verificar si las actividades de mantenimiento son las correctas en alcance y frecuencia, acá las herramientas como el AMEF son muy útiles para determinar cuales son los modos de falla que ocurrieron y qué podemos hacer para evitarlo.

Una tendencia cuando se tienen este tipo de resultados y no se genera mayor análisis es la de aumentar la frecuencia de los mantenimientos preventivos, muchas veces con actividades que no atacan los modos de falla existentes, con la esperanza de encontrar mediante una inspección los errores antes que sucedan.

Otro punto para analizar en este tipo de situaciones es cual es el tratamiento que se le da a los hallazgos de los mantenimientos preventivos. En muchas organizaciones, los mantenimientos preventivos se centran en limpieza e inspección, disparando órdenes de trabajo correctivas que si no son atendidas a tiempo se convierten en falla. En estas ocasiones también se debe de analizar si existen oportunidades de reforzar los alcances de mantenimientos preventivos a realizar cambios menores aprovechando que el equipo está detenido, para no tener que intervenirlo nuevamente. Por ejemplo, si en el preventivo encuentro una faja de transmisión que está con poco tiempo de vida y el cambio no genera mayor impacto en el tiempo de parada, es mejor realizar un cambio oportuno que volver a detener el equipo. Estas decisiones deben de ser realizadas por el supervisor y parte de sus competencias están en la evaluación del impacto en la confiabilidad y en las operaciones.

Caso 5:

Si al momento de analizar los resultados encontramos un cumplimiento del MP alto, un MTBF alto y los costos de mantenimiento alto, nos está indicando que si bien nuestros resultados de desempeño son buenos, está siendo a un costo muy alto, esto se puede deber a varios factores que se deben de revisar:

- Cual es la política de ejecución de los MPs, si es tercerizada, puede ser momento de evaluar un proyecto de internalización u optimizar los precios que se cobran
- Evaluar proyectos como PMO (Optimización del Mantenimiento Preventivo) o RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), de ambos, para sistemas que están funcionando, se recomienda realizar el PMO para buscar quedarnos con las tareas necesarias y aligerar el sistema de mantenimiento
- Evaluar los potenciales reemplazos, si es que me está costando mucho mantener operando un activo de manera confiable porque ya llegó a su tiempo de vida o su antigüedad hace que los repuestos sean demasiado costosos. He tenido ocasiones donde los repuestos de uso común han triplicado su valor porque debido a la antigüedad el proveedor tenía que fabricarlos específicamente para nosotros.

Este tipo de proyectos son bastante interesantes, porque se busca mejorar los indicadores financieros del mantenimiento sin impactar los indicadores de confiabilidad. Podemos decir que este es un escenario con un poco menos de presión que los anteriores, donde se está impactando la operación directamente, pero no deja de ser prioritario, porque los resultados financieros impactan en el resultado de la empresa.

Caso 6:

Hay casos en los cuales hemos encontrado a las empresas sin nada más que una estructura orientada a la reparación, estos casos en los cuales no se tiene mayor estructura orientada a la confiabilidad deben de tratarse de una manera sistémica y que depende mucho del soporte de la alta gerencia.

En los casos en los que no existe cultura de confiabilidad, el primero que debe estar convencido que las cosas tienen que cambiar es el CEO, el COO o el Gerente o Jefe de Planta. Es así que se debe de empezar un proyecto de transformación que empieza por ubicar a mantenimiento dentro de la organización, comprender su razón de ser y el papel que juegan las áreas involucradas (operaciones, proyectos, almacenes, compras, etc) en la confiabilidad y generar un esquema de gobernanza que encamine a la organización en esta travesía.

Este tipo de proyectos requieren de una planificación a mediano – largo plazo, con entregables concretos y compromisos entre todos los involucrados, lo que requiere de un liderazgo en confiabilidad que tenga las competencias adecuadas para gestionar el cambio.

Estos son sólo algunas de las posibles combinaciones de hallazgos que podemos encontrar en la etapa de diagnóstico, y es donde usualmente el pedido inicial de “necesitamos un software de mantenimiento” se convierte en un trabajo planificado con objetivos concretos y que genera cambios en los negocios.

En una de las empresas en las que trabajé, este diagnóstico y elaboración del plan estratégico nos hizo plantear un proyecto de internalización del mantenimiento desde un proceso tercerizado y que nos hizo aumentar la disponibilidad de las plantas arriba del 90% y con ahorros del 4 al 6% al año.

En otra empresa, el diagnóstico arrojaba un plan estratégico de implementación a dos años que tenía como eje la ejecución y cultura, mientras que en paralelo se manejaba el esquema técnico y de proveedores, pues en ese modelo de negocio la internalización completa estaba fuera de los objetivos estratégicos.

Es así como **el diagnóstico** nos dice por dónde están nuestras oportunidades, evitando las soluciones “copiar-pegar” que intentan imitar algo que funcionó en otro contexto, evaluando primero el nuestro para elegir la mejor herramienta. El segundo paso, el Alineamiento, nos permite enlazarlo con las necesidades del negocio y realizar la justificación hacia la Alta Gerencia que permita obtener los recursos necesarios para llevarlo a cabo.

En una siguiente oportunidad exploraremos la etapa de **alineamiento** como parte de la metodología DARTS y el concepto de mantenernos #siempremejorando.



MATERIALES	SEMINARIO DE TECHGNOSIS	CUBRE Y EXCEDE LOS SIGUIENTES ESTANDARES DE REFERENCIA	PUEDEN PRESENTARSE ESTOS EXAMENES DE CERTIFICACION ICML
RCT I 	RCT CAT I (Experto en Lubricación de Clase Mundial y Control de la Contaminación)	ISO 18436-4: 2014 CAT I y TICD-ED-1910/90	ICML: MLT I (Técnico en Lubricación de Maquinaria Nivel I) y MLA I (Analista de Lubricantes de Maquinaria Nivel I)
RCT I PLUS 	RCT CAT I (PLUS Experto en Lubricación de Clase Mundial y Control de la Contaminación)	TICD-ED-1910/90 PLUS	ICML: MLT II (Técnico en Lubricación de Maquinaria Nivel II)
RCT II 	RCT CAT II (Experto en Análisis de Aceite de Clase Mundial con la Metodología ABCDE®)	ISO 18436-4: 2014 CAT II y TICD-CF-1809/95	ICML MLA II (Analista de Lubricantes de Maquinaria Nivel II)
RCT III 	RCT CAT III (Experto en la Evaluación económica y financiera de los beneficios de la lubricación de Excelencia)	TICD-JB-0506/93	No hay una certificación equivalente ni en ISO, ni STLE ni en el ICML
RCT V 	RCT CAT V (Lubrication Master 55)	TICD-MT-3012/55	ICML MLE (Ingeniero en Lubricación de Maquinaria)

Corporativo en México:

comercial1@grupo-techgnosis.com

comercial2@grupo-techgnosis.com

joseparamo@grupo-techgnosis.com

joseparamo@techgnosis5.com

manuel Sanchez@grupo-techgnosis.com

joseluisperez@grupo-techgnosis.com

WhatsApp: +52 462 1398684 +52 477 2306910

Oficinas Europa:

jacriado@applittechgnosis.com WhatsApp: + 52 462 2171661 + 34 605 090019

Sitios Web:

www.grupo-techgnosis.com

www.ticd-certifications.com

www.applittechgnosis.com

www.preconlub.com

www.ticd.eu

Decálogo para fracasar en un ACR



Autor: Tibaldo Alfredo Díaz Molina

Consultor en Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad de Activos.

Desde hace poco más de 30 años cuando me involucre por primera vez en un análisis de causa raíz, cuando formaba parte de un equipo de analistas de mantenimiento predictivo, que en aquel entonces estábamos muy interesados en encontrar las causas de las fallas de los equipos (a los cuales monitoreábamos su condición), para mejorar la disponibilidad. Desde entonces me he interesado mucho en el tema, es una de mis pasiones que me ha llevado a leer libros, artículos y estudios al respecto, involucrándome en innumerables casos, pasando de ser un miembro del equipo de análisis a convertirme en facilitador de la metodología y en los últimos 18 años a capacitar en la aplicación de esta.

La experiencia como consultor y facilitador de esta metodología me han permitido detectar y aprender sobre las distintas barreras que algunas personas o equipos de análisis cometen al realizar un análisis de causa raíz. A continuación, se presenta un decálogo con algunas de las barreras más comunes que he observado en el pasado, durante el desarrollo o revisiones ACR (este decálogo no sigue ningún orden en particular):

1. Defina inadecuadamente el problema.

El camino directo al fracaso del ACR, se inicia con la definición incorrecta del problema, generalmente cuando usted no puede definir de manera simple el EVENTO EN-

FOQUE (pero con detalles específicos importantes), entonces usted no entiende el problema. El uso de frases muy cortas, sin detalles o peor aún ambiguas, a la hora de enunciar la definición, conduce a la investigación por un camino equivocado; por ello es importante profundizar en información como ¿Qué llamo nuestra atención al fallar?, ¿Qué dejo de proveer?, ¿Con qué frecuencia se presenta?, ¿Qué elementos o variables intervienen?, etc.

2. No recolecte información sobre el equipo.

Muchas veces creemos conocer a totalidad el equipo y su contexto operacional, descartando la opción de buscar dicha información relacionada con aspectos técnicos del equipo, diagramas de tuberías, instrumentación y detalle (P&ID), manual de mantenimiento y operación, protocolo operacional de la organización, metas actuales, registros del cumplimiento de mantenimiento, registros de fallas, informes de inspecciones, entre otros. Perdiendo así la oportunidad que todos los involucrados en el ACR tengan una mayor visualización sobre el equipo y su contexto operacional actual. En mas de una oportunidad he encontrado junto con los miembros del equipo, que al redactar un simple diagrama de Entrada-Proceso-Salida (EPS) se ha detectado ajustes incorrectos en las variables de entrada del proceso que contribuyeron al desencadenamiento de la falla. El disponer de la información antes

mencionada, además de ampliar el radio de visión de los miembros del equipo, ahorra tiempo durante las reuniones al momento de presentarse dudas o diferencias de opinión entre los investigadores de la falla. Finalmente, un análisis de causa raíz requiere datos precisos y completos, si la información disponible es limitada o inexacta, es probable que el análisis no llegue a las causas fundamentales. “Sin datos eres solo otra persona con una opinión” (William Edwards Deming).

3. No recolecte evidencia.

La falta de evidencia durante el análisis de la falla comúnmente lleva a avanzar en el análisis usando supuestos basados en opiniones y no sobre hechos. La evidencia es un elemento vital en un análisis de falla. Por ello, es importante recolectar la mayor evidencia posible de la falla, tales como evidencia física de los elementos o componentes involucrados, registros fotográficos del área de la falla, registros físicos o electrónicos de las variables monitoreadas antes de la falla, bitácoras de mantenimiento y operación, entrevistas al personal presente al momento de la falla, entre otros. Recuerde recabar información preguntando: cuando ocurrió, donde ocurrió, que componentes o elementos participaron, quien pudo aportar información del evento.

4. Conforme un equipo de investigación de la falla con personal experto.

La falta de experiencia en la realización de análisis de causa raíz o la falta de conocimientos específicos sobre el sistema o proceso en cuestión puede dificultar la identificación precisa de la causa raíz, así como en la toma de decisiones de las acciones a ejecutar. Otro aspecto importante es la capacitación en ACR de los miembros del equipo natural de trabajo (ENT), a menudo encuentro que las personas no han recibido capacitación en ACR, algunas solo tienen una noción básica de la metodología, porque lo han leído en algún documento o en el manual de procedimientos de la organización, que enumera los pasos, pero sin mayores detalles de lo que debe hacerse.

5. No siga la metodología en forma sistemática y disciplinada.

Otro problema frecuente es la tendencia a tomar atajos sin prestar atención a los pasos de la metodología, el creer que conocemos la causa raíz lleva a una persona a imponer una idea preconcebida de la causa y forzar al resto del equipo a seguir por esa línea de investigación, llegando a acciones que no solucionan el problema y solo generan una sensación temporal de éxito hasta que la falla se repite. A menudo me encuentro en esta situación donde los miembros del equipo mencionan que ya conocen las causas y ya saben cuales con las acciones a ejecutar, sugiriendo realizar un

análisis exprés para acortar el tiempo y dedicarse a sus ocupaciones, entonces les he preguntado lo siguiente “Si ya conocen las causas que originan el problema o falla ¿Cómo es que este se sigue repitiendo, a pesar de sus esfuerzo para evitarlo?”, la respuesta es sencilla “no han profundizado en el análisis hasta alcanzar la causa raíz”; seguramente están atacando los síntomas pero no la causa debido a un análisis superficial. Asegúrese de realizar un análisis siguiendo la metodología en forma ordenada, organizada, pero sobre todo disciplinada, hasta alcanzar las causas subyacentes.

6. No valide las hipótesis.

Es muy común observar en las sesiones de análisis la tendencia de querer avanzar afirmando las hipótesis con tan solo opiniones de lo que se piensa pudo haber pasado, la presencia del sesgo cognitivo, como suposiciones o prejuicios puede influir en la interpretación de los datos y conducir a conclusiones incorrectas sobre la causa directas, Intermedia o contribuyentes y la causa raíz. Es esencial mantener una mente abierta y objetiva durante el proceso de análisis.

Un HECHO (síntoma/modo de Falla), puede llegar a generar varias HIPÓTESIS, entonces como saber cuáles de las hipótesis son ciertas para continuar bajando esa rama del árbol lógico hasta las causas subyacentes que origen verdadero del problema. Para ello es preciso validar todas las opciones, a través de un instrumento de validación bien diseñado, que contemple técnicas (acuerdo con la naturaleza de las hipótesis) para refutar o confirmar esta, a través de medios tales como, entrevistas al personal involucrado, revisión de registros de datos, revisión de bitácoras, inspecciones en sitio, pruebas de laboratorio, entre otras.

Recuerde, una hipótesis es una suposición hecha a partir de unos datos, que sirven de base para iniciar una investigación o una argumentación, es un enunciado verificable, que una vez refutado o confirmado dejara de ser hipótesis para ser un enunciado verificado, es decir un HECHO.

7. Evite abordar factores humanos.

Los errores humanos o problemas de comunicación pueden ser difíciles de identificar y abordar en un análisis de causa raíz. La tendencia a atribuir problemas únicamente a fallas técnicas puede llevar a pasar por alto aspectos humanos cruciales para la identificación de soluciones.

Esta dificultad se hace mas fuerte cuando el facilitador o líder del equipo de trabajo que investiga la falla sea el responsable del área donde ocurrió esta (un gerente, un supervisor, o jefe de grupo), por lo tanto, existe una gran posibilidad de que no investigue las circunstancias que revelen acciones incorrectas u omisiones y por lo general, se centrarán en otras posibilidades que no están asociadas con el error humano.

Tampoco se trata de iniciar una “cacería de brujas,” la investigación parte de la premisa de la “No Intencionalidad” por parte de las personas, entonces no persigue culpar a las personas, si no identificar la acción o la decisión que involucro la desviación del estándar aceptado, generando una salida no deseada.

8. Presione a los miembros del equipo, para encontrar soluciones rápidas.

La urgencia por resolver un problema a menudo puede llevar a un análisis apresurado. Es importante tomarse el tiempo necesario para realizar un análisis exhaustivo y preciso.

Es común ver que las organizaciones establecen en su proceso de ACR tiempo cortos de análisis, indiferentemente la complejidad del problema, causando que los participantes tiendan a buscar atajos centrándose en análisis superficiales, para llegar a acciones rápidas (que generalmente no son la solución) en lugar de profundizar en problemas más fundamentales que contribuyan a detectar las causas latentes, es decir la verdadera causa raíz.

9. No consiga el compromiso de la alta dirección.

La falta de apoyo, creencia y compromiso de la alta dirección puede:

- Obstaculizar el desarrollo del propio análisis por falta de motivación a la participación de los diferentes departamentos para integrar un equipo multidisciplinarios que lleve acabo la investigación, también podría no contarse con los recursos necesarios para realizar inspecciones y pruebas de laboratorio, disponer de salas de juntas, información, entre otros.
- Dificultar la implementación de soluciones efectivas derivadas del análisis de causa raíz, al no asignar lo recursos necesarios. Si no se toman medidas y se ejecutan las acciones necesarias, los problemas pueden persistir.

10. No realice seguimiento:

A veces, los equipos identifican la causa raíz, pero no implementan soluciones efectivas o no realizan un seguimiento adecuado para asegurarse de que el problema no vuelva a ocurrir. La falta de acción después del análisis puede llevar al fracaso. Solo la implementación acertada de las soluciones puede permitir que una acción reactiva como es el Análisis de Causa Raíz se convierta en soluciones proactivas.

11. Conclusión.

Finalmente, podemos concluir que, para mejorar la efectividad de los Análisis de Causa Raíz, es crucial abordar estas posibles barreras y adoptar un enfoque sistemático, cola-

borativo y disciplinado en la identificación de las verdaderas causas subyacentes de los problemas. Para lograr esto, debe entender que es fundamental capacitar al personal en todos los niveles de la organización, desde la gerencia, departamentos de ingeniería, superiores y técnicos, así mismo se identificary formar líderes que promuevan este proceso e impulsen su aplicación, siendo también importante formalizar protocolos o procedimientos que aseguren la aplicación sistemática y consistente del ACR.

12. Glosario de términos

A continuación, se lista un glosario de términos relevantes empleados en este documento:

- **Análisis Causa Raíz (ACR):** Metodología empleada para analizar e identificar las causas que provocan los eventos no deseados, contribuyendo a determinar medidas preventivas que minimicen sus consecuencias, disminuyan la probabilidad de ocurrencia o en el mejor de los casos, que el evento estudiado no se produzca de nuevo.
- **Causa de Falla:** La circunstancia durante el diseño, la manufactura o el uso que conlleva a una falla. Fuente: STD ISO14224.
- **Causa Raíz:** También conocida como causa latente, es el nivel más bajo del Análisis, donde se identifican aquellos factores que contribuyeron directamente con el problema, típicamente están representada en las carencias o deficiencias de la organización, que, de no ser corregidas, el evento no deseado continuara ocurriendo.
- **Consecuencia de la Falla:** Es lo que experimenta el dueño de un activo como resultado de la ocurrencia de un modo de falla, manifestado en el impacto a la Seguridad, la Salud, el Ambiente, la pérdida de Producción, y/o los altos costos de Mantenimiento.
- **Contexto Operacional:** Es la descripción de las circunstancias específicas en las cuales opera un activo físico o sistema, está escrito en una forma narrativa que incluye la descripción exacta del activo y provee la información necesaria y con suficiente detalle sobre los factores (el entorno, la tecnología, estándares, la operación, etc.) que contribuyen e influyen en el proceso general.
- **Equipo Natural de Trabajo (ENT):** Conformado por un conjunto de personas de diferentes departamentos, con variadas disciplinas y funciones, buscando sinergia para lograr un objetivo en común y producir un mejor e integral resultado para la organización.
- **Error Humano:** También conocida como causa intermedia, es la iteración inadecua de las personas

durante su participan directa o indirecta en una actividad o proceso, que contribuye con la aparición de la falla; a veces se puede atribuir a malas prácticas de las personas involucradas.

- **Evento Enfoque:** Es el último elemento en la secuencia de la línea – tiempo. Representa al evento no deseado, que justifica económicamente el análisis y las acciones para eliminarlo.
- **Falla:** Es la terminación de la habilidad de un sistema/equipo/parte para realizar una función requerida. Fuente: STD ISO14224.
- **Hechos:** Son los modos en que se presenta la falla; es lo visible que aparece luego de la falla funcional.
- **Hipótesis:** Es una suposición hecha a partir de unos datos, que sirve de base para iniciar una investigación o una argumentación. Una hipótesis es un enunciado no verificado, que una vez confirmado o refutado dejará de ser hipótesis y se convertirá en hecho o no.
- **Modo de Falla:** Un evento único, que causa una falla funcional. Fuente SAE: STD JA1011. Es el modo observado de la falla. Fuente: STD ISO14224.

13. Referencias Bibliográficas

- (1) BS EN 62740:2015. ROOT CAUSE ANALYSIS (RCA). Publicada bajo la autoridad de la Comité de Política y Estrategia de Normas el 30 de abril de 2015.
- (2) ROBERT J. LATINO, SR.VP, RELIABILITY CENTER, INC. Calidad del Proceso y el Análisis de Causa Raíz Parte 1, 2 y 3. Reliability Center, Inc. N° pag. 7.2001.
- (3) WOODHOUSE PARTNERSHIP LTD. Análisis Causa - Raíz. Curso. CIED. Tamare.1998
- (4) ING. LUIS A. SOJO, El Proceso de Análisis Causa Raíz – PROACT www.reliability.com.
- (5) ENGINEERING RELIABILITY AND MANAGEMENT - ER & M. Técnicas de Análisis de Falla Centradas en Confiabilidad, con Énfasis en Causa Raíz. Curso. 2005.
- (6) BJØRN ANDERSEN, TOM FAGERHAUG. Root Cause Analysis: simplified tools and techniques. Second Edition. Published 2006
- (7) ING. DEREK M. MATAMOROS. Factores que afectan la efectividad del RCA.



Sobre el autor:

Tibaldo Díaz, Directo y fundador de TD Consulting, ha estado involucrado por muchos años en diagnósticos de fallas crónicas & esporádicas, ayudando a todo tipo de industrias a adoptar el proceso de Análisis Causa Raíz, es un consultor y capacitador con más de 30 años de experiencia y conocimiento profesional en el desarrollo de modelos de operación y gestión de mantenimiento de activos, orientados a la implementación y optimización de estrategias de manutención, a través de metodologías de confiabilidad, cuyo objetivo está dirigido a maximizar la disponibilidad de los activos físicos, garantizando la calidad, la seguridad, la rentabilidad y la sustentabilidad del negocio.

El presupuesto de Mantenimiento

Si un gerente de mantenimiento elabora una previsión financiera, simplemente tomando el presupuesto del año anterior y añadiendo un poco aquí y allá, estará eludiendo su deber.

 **Autor:** José Contreras Márquez

Global certified instructor en ASME (The American Society of Mechanical Engineers) Director de mantenimientoeeficiente.com

¿Qué es un presupuesto?

Un presupuesto es una declaración de planes monetarios que se prepara con antelación a un período próximo, normalmente un año. Incluye los gastos planificados y el costo total en el que se está autorizado a incurrir. Un presupuesto es un plan para actividades futuras. Puede expresarse de varias maneras, pero normalmente describe toda una empresa o parte de ella en términos financieros.

El uso de presupuestos es vital para la planificación y control, ayudando a coordinar acciones de diferentes gerentes y departamentos al tiempo que garantizan el compromiso para lograr resultados. Al proporcionar puntos de referencia con respecto a los cuales se monitorean las actividades reales, los presupuestos son una forma confiable de analizar el desempeño real.

¿Por qué presupuesto?

Los presupuestos ayudan a un individuo, departamento y organización a lograr los objetivos planificados. También ayudan a ilustrar las responsabilidades financieras de la organización o departamento para el cual se ha hecho el presupuesto.

La elaboración de presupuestos crea un marco dentro del cual pueden trabajar individuos, departamentos y organizaciones enteras, motivando a las personas a mirar y planificar con anticipación utilizando una agenda estandarizada que puede mejorar la comunicación efectiva de sus objetivos.



Objetivos principales de la presupuestación en Mantenimiento

Elaborar un presupuesto de mantenimiento tiene seis objetivos principales:

- 1. Planificación:** Ayudar a la planificación para que se adhiera de manera sistemática y lógica a la estrategia del departamento a largo plazo.
- 2. Coordinación:** Ayudar a coordinar las actividades de las distintas áreas del departamento y garantizar que sean coherentes.
- 3. Comunicación:** Comunicar más fácilmente los objetivos, oportunidades y planes del departamento a los distintos responsables del equipo empresarial.
- 4. Motivación:** Proporcionar motivación a los miembros del departamento para que intenten alcanzar los objetivos departamentales.
- 5. Control:** Ayudar a controlar las actividades midiendo el progreso con respecto al plan original, ajustando cuando sea necesario.
- 6. Evaluación:** Proporcionar un marco para evaluar el desempeño de los responsables en el cumplimiento de objetivos individuales y departamentales.

El proceso presupuestario

El proceso de elaboración del presupuesto comprende la preparación, redacción y supervisión, las cuales se describen brevemente.

Preparación: prepárese para hacer el presupuesto

La preparación del presupuesto comienza con su planificación. Asegúrese de que el presupuesto:

- Se adapte y funcione para su departamento.
- No sea el de otra persona o departamento.
- Sea basado en procedimientos estandarizados.
- Se ajuste al plan estratégico de su organización.

Redacción: escriba un presupuesto

Al momento de plasmar su presupuesto debe considerar los siguientes aspectos:

- Adapte su presupuesto a aquellos aspectos que desee monitorear.
- Revise si hay una tendencia en la precisión de los presupuestos anteriores.
- Recopile información sobre lo que su departamento quiere lograr.
- Especifique los tipos, montos, tiempos y comportamiento de los costos.
- Proporcione cifras válidas y sepa cómo justificar su presupuesto.

Supervisión: seguimiento del presupuesto

Una vez iniciado el período para el cual se preparó el presupuesto, compare lo que realmente sucedió con lo presupuestado. Debe seguir las siguientes recomendaciones:

- Investigue las razones por las que hay discrepancias.
- Implemente medidas correctivas.
- Evalúe cómo mejorar el próximo presupuesto.

Presupuestar correctamente

Hay dos formas básicas para desarrollar un presupuesto:

Partiendo de un monto predeterminado.

Esta forma es considerada como incorrecta porque los resultados están supeditados al dinero disponible. Se podría expresar de la siguiente manera:

- Esto es lo que tengo
- Esto es lo que haré con eso.
- Entonces esto es lo que puedes tener.

Partiendo los objetivos que se desea alcanzar.

En este caso los objetivos están claramente definidos y el presupuesto expresa en términos monetarios los recursos necesarios para alcanzarlos. Se considera la forma correcta de presupuestar y se expresa de la siguiente manera:

- Esto es lo que necesito lograr
- Así es como lo voy a hacer
- Estos son los recursos que necesitaré

Seguimiento de las variaciones - Análisis de discrepancias

Siempre habrá discrepancias entre su presupuesto y los resultados reales, razón por la cual es muy importante comprender por qué existen esas discrepancias, que se revelan al evaluar las desviaciones de los resultados reales con los presupuestados.

La razón fundamental para analizar las causas de las discrepancias, es la reducción de las posibilidades de que vuelvan a ocurrir y anticiparse a las desviaciones futuras de manera más efectiva. Las causas son los errores presupuestarios y las variaciones inesperadas.

Los errores presupuestarios se cometen básicamente por mala preparación del presupuesto original y por investigación insuficiente de los montos presupuestados. Por eso es vital que comprendas en qué te equivocaste para no volver a cometer los mismos errores.

En cuanto a las variaciones inesperadas, hay que tratar de mitigar el riesgo de que vuelvan a ocurrir, pero también existen casos en los que no se podrían haber previsto o evitado. Aunque estas variaciones son inesperadas, es posible que haya algo que se pueda hacer al respecto y formas de aprender de sus consecuencias.

Las variaciones inesperadas son las variaciones de planificación y las variaciones operativas. Las variaciones de planificación son generadas por un cambio en el presupuesto debido a un cambio de los costos por situaciones externas, por ejemplo: Inflación, escasez, etc. El presupuesto debe ser actualizado para el período actual. Las variaciones operativas se presentan cuando se compara un presupuesto inicial con el desempeño real en el período actual. Muestran cómo es el desempeño actual del departamento, con respecto a lo planificado originalmente.

Responsabilidad del Gerente de Mantenimiento en la elaboración de su presupuesto

El gerente de mantenimiento debe abordar esta tarea con entusiasmo y confianza, pero el principal requisito que debe cumplir es que comprenda claramente los objetivos y expectativas de la empresa. Los objetivos deben ser revisados periódicamente para estar alertas sobre cualquier cambio en lo que quiere la empresa, y al mismo tiempo debe evaluar cuidadosamente los gastos reales del año pasado al preparar el nuevo presupuesto, investigando a fondo las variaciones importantes entre el presupuesto anterior y los gastos reales.

El presupuesto requerido debe regirse por las necesidades totales de mantenimiento (la demanda de mantenimiento), es decir, el presupuesto no debería quedar determinado por las limitaciones relacionadas con la disponibilidad de fondos, por lo tanto, el

gerente debe buscar la aprobación del nivel requerido de financiamiento para abordar las necesidades de mantenimiento identificadas.

Un presupuesto de mantenimiento debe basarse en:

- La demanda de mantenimiento.
- Requerimientos para apoyar los esfuerzos para cumplir los requisitos medioambientales.
- Necesidad de asignar fondos para reemplazar componentes al final de su vida útil.
- Actualización tecnológica que reduzcan el consumo de energía y agua.
- Actividades que tengan el potencial de reducir las necesidades de mantenimiento a largo plazo.

Preparación de un presupuesto anual de Mantenimiento

Al formular un presupuesto de mantenimiento es necesario diferenciar entre gastos de mantenimiento y gastos de capital. Los gastos de mantenimiento que son parte de los costos operacionales (OPEX) y que afectan el costo de producción, son destinados al trabajo de mantenimiento rutinario. Por otro lado, están los gastos de mantenimiento que son parte de los gastos de capital (CAPEX) y que impactan el valor de los activos. Estos últimos son destinados al trabajo identificado que se extiende más allá de restaurar un activo a su condición, capacidad o función original. En este caso, el gasto puede clasificarse más apropiadamente como una "Inversión", es decir, aumenta el valor del activo en el que se hace el gasto.

Otro aspecto de importancia fundamental en la preparación del presupuesto anual de mantenimiento, es dar la debida consideración a los planes de gestión de los activos, incluyendo los siguientes puntos:

- Activos existentes que se seguirán manteniendo.
- Nuevos activos que requerirán mantenimiento.
- Activos existentes que se deben actualizar o renovar.
- Activos existentes identificados para su inclusión en programas e iniciativas especiales de mantenimiento.
- Activos excedentes existentes programados para su retirada.

La base de un presupuesto de mantenimiento considera la estrategia de mantenimiento, la demanda anual por tipo de mantenimiento, los requerimientos para apoyar los esfuerzos en el cumplimiento de los requisitos medioambientales, la necesidad de asignar fondos para reemplazar componentes al final de su vida útil, actualización tecnológica que reduzcan el consumo de energía y agua, actividades que tengan el potencial de reducir las necesidades de mantenimiento a largo plazo.

Una de las consideraciones claves en las decisiones sobre el presupuesto de mantenimiento es identificar y llevar a cabo acciones para reducir el mantenimiento atrasado/diferido. Entre otras acciones, la reducción del trabajo atrasado/mantenimiento diferido puede verse facilitada por lo siguiente:

- Conseguir financiación especial durante el proceso del presupuesto de mantenimiento anual.
- Reasignación de fondos de fuentes de financiación internas.
- Identificar importantes reemplazos futuros de equipos que puedan afectar las decisiones de mantenimiento.

Ejecución de un presupuesto de Mantenimiento

Finalmente, vamos a indicar de forma muy resumida las acciones que deberían llevarse a cabo al momento que el presupuesto está siendo ejecutado, esto incluye lo siguiente:

- Seguimiento e informes periódicos, incluido el análisis de las variaciones entre el presupuesto y el gasto real.
- Seguimiento de los presupuestos de los proveedores de servicios de mantenimiento.
- Establecer responsabilidades y requisitos de desempeño.
- Monitorear el desempeño frente a puntos de referencia y requisitos de políticas.
- Gestionar variaciones y contingencias y monitorear los efectos del mantenimiento diferido cuando sea necesario.
- Integrar al presupuesto fondos adicionales para nuevas prioridades (por ejemplo, la reducción del trabajo atrasado/mantenimiento diferido).

Conclusiones

El presupuesto de mantenimiento es:

- El punto final del proceso de planificación táctica del departamento.
- Una declaración de los objetivos y planes del departamento en términos monetarios.
- Un documento de referencia con respecto al cual se mide el desempeño real.

Es necesario:

- Monitorear los resultados del mantenimiento (gastos reales).
- Compararlos con lo esperado (control de costos).
- Identificar posibles desviaciones y redirigir los esfuerzos según sea necesario.



Mantenimiento predictivo en la nube

Redacte, organice y comparta informes de mantenimiento predictivo de una manera muy sencilla, en cualquier momento y desde cualquier lugar.



Pruébalo gratis en power-mi.com

Power-MI es la primera plataforma abierta para la gestión del mantenimiento predictivo. Nuestro software en la nube permite la interacción entre analistas de predictivo y departamentos de mantenimiento.



¿El Mantenimiento Predictivo maximiza la vida útil de un rodamiento?

in Autor: José Luis Leal

Gerente Comercial RYASA, especialista en mantenimiento y el análisis de fallas en equipos rotativos

¿Sabías que anualmente se fabrican 10.000 millones de rodamientos en todo el mundo?

Este dato proviene de una revista técnica de una prestigiosa marca de rodamientos. Sin embargo, la misma fuente indica que aproximadamente el 0,5% de estos rodamientos fallan en uso, es decir, 50 millones de unidades presentan fallas prematuras y detenciones imprevistas en equipos rotativos cada año. Aunque este porcentaje puede considerarse bajo en perspectiva, sigue siendo significativo.

Por otra parte, la misma revista indica que un 9,5% de los rodamientos instalados son reemplazados por motivos preventivos, como parte de planes de mantenimiento programados. El restante 90% sigue su curso normal de funcionamiento, con una vida útil limitada que depende de los cuidados y el nivel de exigencia de su aplicación.



Figura 1: Cada año se fabrican 10.000 millones de rodamientos en el mundo

Al examinar estas estadísticas, surge la pregunta:

¿Qué constituye una vida útil aceptable para un rodamiento?

En este sentido, se deben tener en cuenta los cálculos de vida nominal, que consideran variables como cargas (dinámicas y estáticas), factores de ajustes de confiabilidad, impacto de la película lubricante, presencia de contaminantes y el tipo de elemento rodante en el cálculo (ver figura 2).

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

Figura 2: Fórmula de Vida nominal ISO



Sin embargo, la aplicación práctica de estas fórmulas a veces difiere significativamente de las estimaciones teóricas debido a factores como montajes inadecuados, que la ecuación no contempla.

En este contexto, la prioridad recae en evitar fallas en los rodamientos para prevenir detenciones inesperadas en equipos rotativos y posibles daños colaterales.

Las estrategias de mantenimiento debiesen buscar prolongar la vida útil de los equipos, y en el caso de los rodamientos, el enfoque ha evolucionado hacia el mantenimiento predictivo.

Y, ¿En qué consiste el Mantenimiento Predictivo?

El mantenimiento predictivo en rodamientos se basa en técnicas de monitoreo de condición que permiten detectar daños mientras los rodamientos están en funcionamiento. Estas técnicas, que incluyen espectros vibracionales, termografía y ultrasonido, posibilitan la planificación de detenciones oportunas para evitar el mantenimiento correctivo.

Sin embargo, es importante destacar que las estrategias basadas únicamente en el monitoreo de condición y no garantizan un aumento en la vida útil de los rodamientos. El control vibracional, termográfico o de ultrasonido es valioso para detectar fallas presentes, pero se requieren medidas adicionales para mejorar la longevidad de los rodamientos.



Para maximizar la vida útil de los rodamientos, se propone centrar la estrategia en diez pilares fundamentales:

- I.** Definir estándares de calidad de los rodamientos: Seleccionar marcas genuinas y evitar falsificaciones.
- II.** Selección técnica adecuada: Contar con personal calificado para la compra de rodamientos según especificaciones técnicas.
- III.** Transporte y almacenamiento: Aplicar protocolos para evitar corrosión y degradación de lubricantes durante el almacenamiento y transporte.
- IV.** Metrología aplicada: Asegurar ajustes y tolerancias adecuados en ejes o tapas.
- V.** Técnicas de montaje: Aplicar los diversos tipos de montajes de rodamientos de manera adecuada.
- VI.** Lubricación: Seleccionar correctamente lubricantes y calcular cantidades y frecuencias.
- VII.** Sellado: Implementar sistemas de sellado eficientes para prevenir la entrada de contaminantes y la fuga de lubricante.
- VIII.** Alineación de equipos: Utilizar la alineación láser de ejes para evitar reducciones en la vida útil debido a equipos mal alineados.
- IX.** Modificaciones operacionales: Monitorear y respetar factores como cargas, temperaturas y velocidad de rotación según el diseño.
- X.** Desmontaje bien aplicado: Realizar procedimientos de desmontaje con cuidado para no alterar el entorno del rodamiento.

Estos pilares impactan directamente en la vida útil de los rodamientos. Además, establecer protocolos definidos para la intervención de equipos rotativos, junto con la capacitación y experiencia del personal de mantenimiento, contribuirá significativamente a aumentar la expectativa de duración de los rodamientos.

Ahora, si buscas evitar que las fallas se repitan, es crucial realizar un correcto análisis de fallas, utilizando la norma ISO 15243.

Esta norma proporciona un enfoque objetivo para detectar los motivos reales que causaron la falla en los rodamientos, al ofrecer patrones de desgaste y modos de falla que, vinculados al contexto operacional, permiten encontrar causas lógicas corregibles.

En resumen, la combinación óptima para maximizar la vida útil de los rodamientos y activos incluye; Pilares Técnicos de Mantenimiento Aplicado, Mantenimiento Predictivo y Análisis de Fallas según ISO 15243.



Para aprender más sobre estos temas, te invito a suscribirte a mi newsletter a través de este enlace: <https://sendfox.com/lealmecanica> o código QR ¡Nos vemos allí!



El análisis de datos de mantenimiento es la clave para anticipar y prevenir fallos, optimizando así la eficiencia operativa y maximizando el rendimiento de los activos, lo que se traduce en un impacto directo y positivo en la rentabilidad y competitividad del negocio.



Pragma es tu aliado estratégico en la transformación de datos en información valiosa y en convertir esa información en mejoras de impacto directo en el mantenimiento, impulsando así la eficiencia y la calidad operativa de tu negocio.

Contáctanos hoy mismo

<https://pragmatool.com/servicio-de-analisis-de-datos/> | service@pragmatool.com



Construyendo la Confiabilidad: Entrevista con María Alejandra Martínez Delgado

Entrevista por Lisset Chávez

Háblanos un poco sobre tu experiencia y trayectoria en el sector industrial. ¿Cómo iniciaste en este campo y cuáles fueron tus principales motivaciones?

María Alejandra Martínez - Tuve la fortuna de nacer rodeada de máquinas, lo que conlleva a generar mucha curiosidad desde mi niñez por entender como funcionaban las cosas. Esto se debió a que mis padres están relacionados con la industria, mi mamá en el ámbito de seguridad y mi papá como ingeniero mecánico en el sector agroindustrial colombiano, algo que influyó directamente en la elección de mi profesión, hoy al estar ambos ya retirados puedo ver en ellos la satisfacción de una vida de servicio y en eso me quiero enfocar.

La industria es una fuente de desarrollo, innovación, crecimiento e impacto positivo en la calidad de la vida humana y la construcción de la sociedad, sin ella no tendríamos acceso a tantos elementos que son cotidianos como la energía, agua potable, transporte, alimentos, por solo nombrar algunos, que considero muchos, ni siquiera imaginan una vida sin ellos, por fortuna he tenido la oportunidad de trabajar con muchos de estos sectores industrial y quienes lo hacemos estamos en la responsabilidad de comunicar la relevancia que tienen.



Actualmente eres la gerente de IDC Ingeniería de Confiabilidad SAS, empresa que fundaste en el 2015, Cuéntanos sobre tus responsabilidades y logros en este cargo.

María Alejandra Martínez - La responsabilidad en IDC parte desde la concepción de la idea por allá en el 2014 hasta la evolución permanente en la que permanecemos al día de hoy. En definitiva el mayor logro ha Sido la construcción diaria de una cultura de ética y principios alrededor de lo que hacemos en IDC, lo que ha permitido conformar un equipo de trabajo alineado y enfocado a un propósito común. Emprender es un reto constante y debe estar alineado a un proyecto de vida

Definir en el tiempo una propuesta de valor clara y diferenciadora ha Sido fundamental para la sostenibilidad de IDC que ya lleva 9 años en el mercado, nuestro lema es la generación de valor y lo llevamos en cada tarea, nuestra principal función desde que iniciamos una conversación con un potencial cliente es la comprensión de su contexto organizacional, lo que permitirá que de una manera más natural alineemos nuestras soluciones a las expectativas de cada empresa, creando así un entorno de ganar-ganar.



En tu rol actual, has liderado proyectos en la implementación de estrategias de confiabilidad, monitoreo de condición y gestión de activos en Colombia y Centro América. ¿Podrías compartirnos algunos ejemplos de proyectos destacados y los resultados obtenidos?

María Alejandra Martínez - Definitivamente han Sido muchas experiencias gratificantes, casos de éxito y tropiezos que te llevan a un aprendizaje, en estos años he tenido la oportunidad de trabajar con más de 80 empresas del sector industrial en más de 10 países, donde hemos desarrollado evaluaciones diagnósticas de gestión, desplie-

gue e implementación de estrategias, asistencia en la puesta en marcha de proyectos de generación, implementaciones tecnológicas y análisis de fallos críticos, pero quiero nombrar 4 elementos claves en los que hemos tenido resultados que nos han llevado a un constante crecimiento:

1. Redefinir el rol de monitoreo de condición en la organización, visualizar el CBM como un soporte clave para la toma de decisiones ha Sido una de nuestras insignias, hemos impactado de manera positiva los presupuestos de mantenimiento, la gestión de inventarios y la disminución del riesgo.
2. Especialistas en análisis especiales en turbomáquinas, creando conciencia de lo importante que son este tipo de análisis durante las etapas de comisionamiento, puesta en marcha, control de calidad al mantenimiento y soporte a maniobras operativas.
3. Creación del centro de diagnóstico remoto.
4. Definición de estrategias corporativas, visualizando el mantenimiento como una única filosofía para las diferentes unidades de negocio de la organización.





También te has destacado en la implementación de proyectos de Industria 4.0 en maquinaria crítica. ¿Cómo has abordado estos proyectos y cuál ha sido su impacto en la eficiencia y confiabilidad de las operaciones?

María Alejandra Martínez - El primer aspecto relevante para que estos proyectos sean exitosos es que desde el inicio se entienda que la tecnología es una herramienta y que su valor será dado, cuando se integre en un ecosistema que logre generar información y la cultura de la organización este lista para aprovecharla y soportar sus decisiones en ella. No está demás recordar que según algunas fuentes, casi el 70% de las iniciativas de transformación digital en Latinoamérica no generan los resultados esperados.

Nuestro enfoque está en soportar la continuidad del negocio a partir del monitoreo del desempeño de los activos, para esto quiero retomar dos conceptos clave que se nombran en la pregunta, eficiencia y operaciones, nuestra visión está enfocada en la construcción de un ecosistema de información que integre variables de operación que están ligadas a la función eficiente en el proceso productivo, con las de condición que están asociadas al estado de los componentes del sistema, esta visión holística se orienta a la confiabilidad operacional impactando en al menos 4 áreas claves:

1. Identificación de ventanas operativas, viabilización de maniobras operativas que soporta objetivos comerciales de la organización.
2. Gestión de las estrategias, optimización del mantenimiento planeado y el inventario, anticipación de fallas y detección oportuna de desviaciones.
3. Toma de decisiones con menor incertidumbre, al tener un entorno que integra las componentes operacionales y de condición, se genera un mayor involucramiento desde todos los niveles de gestión.
4. Beneficios tributarios, en uno de nuestros proyectos logramos la deducción de renta de la inversión en monitoreo, al evidenciar como a través del monitoreo de activos se innovan en los procesos organizacionales, generando un impacto positivo.

cabe recalcar que lo anterior no solo es resultado de lo que hacemos con nuestra propuesta de valor, en gran medida depende de la cultura de transformación en la que este inmersa la empresa donde se desarrolle el proyecto y el involucramiento de la gerencia que logra una integración entre procesos claves como IT, instrumentación, mantenimiento, operaciones, logístico, entre otros, para que estos proyectos sean viabilizados.

Además, has desarrollado el plan de formación en 3 ejes principales, “Gestión del CBM (Condición Based Monitoring), ingeniería de confiabilidad y Gestión de Activos. ¿Qué enfoque has seguido en el desarrollo de estos programas y cuál ha sido su recepción en el sector industrial?

María Alejandra Martínez - El enfoque ha Sido hacia las personas, es decir, a que entendamos en primera instancia nuestro rol en la industria y así mismo el de la industria en la sociedad, esto ha permitido que veamos en esta formación un espacio para el desarrollo personal y profesional, que nos apoye en el acercamiento hacia el propósito de cada uno, pienso que cuando lo visualizamos de esta manera, vislumbramos lo que nos comparten con una mayor utilidad y un mayor compromiso de aprendizaje, que además soporten nuestras habilidades de liderazgo y autogestión.



Otro enfoque clave ha Sido la integración de la tecnología como una herramienta fundamental e imprescindible en el CBM, la confiabilidad y la gestión de activos, las nuevas tendencias y como estamos llamados a desarrollar nuevas habilidades que nos lleven a ser más productivos y competitivos, no solo para crecer profesionalmente, la realidad es que estas habilidades nos aportan en nuestra vida diaria.

Por último y no menos importante, cada día trabajo por alinear el plan de formación a una metodología del caso, lo que buscamos es promover la toma de decisiones basadas en las herramientas, técnicas y tecnologías existentes y emergentes, para esto compartimos casos reales y documentados, que nos lleven a escenarios que hacen cuestionarnos y debatir.

Lo anterior ha generado una muy buena recepción, por lo que los cursos, clases con universidades, conferencias y charlas, son hoy gran parte de mi labor.

Durante tu tiempo en IDC Ingeniería de Confiabilidad, has liderado proyectos de diferente naturaleza. ¿Podrías compartir alguna experiencia en específico que haya presentado desafíos interesantes y cómo los superaste?

María Alejandra Martínez - Acá quiero centrarme en el proyecto más retador que tengo todos los días y es el emprendimiento, ya que este reto va en todos los niveles, tanto técnico, empresarial, financiero, estratégico, emocional y no menos importante, personal.

Cuando decidí emprender en este campo tan específico tenía 24 años y aunque, tenía la posibilidad de contar una formación técnica bastante amplia para mi edad, ninguna te prepara para los retos de gestión, contratar personal, financiar proyectos, flujo de caja, manejo de inversiones y tantas otras, que se salen de los aspectos netamente técnicos y de ingeniería que tanto nos apasionan y nos motivan a emprender. Por estar y muchas otras razones un buen porcentaje de las empresas no logran superar los 5 años, en definitiva han Sido 3 factores claves que me han ayudado a enfrentar estos retos:

1. Tener un propósito claro y objetivos claramente definidos.
2. Aprendizaje continuo
3. Confianza en mi equipo de trabajo

También hay un elemento que siempre estará presente y será un desafío constante, el NO, estáticamente hablando, serán más las veces que

nos digan que no, aprender a gestionarlo y verlo como una oportunidad que te invita a la autoevaluación, te genera conocimiento más profundo de tu propuesta de valor, oportunidades de aprendizaje y fortalecimiento de tu propósito. A esto lo llamo la “Gestión del NO” y en mi experiencia, será clave para el manejo de las expectativas que ponemos sobre nosotros mismos.

Antes de fundar IDC Ingeniería de Confiabilidad, trabajaste en otras compañías, entre esas Ingenieros de Lubricación S.A.S. ¿Cómo influyó esa experiencia en tu enfoque actual hacia la confiabilidad y gestión de activos?

María Alejandra Martínez - En particular, esta fue una experiencia que me ayudó en la construcción de una visión holística de la Gestión De Activos, ya que la tribología cumple un rol fundamental en el desempeño eficiente de su función, es la que garantiza que los niveles de fricción entre los componentes en movimiento relativo mantengan valores eficaces, además de tener una relación directa con la confiabilidad, también lo hace con la sostenibilidad y el medio ambiente.

Esta experiencia, además generó lazos fuertes en el equipo del trabajo al que tuve la oportunidad de pertenecer, tanto así, que hoy somos aliados estratégicos y construimos en conjunto soluciones para la industria. En definitiva, cada una de las experiencias previas que tuve a la fundación de IDC aportaron un elemento clave a la comprensión integral que hoy he tengo alrededor de la gestión del mantenimiento, la confiabilidad y la Gestión De Activos.



A lo largo de tu carrera, has trabajado en diversos proyectos en distintos países de Latinoamérica. ¿Cómo manejas los desafíos culturales y logísticos en entornos tan diversos?

María Alejandra Martínez - Viajar por mi trabajo, tener la oportunidad de participar en proyectos en entornos tan diferentes, definitivamente ha sido uno de los elementos claves en mi curva de aprendizaje, ya que poder interactuar con tantos procesos productivos, te permite salirte de la caja y ver las cosas de una perspectiva más amplia.

Lo que más he podido evidenciar es que no importa el país o tipo de industria, todos tenemos una visión similar hacia la confiabilidad y estamos en la búsqueda constante de generación de valor, desde el punto de vista operacional y humano, es por eso que antes que verlo como un desafío, lo he visto como una gran oportunidad, por eso hemos buscado fomentar espacios que generen

cooperación entre diferentes rubros y culturas, logrando construir mesas de trabajo tan diversas, que incluyen sectores como el militar, oil & gas, agroindustria, tecnología, alimentos, entre otros, llegando al final a conclusiones comunes que ha permitido crear sinergias, compartir experiencias y ampliando el panorama en diferentes aspectos claves para la gestión de activos.

Respecto a la parte logística, ha sido un reto que nos motiva al aprendizaje continuo y complementar nuestras operaciones con el acompañamiento de profesionales expertos en este tema tan específico, es importante, ya que actualmente exportamos e importamos, tanto equipos como servicios, en múltiples países.

Fuera del ámbito profesional, ¿cuáles son tus pasatiempos o actividades favoritas que te ayudan a desconectarte y recargar energías?

María Alejandra Martínez - Mantener una vida balanceada ha sido clave, sin embargo, la realidad es que llegar a este punto me costó mucho, fueron años en los que era inevitable sentir culpa cuando se tenía un espacio para aspectos personales, pienso que este es un proceso por el que pasamos muchos, lo importante es tomar acciones conscientes y darte cuenta que más horas de trabajo no siempre significan mayor productividad y por el contrario, encontrar actividades que te ayuden a conectar contigo mismo, te enfocan. En mi caso compartir con mi familia, viajar, la lectura y el deporte, me han ayudado en un crecimiento integral.



Sabemos que lideras proyectos importantes, pero ¿podrías compartir con nosotros alguna anécdota divertida o curiosa que hayas experimentado durante tu carrera profesional?

María Alejandra Martínez - Quiero compartir una experiencia que me ayudó a entender algo que nombré anteriormente, la gestión del no. Cuando decidí emprender en el año 2015, inicié de cero, lo que tenía ahorrado de mis trabajos anteriores, lo invertí en los primeros equipos de la empresa y decidí hacer un viaje por Centroamérica de casi un mes visitando diferentes empresas del sector agro industrial. Todas estas visitas las coordiné con más de un mes de antelación, básicamente mis últimos recursos estaban enfocados en esta correría y lo que pudiera resultar, así que era un vencer morir en el intento. En el último país que visité, de un total de cuatro, renté un carro y recorrí casi casi 200 km, para llegar a mi reunión, sin embargo, después de una espera de más de dos horas me indicaron que no podían recibirme, estaba a más de 3.000 km de mi casa, ya con casi todos mis recursos agotados y me cuestioné si la decisión que estaba tomando era la correcta. Hoy nueve años después estoy segura que así lo fue y desde hace dos años por los resultados que hemos tenido en IDC, iniciamos a trabajar con la empresa que no pude visitar hace nueve.

Esta es una reflexión de lo importante de la perseverancia y el trabajo constante, la coherencia en las acciones diarias que nos acercan de manera consistente a nuestros objetivos.

Cómo la Automatización y el Internet de las Cosas (IoT) ha estado transformando las operaciones en las industrias, para un futuro sostenible.

 **Autor:** Elimar Anauro Rojas

Ingeniero Mecánico. Especialista en Confiabilidad, Integridad y Riesgo. Maestro Especialista en Procesos y en la Industria Petrolera. CEO de EARM Consulting



Como muchos de ustedes saben, las industrias de procesos, entre ellas las del petróleo y el gas, son conocidas por sus operaciones complejas y que requieren un uso intensivo de recursos, ha experimentado una transformación tecnológica constante, impulsada por la automatización y el Internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés), entre otras áreas. Estas innovaciones están remodelando el enfoque de la industria hacia la exploración, producción y refinación y, al mismo tiempo, abordan desafíos ambientales y operativos.

Este artículo explora brevemente cómo la automatización y el IoT están revolucionando las industrias en algunos aspectos de interés, haciéndola más eficiente, sostenible y competitiva en un panorama energético que cambia rápida y constantemente en el tiempo.

- **La unión entre la automatización y el internet de las cosas (IoT):** están intrínsecamente vinculadas en las industrias de procesos entre ellas la del petróleo y el gas. La automatización se refiere al uso de sistemas de control, como controladores lógicos programables (PLC) y sistemas de control distribuido (DCS), para operar equipos y procesos con una mínima intervención humana. Mientras que el IoT implica conectar dispositivos y sensores a Internet para recopilar datos y poder analizarlos para tomar decisiones soportadas e informadas. Al juntar la automatización y el IoT se crean una poderosa sinergia que está remodelando o transformando las industrias de procesos, entre ellos el sector del petróleo y el gas.
- **Exploración y perforación:** en la exploración y perforación de la industria del petróleo y gas, se implementan sensores habilitados para el IoT que permiten recopilar datos sobre las condiciones del subsuelo, la integridad del pozo y el rendimiento del equipo. Luego, estos datos en tiempo real se analizan para optimizar los parámetros de perforación y reducir el riesgo o mitigar accidentes costosos. Las tecnologías de automatización controlan los procesos de perforación con mayor precisión, mejorando la eficiencia y la seguridad.
- **Optimización de la producción:** las tecnologías de automatización e IoT son esenciales para maximizar la producción de un proceso en particular; así como, la producción de yacimientos de petróleo y gas. Por ejemplo, los sensores de IoT

colocados en pozos e instalaciones de producción monitorean continuamente variables como presión, temperatura y composición del fluido del yacimiento. En general, los sistemas de control automatizados ajustan las tasas de producción, como los equipos de boca de pozo para optimizar la recuperación y minimizar el impacto ambiental. Esto no sólo aumenta el rendimiento de la producción sino que también puede llegar a reducir u optimizar el consumo de energía y las emisiones.

- **Mantenimiento predictivo:** uno de los beneficios más importantes del IoT en las industrias de procesos y del petróleo y el gas es el mantenimiento predictivo. Los sensores conectados a equipos críticos, como por ejemplo, bombas, compresores y turbinas, recopilan constantemente datos sobre su rendimiento (presión, temperatura, vibración), en tiempo real; permitiendo recopilar datos y brindar información valiosa, que permita a los tomadores de decisiones optimizar los procesos operativos y la asignación de recursos.
- **Algoritmos de aprendizaje automático o Machine Learning:** los datos recopilados por los sensores de IoT son vastos y complejos y que asociados a los algoritmos de aprendizaje automático ofrecen una forma de analizar con precisión estos datos para identificar patrones y anomalías, que también pueden predecir problemas potenciales en los equipos basándose en datos históricos, contribuyendo así al **mantenimiento proactivo**.
- **Eficiencia de costos:** el mantenimiento predictivo (previamente tratado) y la reducción del tiempo de inactividad contribuyen al ahorro de costos al prevenir fallas o averías y por qué no lograr extender la vida útil de los equipos.
- **Toma de decisiones basada en datos:** Los análisis avanzados y los algoritmos de aprendizaje automático analizan estos datos para predecir cuándo es necesario el mantenimiento basado en el uso y el desgaste real, es decir, el **mantenimiento basado en condición**, en lugar de programas fijos o **mantenimiento rutinario**. Como resultado, las empresas e industrias de procesos pueden programar el mantenimiento de los equipos de forma proactiva, reduciendo u **optimizando el tiempo de inactividad**, la vida útil de los equipos y la eficiencia operativa de los procesos asociados.

- **Tecnologías de monitoreo:** Al combinar herramientas y servicios que pueden incluir la aplicación y resolución de problemas mediante sensores inalámbricos (IoT), soluciones de red y adaptables, software de vanguardia y acceso a bases de conocimientos y opiniones de expertos, las empresas y los especialistas de distintas áreas, entre ellas los de **confiabilidad y de mantenimiento**, pueden obtener beneficios como reducción del tiempo de inactividad y tiempo, monitoreo remoto de instalaciones enteras, por nombrar algunos aspectos de interés.

- **Beneficios ambientales y de seguridad:** la automatización y el IoT están mejorando la seguridad al reducir la necesidad de intervención manual en entornos peligrosos. Los sistemas de monitoreo y control remotos permiten a los operadores gestionar las operaciones desde ubicaciones más seguras, minimizando la exposición a los riesgos. Además, los sensores de IoT tienen la capacidad de detectar fugas, mal funcionamiento de los equipos e incluso violaciones de seguridad, lo que permite respuestas rápidas y puede prevenir accidentes.

Desde una perspectiva medioambiental, estas tecnologías ayudan a reducir las emisiones de carbono y los residuos. Así mismo, los procesos optimizados y las operaciones eficientes energéticamente conducen a un menor consumo de energía y una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Los sensores de IoT también ayudan a monitorear el cumplimiento ambiental, asegurando que las industrias operen de manera responsable y sustentable.

- **Desafíos y direcciones futuras:** si bien la automatización y el IoT ofrecen un inmenso potencial para las industrias de procesos, también presentan desafíos; por tanto, es necesario abordar las preocupaciones de seguridad relacionadas con los ciberataques a infraestructuras críticas y la privacidad de los datos. Además, integrar nuevas tecnologías en sistemas heredados puede resultar complejo y costoso. A medida que estas tecnologías continúan evolucionando, al abordar desafíos nuevos y complejos y adoptar tendencias futuras será crucial para maximizar el potencial de IoT y asegurar la confiabilidad y longevidad de los equipos críticos. Así mismo, las industrias seguirán invirtiendo en automatización y tecnologías de IoT para seguir siendo competitiva y sostenible.

La adopción de la **inteligencia artificial (IA)** y la cadena de bloques para la gestión y el comercio de datos puede transformar aún más las operaciones y las cadenas de suministro de las industrias. Además, a medida que el mundo avanza hacia fuentes de energía renovables, por ejemplo, la industria del petróleo y el gas explorará oportunidades para diversificar su cartera y aprovechar su experiencia en automatización e IoT para desarrollar soluciones sostenibles.

En **conclusión**, la automatización y el IoT han venido marcado el comienzo de una nueva era para las industrias de procesos, entre ellas las del petróleo y el gas, permitiéndole operar de manera más eficiente, segura y sostenible. Estas tecnologías no solo optimizan la producción y reducen los costos operativos, sino que también ayudan a la industria a enfrentar los desafíos ambientales y regulatorios. A medida que evoluciona el panorama energético, el compromiso de las industrias con la innovación a través de la automatización y el IoT será fundamental para dar forma a un mejor futuro.

Artículo para la Revista Predictiva²¹

Exención de Responsabilidad: Las recomendaciones, consejos, descripciones y métodos que en este documento se presentan son únicamente con fines informativos o educativos. El autor no asume ningún tipo de responsabilidad por cualquier pérdida o daño resultante de la utilización de cualquier parte del material presentado en este documento.

Disclaimer: *The recommendations, advice, descriptions, and methods in this document are presented solely for informative or educational purposes. The Author assumes no liability whatsoever for any loss or damage that results from the use of any of the material in this document.*

TRACTION

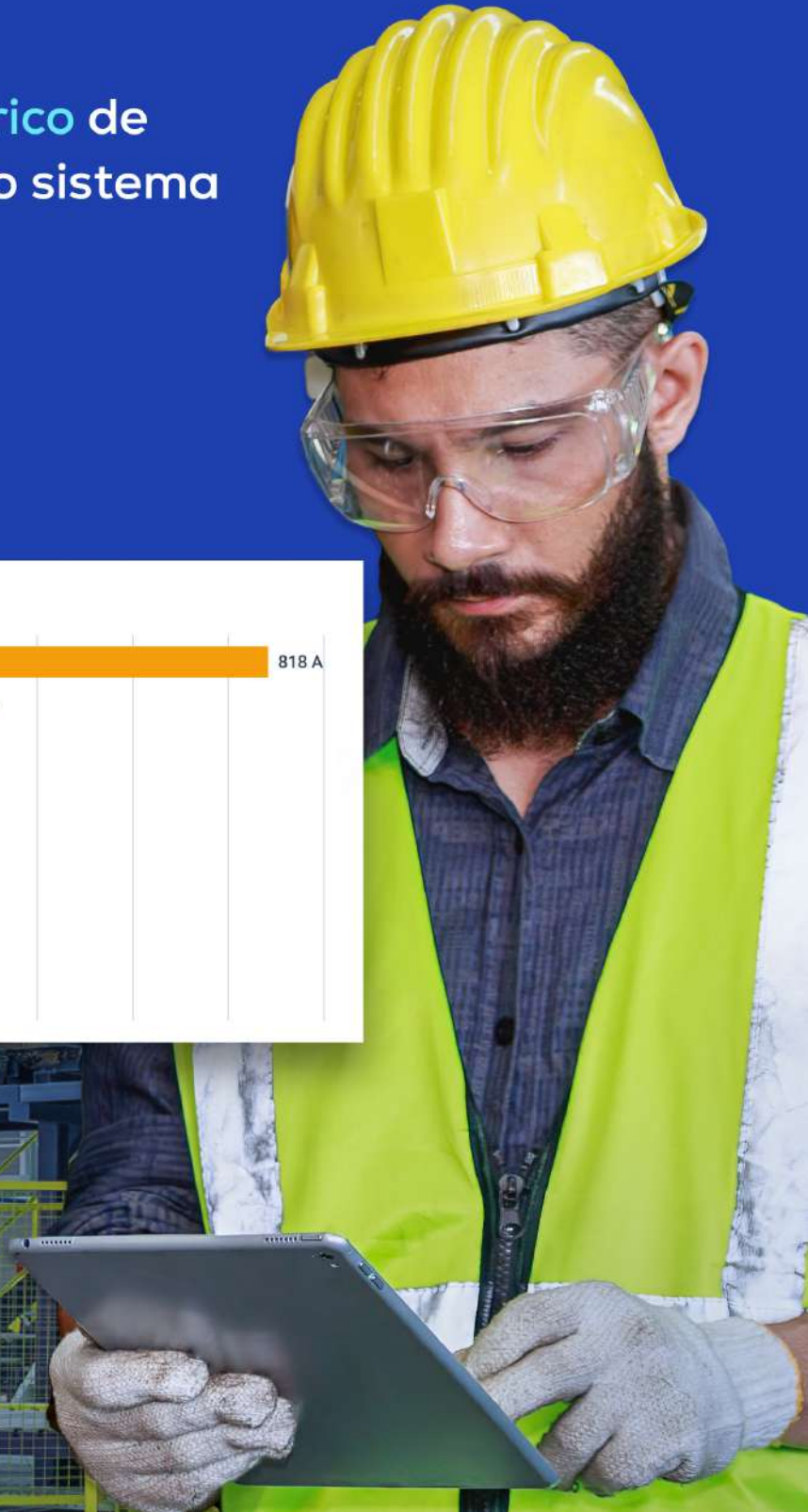
Diseña una estrategia para lograr eficiencia energética en tu planta.

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

Da el siguiente paso



Escanea y conoce más





Mantenimiento

Un listado de tareas o un proceso integral

 **Autor: Javier Carreño Medina**
Fundador & CEO de Effizienter Wandel

Hablemos de mantenimiento, mantenimiento típicamente lo consideramos como un listado de tareas, una lista de actividades que se tiene que hacer semanalmente o cuando hacemos un mantenimiento mayor.

Típicamente cuando hacemos un mantenimiento mayor es cuando dedicamos más tiempo a la planeación y programación del mantenimiento, se garantiza que se tengan las refacciones, al personal y todos los recursos necesarios para poder ejecutarlo de manera exitosa.

Pero en realidad mantenimiento no es solamente un listado de tareas o un listado de actividades, muchos grupos de Mantenimiento consideran que esto **“es hacer Mantenimiento”**; hacerlo de esta manera genera muchos desperdicios y hace que tengamos equipos de trabajo muy poco eficientes, donde no se logran realizar las actividades, las tareas se hacen de manera parcial y al final tenemos un impacto en la confiabilidad y eficiencia de la operación.

Pero no solo es el listado de tareas o actividades de Mantenimiento que generamos en nuestro día a día, aunado a eso es la falta de condiciones básicas de las maquinas, problemas de estandarización y falta de refacciones, problemas en los arranques de nuevos proyectos, la suma de todas las variables afecta de manera directa la eficiencia de las Operaciones, es por eso por lo que Mantenimiento es un proceso Integral.

Mantenimiento es un proceso Integral:

Mantenimiento parte desde la etapa de:

- Proyectos
- Instalación del activo
- Arranque
- Operación
- Ajustes
- Inspección y Cuidado diario de los activos
- Mantenimiento programado

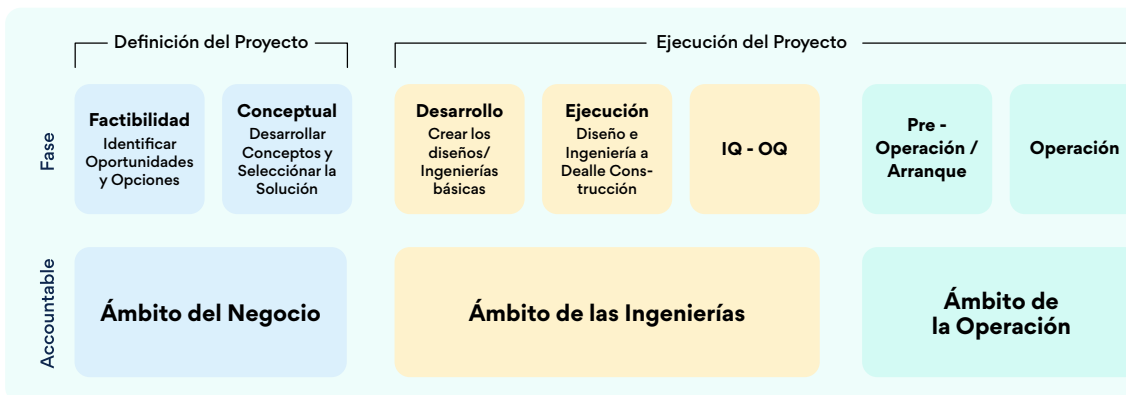
En realidad, Mantenimiento está presente desde la correcta selección de un equipo hasta las intervenciones planeadas para mantener los equipos en las condiciones óptimas, garantizando la eficiencia de la Operación.

El Mantenimiento es un proceso Integral y una responsabilidad compartida.



1. Proyectos – Involucración Temprana

Cuando hablamos de mantenimiento como un proceso integral, tenemos que dar varios pasos hacia atrás, es decir el mantenimiento parte desde la definición del equipo que vamos a comprar para nuestra unidad de negocio, parte desde trabajar con el grupo de ingeniería y entender cual es la necesidad real que se tiene en la operación para hacer una buena adquisición del equipo, esto se llama involucración temprana.



Involucración temprana, es involucrar a los grupos de Mantenimiento y Operación desde la definición del equipo, en esta etapa la participación de ambos grupos es fundamental para garantizar que estamos cubriendo los aspectos que van a sumar para tener un arranque vertical y una operación confiables.

Algunos de los puntos importantes para considerar desde etapa de definición del proyecto:

Área	Puntos Importantes
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> Garantizar que el equipo es accesible para actividades de Mantenimiento Garantizar que el equipo está de acuerdo con los estándares que se manejan en la operación actual (marcas, programas,...) Desarrollo de PM con la información técnica de las máquinas y experiencia de los fabricantes Desarrollo de los BOM y definición de la parametrización de los inventarios Lecciones aprendidas de los equipos actuales
Operaciones	<ul style="list-style-type: none"> Operabilidad de las maquinas Accesibilidad a los equipos Desarrollo de estándares y normas de cuidado básico de los Equipos Lecciones aprendidas de los equipos actuales

En la etapa de la Ejecución del Proyecto se deben de desarrollar los PM, creación de los BOM e al ingreso al CMMS. Por la parte operativa los estándares y normas que nos van a ayudar a mantener el equipo en condiciones básicas.

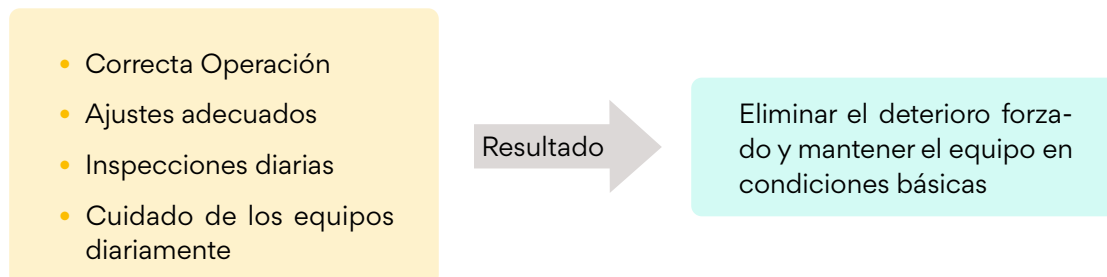
Es decir, qué desde antes de ser instalado, estamos haciendo todo un proceso de participación integral con el área de proyectos, de esa manera garantizamos sumar los elementos para tener arranques verticales. “Esto es hacer Mantenimiento desde los Proyectos”

¿Qué es un arranque vertical?

Garantizar que el equipo va a arrancar con los criterios de éxito definidos. Cuando hablamos de criterios de éxito, nos referimos, por ejemplo: Eficiencia y Desempeño, esto quiere decir que va a llegar a las eficiencias y el desempeño proyectado en un tiempo definido.

2. Operación – Cuidados Básicos del Equipo (MA)

Cuando hablamos de mantener el Equipo en Condiciones Básicas, nos referimos a una actividad que debe realizar el equipo de operaciones, esto es cómo el carro, el mantener el equipo limpio, con gasolina, con las presiones adecuadas en las llantas, la inspección de los niveles de aceite, agua, anticongelante,... éstas son actividades del usuario, es decir de Operaciones, pero más aún, Mantenimiento Integral implica:



¿Qué es eliminar el deterioro forzado?

Regresemos al ejemplo del carro, podemos transitar por calles que son pavimentadas a cierta velocidad y no tenemos impacto en las suspensión, pero si de repente decidimos que un carro transite a alta velocidad por calles que tienen empedrados o algunos baches, definitivamente el carro sufrirá un desgaste acelerado en la suspensión; justo ahí enfocamos la parte del porqué mantenimiento implica una operación y ajustes correctos de la maquinaria, esto evita que el equipo tenga un deterioro acelerado. ¿Cómo lo vemos reflejado en nuestras operaciones? Cuando forzamos la operación de los equipos sometiéndolos a condiciones fuera de diseño, presiones, temperaturas, velocidades,... esto puede provocar golpes de ariete, piezas dañadas, fugas por altas presiones,...

$$\text{Deterioro Total} = \text{Natural} + \text{Forzado}$$

¿Cuáles son las condiciones básicas?

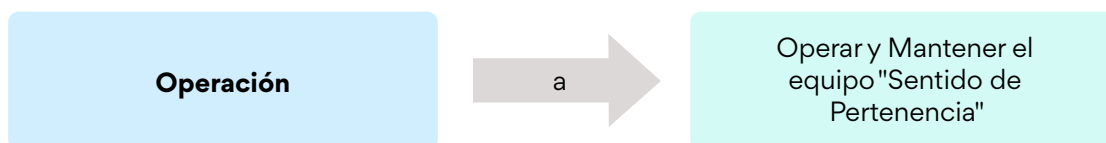
Cuando los equipos están teniendo un deterioro forzado vemos condiciones tales como: fugas de aceite, fugas de producto, reparaciones temporales que en muchos casos se reparan con cinchos, trapos, alambres,... esto es tener un equipo fuera de condiciones básicas, debemos de tener equipos libres de este tipo de **defectos**, tener una mentalidad de “**Cero Defectos**”. Las condiciones básicas de un equipo son: lubricado, limpio y ajustado, por supuesto sin defectos.

¿Por qué es tan importante mantener las condiciones básicas?

Del **65% al 85%** de las fallas que tienen nuestros equipos es por falta de **condiciones básicas**, ahora pensemos la enorme carga de trabajo que tendrá un grupo de Mantenimiento cuando tenemos equipos sin condiciones básicas, es por ello que muchas empresas viven en emergencias todos los días, apagando fuegos y solo haciendo reparaciones temporales, el problema es que es un círculo vicioso y provoca desgaste en toda la organización y cómo consecuencia problemas de eficiencia operativa.

El rol del equipo de Operación: Operar los equipos en las condiciones y especificaciones establecidas, ajustar los equipos de acuerdo con los parámetros establecidos e inspeccionar y cuidar diariamente el equipo, esto se ve reflejado en la disponibilidad de los activos y por consiguiente en la eficiencia de la Operación. “Esto es hacer Mantenimiento desde Operaciones”

La primera parte de la operación y ajustes de los equipos es sumamente importante, pero se ve afectada por la falta de inspección y cuidado de los equipos, esto se ve reflejado en fallas en los equipos, desgaste en los componentes provocando sobre ajustes, por mencionar algunos, por eso de vital importancia la transición del equipo de operación de:



El inspeccionar y cuidar el equipo en el día a día es una actividad vital y que sumamente importante en las tareas de Mantenimiento, pasamos de tener un grupo de Mantenimiento que trata de mantener las maquinas a un grupo de Mantenimiento y Operación manteniendo y cuidando diariamente y de manera programada las maquinas.

Equipos	Método	Frecuencia	Acción en caso anormal	Preparado por:				Referencia	Equipo
				Revisado					
				De	Por	Cuando	How		
1-MOTOR	Limpieza manual	Rotación topografía	Revisión de acuerdo al manual	0	1 día			Guías, manuales	
2-REDUCTOR	Limpieza manual	Tijeras, desengrasante y brocha	Reparar fugas y pérdida	0	1 día			Guías, manuales	
3-REDUCTOR	Limpieza manual	Tijeras, desengrasante y brocha	Reparar fugas y pérdida	0	1 día			Guías, manuales	
4- GUARDA Y COBRE	Limpieza manual	Rotación topografía	Revisión de acuerdo al manual	0	1 día			Guías, manuales	
5- CUERPO DE LA BOMBA	Limpieza manual	Tijeras, desengrasante, brocha y acetona	Reparar fugas y pérdida	0	1 día			Guías, manuales	
6-FILTRO									
7-NECESARIO ALLENAMIENTO									
8-ANILLO METRO DE CARGA DE LA BOMBA									
9-Valvulas de posición									

Ejemplo de estándares de Limpieza, Inspección y Lubricación.

3. Mantenimiento - Condiciones Óptimas de los Activos

Mantenimiento es vital para los equipos, si regresamos el ejemplo del carro, la buena selección de un carro dependiendo de la necesidad que deseamos cubrir, aunado a una buena operación, inspección y cuidado diario por parte del usuario son fundamentales para mantener la unidad con las condiciones iniciales y con las condiciones básicas del mismo, pero mantener su continuidad es un tema de Mantenimiento Planeado, es decir que debemos de aplicar el Mantenimiento en la unidad para mantener las **Condiciones Óptimas**, esto nos permitirá tener el mayor ciclo de vida de los componentes y de la unidad, no tendremos averías imprevistas que detonen en emergencias y por consecuencia en costos no presupuestados, los objetivos de un equipo de Mantenimiento son:

- Mantener el equipo y proceso en condiciones óptimas.
- Lograr la eficacia y la eficiencia en costo de mantenimiento.
- Eficiencia del grupo de Mantenimiento.

Una parte vital de Mantenimiento es la definición de las **Estrategias de Mantenimiento:**



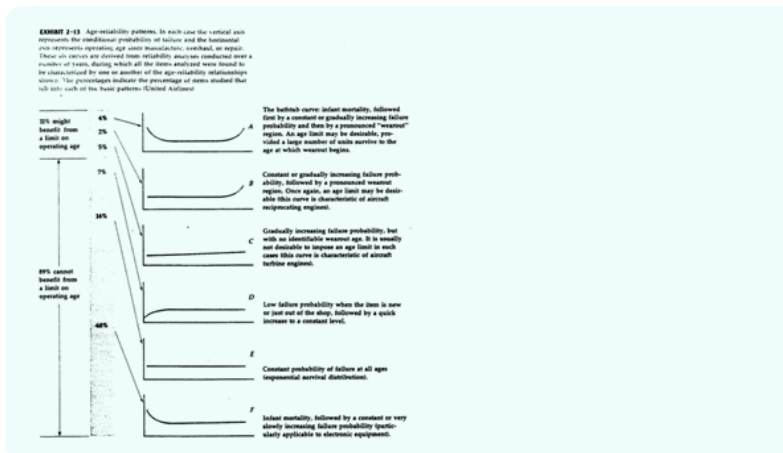
Es importante resaltar que las emergencias “NO” son una estrategia de Mantenimiento, muchas empresas lo consideran cómo parte de su día a día, pero es incorrecto, las emergencias provocan histéresis y stress en la cadena de suministro.

Las emergencias se suscitan o se detona cuando alguno de los puntos que hemos revisado no funciona, por ejemplo:

- Cuando el equipo no se instala correctamente, podemos tener problema de vibración, problemas de aflojamiento de máquina,... estas pueden detonar una avería y llevarnos a una emergencia.
- Cuando el equipo no se opera o ajusta de manera correcta tenemos un desgaste acelerado lo que puede detonar en una avería y puede provocar emergencias.
- Cuando no se inspecciona diariamente las maquinas podemos tener faltante de lubricante provocando una avería, podemos tener fugas... esto puede detonar en fallas del equipo o averías y provocar emergencias.
- Cuando no se realizó una inspección de Mantenimiento (PM) o una mala ejecución de Mantenimiento, puede detonar una avería y llevarnos a una emergencia.

Contar con un programa de Mantenimiento basado en una buena definición de la estrategia de Mantenimiento es fundamental para garantizar la confiabilidad de la operación, pero: **¿Cómo se define la estrategia?**

En el año 1978 Stanley Nowlan y Howard F. Heap emitieron un informe que revolucionó el mundo del mantenimiento, lo titularon “RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE” (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), sigue siendo uno de los documentos más importantes en la historia del manejo de los activos físicos.



Reliability Center Maintenance
F.S. Nowlan, et al. United Airlines, San Francisco,
California, December 1978

Este informe nos muestra que 89% de las posibles fallas no están asociadas a la edad, es decir a tiempo, que solo el 11% si lo está, por lo tanto, en nuestra operación debemos de definir nuestra estrategia considerando las PM's (Mantenimiento Preventivo) de acuerdo a:

- Actividades de Mantenimiento Basadas en Tiempo
- Actividades de Mantenimiento Basadas en Condición

Actividades de Mantenimiento Basadas en Tiempo

Son actividades tales como: reemplazo de componentes de acuerdo a un tiempo establecido, número de vueltas, horas,.... Por ejemplo, en el carro: el cambio de aceite cada 10,000 km.

Actividades de Mantenimiento Basadas en Condición

Son actividades que están basadas en inspecciones que buscan identificar cuando una condición está cambiando y para ello se usan técnicas predictivas, tales como: Análisis de aceite, líquidos penetrantes, termografías,.... aún, inspecciones visuales que buscan el cambio de la condición, este tipo de actividades se pueden usar desde la rutinas por el operador o PM por el grupo de Mantenimiento, por ejemplo en el carro: la inspección de los niveles de aceite, el desgaste de los limpiaparabrisas,....

El tener un plan de Mantenimiento con las estrategias debidamente definidas y herramientas de análisis cuando se presenten averías, nos da cómo resultados un sistema sólido, ahora viene el proceso de ejecución en el día a día, para ello debemos de considerar las actividades claves de Mantenimiento en la gestión diaria de las Ordenes de Trabajo:

- Identificación
- Priorización
- Planeación
- Programación
- Ejecución
- Cierre
- Análisis

En resumen: la suma de cada uno de estos bloques nos da un Mantenimiento Integral, que el objetivo que busca es tener una operación eficiente, grupos de trabajo altamente productivos y el mejor costo de Manufactura.

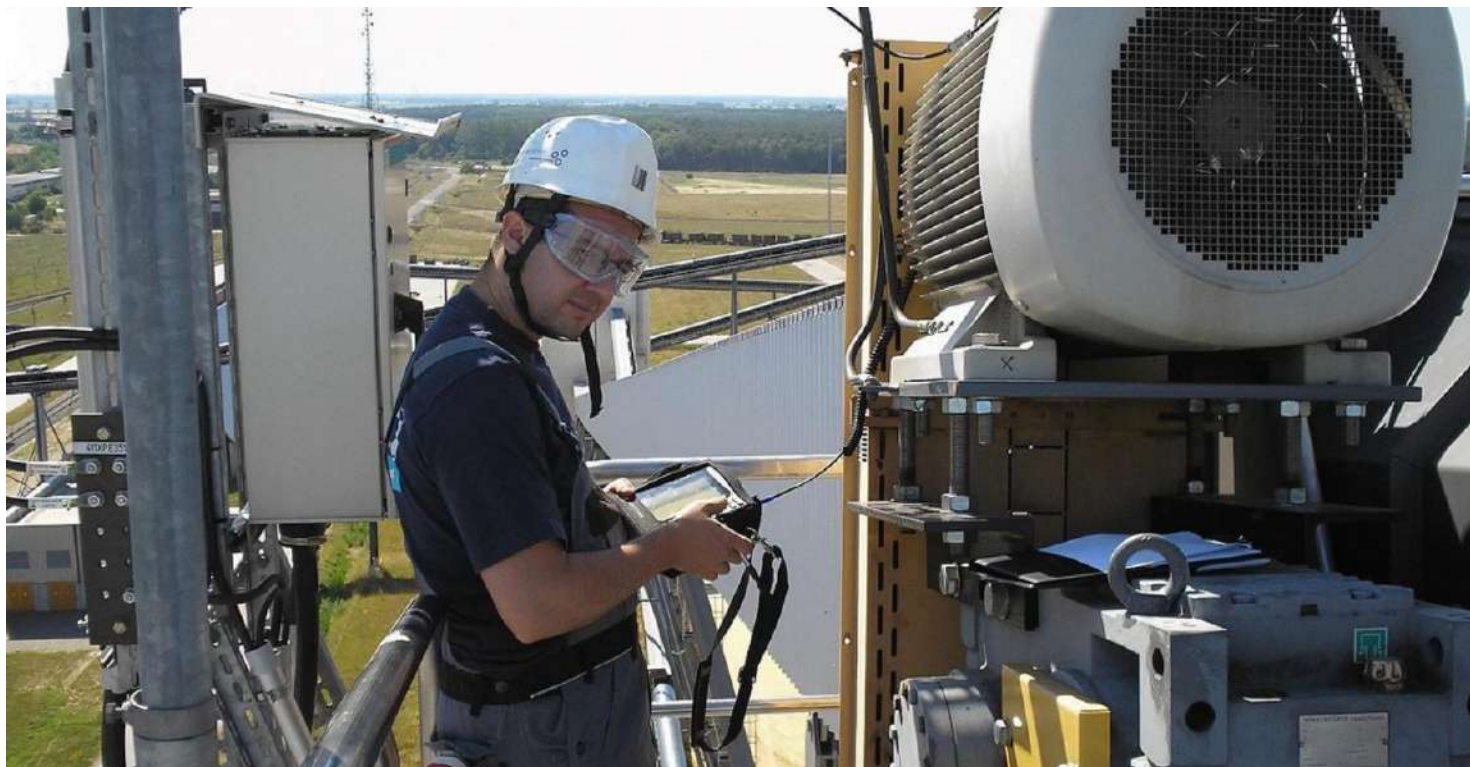


Autor:

Javier Carreño Medina

Fundador & CEO de Effizienter Wandel

- Autor del Libro Pymes.pro
- Actualmente es Director de Effizienter Wandel, Consultor Senior
- Asociado de Educación Continua y la Escuela Nacional de Ingeniería del Tecnológico de Monterrey, Consultor Senior de Marshall Institute, Inc. para LATAM.
- Experto en Excelencia Operacional, Planeación Estratégica, Diseño y Rediseño de Organizaciones y Desarrollo de Equipos de Trabajo de Alto Desempeño.
- Con más de 17 años de experiencia en la Industria y más de 10 años liderando proyectos de alto impacto en organizaciones transnacionales, nacionales y empresas familiares, logrando resultados cuantificables alineados a la estrategia del negocio



Engrasando tu carrera en mantenimiento predictivo

in Autor: Carlos E. Torres
CEO de Power-MI

Estoy cayendo en la cuenta de que ya soy de la vieja escuela del mantenimiento predictivo. Cada vez que colegas, tanto novatos como experimentados, se me acercan buscando consejos sobre cómo conseguir empleo en el campo del mantenimiento predictivo, no sé qué decirles en el momento. Las ideas se me vienen después y aquí las quiero compartir.

Estamos viviendo un aumento de demanda de profesionales en mantenimiento predictivo, impulsada por la expansión de nuevos proveedores de hardware, mayor difusión de la tecnología, una mayor oferta en sensores y procesamiento de datos y software de mantenimiento predictivo.

Crea tu portafolio de diagnósticos

Recuerdo que mi sobrina polaca estaba armando un portafolio de sus obras para su admisión en bellas artes. Esto es una práctica común entre diseñadores gráficos, fotógrafos y artistas que consiste en hacer una colección curada de trabajos que demuestra habilidades, experiencia y estilo.

De igual manera, los analistas de mantenimiento predictivo deben elaborar un catálogo de sus casos de diagnóstico, siguiendo un enfoque similar.

Cada caso de diagnóstico en tu portafolio debe incluir el informe inicial con el que se diagnosticó el fallo, una descripción de su reparación o las órdenes de trabajo involucradas, informe con evidencia de la resolución del fallo, documentación fotográfica del fallo y, muy importante, un análisis del ahorro de costos conseguido. Esta compilación es una tarea personal que debes emprender como profesional para documentar y destacar tus logros profesionales, independientemente de que tu actual empresa te lo requiera o no.

Los títulos no lo son todo

Cada vez veo más certificaciones no sólo en tecnologías de inspección como vibraciones, termografía, ultrasonido, análisis de aceite, etc., sino también de certificaciones orientadas específicamente a la práctica del mantenimien-

to predictivo. Es cierto, formarse y adquirir nuevas certificaciones es un excelente camino para actualizar y profundizar tus conocimientos. Sin embargo, es crucial entender que estos títulos pueden empezar a perder peso frente a lo que realmente importa en el terreno laboral.

Cada vez más, gerentes y reclutadores están valorando la experiencia práctica y el historial de diagnósticos exitosos por encima de la cantidad de certificaciones o títulos que un candidato pueda presentar. Lo que realmente les interesa a ellos es la capacidad de aplicar esos conocimientos en situaciones reales, capacidad de comunicación, resolver problemas de maquinaria complejos y hacer recomendaciones de mantenimiento factibles y proporcionadas al fallo.

Entrevista sin pista, no es de artista

Mi sobrina me contaba como se preparó para una entrevista de trabajo y me pareció increíble la cantidad de información que se puede encontrar ahora de cada empresa: su ambiente laboral, sus prestaciones, contactar con empleados, etc. Si llega el momento en que te toca hacer una entrevista, es inconcebible ahora llegar a ella sin investigar previamente a la empresa.

No subestimes el poder de las habilidades blandas. Tu destreza técnica te abre la puerta, pero cómo comunicas, colaboras y resuelves problemas te mantiene allí. La empresa va a querer evaluar cómo encajas culturalmente en el equipo.

Las preguntas que haces pueden ser tan reveladoras como tus respuestas. Preguntar sobre la estrategia de mantenimiento predictivo de la empresa, tecnologías que utilizan y desafíos muestra que no sólo estás interesado en un trabajo, sino en convertirte en una parte valiosa de su crecimiento futuro. Es tu oportunidad de brillar demostrando tu conocimiento y pensamiento estratégico.

Ingeniería de marca

Por alguna razón los ingenieros de mantenimiento pensamos que la marca personal es cosa de gerentes de venta o inventos de marketing. Construir tu marca personal, especialmente en plataformas como LinkedIn, puede elevar significativamente tu visibilidad en la comunidad de mantenimiento predictivo. Compartir regularmente conocimientos, interactuar con contenido y publicar tus éxitos fomenta una reputación de experiencia y dedicación. Este enfoque proactivo no sólo exhibe tus habilidades, sino también tu compromiso y pasión en el campo.

Para concluir, el viaje para asegurar un trabajo en mantenimiento predictivo es tanto sobre mostrar tus habilidades técnicas como demostrar tu adaptabilidad, curiosidad y pensamiento estratégico. Preparándote diligentemente, presentando tu trabajo de manera efectiva y participando de manera reflexiva, no sólo podrás aplicar a buenas oportunidades laborales, sino que también allanarás el camino para una carrera exitosa en el campo del predictivo.

Y respecto a mi sobrina en Polonia, a última hora decidió estudiar ingeniería biomecánica y no bellas artes. A lo mejor luego se dedique al mantenimiento predictivo, un área en la que uno entra, pero no sale.

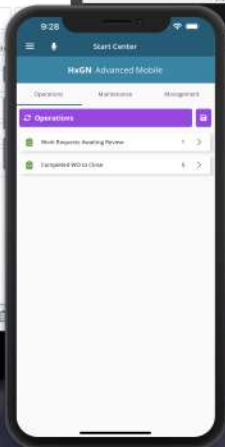
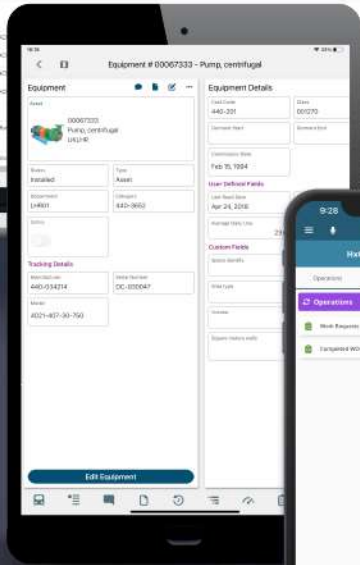
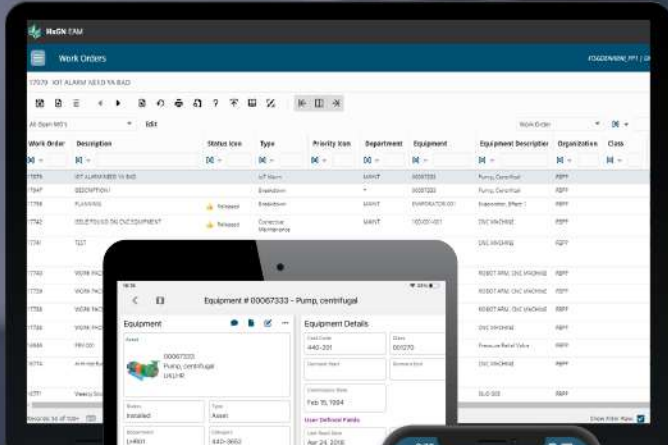


Autor: Carlos E. Torres
CEO de Power-MI

Incrementa la eficiencia de tu trabajo en campo con las aplicaciones móviles de HxGN EAM



Nifersa Information Technology



Escanea y obtén más info

Escanea etiquetas NFC y códigos de barras
Trabaja modo offline
Sincroniza tus datos en tiempo real
Ejecuta inspecciones y checklists
Crea solicitudes de trabajo, piezas y reservas.
Accede al portal de contratistas.
Registra nuevos equipos y mucho más

Hexagon Certified

HxGN EAM Technical Implementor
2023

Hexagon Certified

HxGN EAM Functional Implementor
2023



Channel partner

#SomosEAMLATAM

Diseño e implementación de Procesos de Mantenimiento Alineado a ISO 5501. ¿Cómo hacerlo?

Resumen

El presente artículo científico está enfocado en proporcionar una guía referencial para la planificación, implementación y control de un proceso de mantenimiento alineado con la norma ISO 55001 “Sistemas de Gestión de Activos”, y sustentado en normas y cuerpos de conocimiento reconocidos a nivel nacional e internacional (PDVSA, ISO 14224, SMRP, GFMAM, entre otros). Este artículo está enmarcado dentro de un diseño documental y se basó en el análisis de contenido simple de las distintas fuentes bibliográficas y estándares vinculados con el tema desarrollado. Como conclusión, se destaca que las organizaciones de mantenimiento pueden diseñar y llevar a cabo sus procesos internos, a través de la aplicación de los lineamientos generales indicados en la norma ISO 55001, y de las guías específicas ofrecidas en la diversidad de estándares relacionados con el área del mantenimiento.

Palabras Claves: *mantenimiento, gestión de activos, procesos.*

Fundamentación Teórica

Para obtener valor real o potencial de los activos físicos de la empresa, se necesita gestionar la función mantenimiento, con el firme propósito de conservar los equipos o restaurarlos a un estado en el que puedan cumplir con su función específica. Basado en esta premisa, se hace necesario relacionar la gestión de mantenimiento con la norma de gestión de activos (ISO 55001).

Adicionalmente, el marco de trabajo de mantenimiento perteneciente al GFMAM en su 2da Edición, indica que las organizaciones buscan un continuo equilibrio entre costos, riesgo y rendimiento, y pueden lograrlo a través de los beneficios (valor) que aporta este proceso para la organización, expresados de la siguiente manera:



Autor: Carlos Y. Valerio C.

Msc. Ing. Esp. Ingeniero de inspección de equipos estáticos

- Mejora del rendimiento (Confiabilidad y Disponibilidad, nivel de servicio, calidad).
- Reducción del riesgo (Seguridad y ambiente, confianza de los stakeholders).
- Optimización de costos (CAPEX, OPEX).

ISO 55001 (2014)

La norma ISO 55001 (2014) “Gestión de Activos. Sistemas de gestión. Requisitos”, ofrece lineamientos para el diseño e implementación de un sistema de gestión de activos, basado en la configuración de procesos que permitan obtener valor a partir de ellos, a lo largo de su ciclo de vida. Es oportuno acotar que, esta implementación se sustenta en el ciclo PHVA y en el desarrollo de los siguientes capítulos:

1. Contexto de la organización.
2. Liderazgo.
3. Planificación.
4. Apoyo.
5. Operación.
6. Evaluación de desempeño.
7. Mejora.

Es importante resaltar que, en su apartado 4.4 (Sistema de Gestión de Activos), se cita lo siguiente: “La organización debe establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente un sistema de gestión de activos, incluyendo los procesos necesarios y sus interacciones, de acuerdo con

los requisitos de esta Norma Internacional! Este lineamiento impulsa la definición, configuración y puesta en operación de procesos estratégicos, medulares y de apoyo, que sustenten la obtención de valor dentro de las organizaciones.

Por otra parte, el ítem 8.1 “Planificación y control operacional” de la norma ISO 55001 hace énfasis en que los procesos identificados en el apartado 4.4, deben ser planificados, implementados y controlados, con la finalidad de asegurar que el sistema de gestión de activos logre los resultados propuestos, de caras al éxito empresarial.

En ese orden de ideas, el mantenimiento representa uno de los procesos que debe ser diseñado, estructurado, implementado y mejorado continuamente a la hora de incorporar un sistema de gestión de activos ISO 55001 dentro de la organización, debido a su contribución significativa en el logro de los resultados corporativos.

Caracterización de procesos

La norma ISO 9000 (2015), en sus “Términos relativos al Proceso”, ítem 3.4.1, define un proceso como: “un conjunto de actividades mutuamente relacionadas que utilizan las entradas para proporcionar un resultado previsto.” En la figura 1, se muestra los elementos constitutivos de un proceso.



Figura 1. Representación esquemática de los elementos de un proceso.
Fuente: ISO 9001:2015 Sistemas de Gestión de Calidad.

Ahora bien, para la transformación de los requerimientos de entrada en elementos de salida o servicios, se hace necesario incorporar tres (03) procesos bien definidos:

- Procesos estratégicos o de dirección: que representan las guías, directrices y lineamientos para la operación de los procesos medulares y de apoyo. Son los procesos gerenciales de la organización.
- Procesos medulares: son los procesos claves que generan los productos o servicios. Se caracterizan por generar valor agregado al cliente final.
- Procesos de apoyo: son los procesos que proporcionan apoyo o soporte a los procesos medulares. Su valor es indirecto y generalmente sus clientes están dentro de la organización.

A continuación, se muestran los procesos estratégicos, medulares y de apoyo pertenecientes al proceso de mantenimiento de una organización petrolera venezolana (Figura 2).



Figura 2. Cadena de valor del proceso de mantenimiento.
Fuente: Norma PDVSA MM-01-01-00

Levantamiento de un proceso de mantenimiento alineado a ISO 55001

En el apartado 8.1 “Planificación y Control Operacional” de la norma ISO 55001, se establecen lineamientos generales para planificar, implementar y controlar cualquier proceso asociado al sistema de gestión de activos de la organización. En el numeral antes mencionado, la norma ISO 55001 destaca que la empresa debe:

- Establecer criterios para los procesos.
- Implementar el control de los procesos de acuerdo con esos criterios.
- Mantener la información documentada en la medida necesaria para tener la seguridad y la evidencia de que los procesos se desarrollaron conforme con lo planificado.
- Gestionar y realizar seguimiento a los riesgos detectados en el proceso.
- Cabe destacar que, estas premisas aplican para la función mantenimiento, la cual representa el tema central de este artículo.
- En suma, para llevar el levantamiento de un proceso de mantenimiento alineado a ISO 55001, se deben desarrollar los siguientes elementos:
 - Objetivos y definición de los responsables del proceso y sub-procesos.
 - Flujograma del sub-proceso (entradas, salidas, interacciones).
 - Procedimiento de gestión del sub-proceso.
 - Matriz de indicadores del sub-proceso.
 - Definición de registros y formularios vinculados al sub-proceso.
 - Matriz de riesgos del sub-proceso.

Objetivos y definición de los responsables del proceso y sub-procesos de mantenimiento

Todo proceso incluye un conjunto de tareas interrelacionadas para la obtención de un resultado, y están diseñados para satisfacer una necesidad concreta de un cliente interno o externo. De igual manera, es importante definir las personas responsables de gestionar los procesos y sus respectivos sub-procesos. El dueño del proceso supervisa los indicadores que demuestran que el proceso está bajo control y permiten establecer objetivos de mejora. Se recomienda incorporar estos aspectos en la ficha del proceso.

	NOMBRE_EMPRESA	Ficha de Procesos	
	Nombre_del_Proceso	Código:	
		REV. 0	Página 2 de 4
FICHA DE PROCESO			
Objeto:			
Responsables:			

Figura 3. Objetivos y responsables dentro de una ficha de proceso.
Fuente: Como hacer un análisis de proceso de tu empresa (2023)

Flujograma del sub-proceso (entradas, salidas, interacciones).

Las entradas son elementos de ingreso, sin los cuales, el proceso no podría llevarse a cabo. Incluye tanto elementos físicos (por ejemplo: materia prima, documentos, etc.), como elementos humanos (personal) o técnicos (información, otros).

Las salidas constituyen un output con la calidad exigida por el estándar del proceso. Las salidas de un proceso pueden ser productos, materiales, información, servicios, entre otros. De igual manera, es muy importante definir los niveles de interrelación y comunicación con el resto de los procesos de la empresa.

Procedimiento de gestión del sub-proceso

Los procedimientos de gestión son documentos que establecen las distintas actividades bajo las cuales opera un proceso específico dentro de una organización. Permiten agilizar el flujo correcto del trabajo con base en la estandarización de los procesos.

Es oportuno acotar que, la norma ISO 55001, en su ítem 7.5 “Información Documentada” destaca la importancia de disponer de los procedimientos vinculados a los procesos de gestión de activos. A continuación, se ofrece cita textual: “La organización debe incluir consideraciones sobre:

- La importancia de los riesgos identificados.
- Los roles y responsabilidades para la gestión de activos.

- Los procesos, procedimientos y actividades de gestión de activos.
- El intercambio de información con sus partes interesadas, incluidos los prestadores de servicios, y
- El impacto de la calidad, disponibilidad y gestión de información en la toma de decisiones organizacionales.”

Para el caso del proceso de mantenimiento, se recomienda que se elabora un procedimiento específico para cada uno de los sub-procesos involucrados (Captura y diagnóstico, planificación, programación, ejecución y cierre).

La estructura de estos documentos contempla como mínimo, los siguientes elementos:

- Propósito.
- Alcance.
- Términos y definiciones.
- Normas de referencia.
- Flujograma del sub-proceso.
- Descripción de actividades.
- Registros generados.
- Anexos.

Matriz de indicadores de gestión del sub-proceso

Según la norma española UNE-EN 15341 “Indicadores claves de rendimiento del mantenimiento”, un indicador constituye la característica (o conjunto de características) de un fenómeno medido, de acuerdo con una fórmula dada, que evalúa la evolución. De igual manera, hace referencia a que los indicadores están relacionados con objetivos organizacionales, razón por la cual, la empresa tiene la libertad de definirlos de la forma que mejor contribuya a su rendimiento integral.

En este orden de ideas, la norma ISO 14224 (2016), menciona que el objetivo de los KPIs consiste en dar soporte a la gestión del mejoramiento del negocio. En el área específica de mantenimiento existen referencias nacionales e internacionales que permiten seleccionar y definir los mejores indicadores, orientados a monitorear la salud de la gestión de mantenimiento de la empresa. A continuación, se indican de ellos:

- Cuerpo de conocimiento de la SMRP, 5ta edición.
- ISO 14224 (2016). Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos.
- UNE-EN 15341 (2015). Indicadores claves de rendimiento del mantenimiento.
- PDVSA MM-01-01-02. Indicadores de gestión del proceso de mantenimiento.
- Entre otras.

Definición de registros y formularios vinculados al sub-proceso.

La norma ISO 55001 (2014), en su apartado 7.6, establece que la organización debe contemplar el manejo la información documentada necesaria para que el sistema de gestión de activos opere de manera satisfactoria. En el caso específico del proceso de mantenimiento, los formularios y registros forman parte de los activos documentales que sirven de base para su gestión adecuada. A continuación, se muestra un ejemplo de un formulario aplicable en el proceso de mantenimiento:

Documento No:		SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD	
Reemplaza a: N/A		PRUEBA HIDROSTÁTICA DE TUBERÍAS	
Fecha de Aprobación:	Rev. No.: 0	Página 1 de 1	
Proyecto:			
Disciplina:			N° de control:
Área:			
LINEAS / ISOS	Rev.	P&DI:	Rev.:
RT/UT %:	Radiografía aceptada:	Firma	Fecha
REGISTRO DE TRAZABILIDAD COMPLETADO:			
SUMARIO DE SOLDADURA HA SIDO COMPLETADO:			
PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN PRE-PRUEBA HA SIDO COMPLETADO:			
DATOS DE LA PRUEBA			
PRESION DE DISEÑO (psi)			
PRESION DE PRUEBA (psi)	INICIO:	FINAL:	
TEMPERATURA (°C)			
DURACION:	INICIO:	FINAL:	
MEDIO DE PRUEBA: AGUA			
EQUIPOS UTILIZADOS EN LA PRUEBA			
MANOMETRO/SERIAL:	RANGO:	FECHA DE CALIBRACIÓN:	
MANOMETRO/SERIAL:	RANGO:)	FECHA DE CALIBRACIÓN:	
OBSERVACIONES:			

Figura 4. Formulario de registro para pruebas hidrostáticas.
Fuente: Elaboración propia.

Matriz de riesgo del sub-proceso

Según la norma ISO 31000 (2018), el riesgo se define como el efecto de la incertidumbre sobre los objetivos. Cabe destacar que, el cálculo del riesgo se basa en dos factores claves: la probabilidad de que ocurra el evento y las consecuencias que este evento puede tener.

Para llevar a cabo un análisis de los riesgos de los sub-procesos relacionados con la función Mantenimiento, se hace necesario tomar en consideración los lineamientos y mejores prácticas establecidas en la norma ISO 31000 (2018) “Gestión del Riesgo”, la cual contempla el desarrollo de cuatro (04) fases bien definidas que sirven de base para la toma de acciones y la definición de los controles correspondientes.

- **Identificación del riesgo:** en esta etapa se definen los riesgos presentes en los subprocesos de mantenimiento. El PMBOK en su 6ta edición ofrece numerosas técnicas que permiten determinar estos riesgos. Por ejemplo: juicio de expertos, recopilación de datos (tormentas de ideas, listas de verificación, entrevistas), listas rápidas, reuniones, entre otras.
- **Análisis de riesgo:** Consiste en llevar a cabo el análisis cualitativo, semi-cuantitativo o cuantitativo de los riesgos detectados en la fase anterior, a partir del uso de la técnica o herramienta aprobada por la organización.
- **Valoración de riesgo:** Corresponde a la fase donde se asigna el nivel de riesgo (alto, medio, bajo) en función a los criterios establecidos por la empresa.
- **Tratamiento del riesgo:** se refiere a la selección de opciones y estrategias, y el establecimiento de un plan de acciones para los riesgos inherentes a los sub-procesos de mantenimiento.

Luego de analizar cada una de las normas y fuentes bibliográficas relacionadas con el diseño e implantación de procesos de mantenimiento alineado con la norma ISO 55001, se emiten las siguientes conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones

- El proceso de mantenimiento aporta beneficios claves para la sostenibilidad de una organización, tales como: confiabilidad y disponibilidad de las instalaciones, optimización del costo del ciclo de vida de una instalación, reducción de riesgos en las operaciones, entre otros.
- La norma internacional de gestión de activos ISO 55001, ofrece lineamientos generales para el diseño, implantación y mejora continua de cualquier proceso que añada valor a la organización, a lo largo del ciclo de vida de los activos
- El diseño e implantación de un proceso de mantenimiento bajo ISO 55001, implica la revisión y aplicación de estándares nacionales e internacionales específicos, tales como: ISO 14224, ISO 17359, UNE-EN 15341, cuerpo del conocimiento de la SMRP, entre otras.

Recomendaciones

- Procedimentar el proceso de mantenimiento de acuerdo con los lineamientos generales de la norma ISO 55001, y esquemas de trabajo específicos indicados por normas nacionales e internacionales, y cuerpos de conocimiento en esta área del conocimiento.
- Establecer controles que permitan verificar que el proceso de mantenimiento implantado bajo la ISO 55001, está entregando valor al sistema de gestión de activos de la organización, y a sus stakeholders.

Referencias Bibliográficas

- Norma ISO 14224 (2016).“Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos”. Ginebra. Suiza.
- Norma ISO 31000 (2018).“Gestión de riesgos”. Ginebra. Suiza.
- Norma ISO 55000 (2014).“Gestión de Activos. Aspectos generales, principios y terminologías”. Ginebra. Suiza.
- Norma ISO 55001 (2014).“Gestión de Activos. Sistemas de gestión. Requisitos”. Ginebra. Suiza.
- Norma ISO 55002 (2018).“Gestión de Activos. Sistemas de gestión. Directrices para la aplicación de la ISO 55001”. Ginebra. Suiza.
- Norma ISO 9000 (2015).“Sistemas de gestión de la Calidad. Fundamentos y Vocabulario”. Ginebra. Suiza.
- Norma ISO 9001 (2015).“Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos”. Ginebra. Suiza.
- Norma PDVSA MM-01-01-00 (2010).“Cadena de valor del proceso de Mantenimiento”. Los Teques. Venezuela.

- Norma PDVSA MM-01-01-02 (2010).“Indicadores de gestión del proceso de Mantenimiento”. Los Teques. Venezuela.
- Norma UNE-EN 15341 (2015).“Indicadores claves de rendimiento del Mantenimiento”. Madrid. España.
- GFMAM (2014).“Asset Management Landscape”. 2da Edición. Toronto. Canadá.
- GFMAM (2021).“The Maintenance Framework”. 2da Edición. Toronto. Canadá.
- PMBOK (2017).“Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos”. PMI. 6ta Edición. Pensilvania. USA.
- SMRP (2008).“Guía referencial para la certificación en gestión de Mantenimiento y Confiabilidad”. 3er Edición. Atlanta. USA.

Referencias del autor:

Ing. Mecánico con más de 20 años de experiencia en el sector oil&gas, específicamente, en refinerías, plantas de gas, mejoradores de crudo, unidades offshore y plantas petroquímicas. Maestría en Gerencia de Mantenimiento y especialización en confiabilidad de sistemas industriales.

Desarrollo profesional en las áreas de inspección de equipos estáticos e ingeniero de confiabilidad en paradas de plantas, construcción de plantas y unidades en marcha. Adicionalmente, he participado en pre-comisionado, comisionado y arranque de plantas.

Actualmente, me desempeño como inspector de equipos mayores para un proyecto de IPC de una planta termoelectrica.

ICA FLUOR O&M



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



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

carlos.lozano@icafluor.com

joseantonio.perezhernandez@icafluor.com

Mantenimiento Productivo Total - TPM

Autor: Gonzalo E. Suárez

Ingeniero en mecatrónica especializado en la gestión de mantenimiento industrial, proyectos, mejora continua y análisis causa raíz.

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) se destaca como una filosofía que va más allá de la mera corrección de averías, abrazando la optimización continua para lograr eficiencia y confiabilidad operativa. Sus ocho pilares fundamentales proporcionan el marco esencial para la gestión proactiva de activos, mientras que su proceso de implementación y las seis medidas para cero averías consolidan su posición como una estrategia integral.



Pilares del Mantenimiento Productivo Total - TPM:

1. Mejoras Enfocadas

Las mejoras enfocadas son el punto de partida, direccionando esfuerzos hacia áreas críticas. Identificar y abordar sistemáticamente los problemas clave garantiza mejoras tangibles y resultados sostenibles.

2. Mantenimiento Autónomo

Empoderar a los equipos para que asuman la responsabilidad directa de sus equipos no solo reduce la dependencia del personal de mantenimiento, sino que también promueve una cultura de cuidado proactivo hacia los activos.

3. Mantenimiento Planificado

La planificación estratégica del mantenimiento basada en la condición y rendimiento de los equipos minimiza las interrupciones no planificadas y maximiza la eficiencia operativa.

4. Mantenimiento de la Calidad

Integrar el mantenimiento con la gestión de calidad garantiza que los equipos operen dentro de los estándares definidos, contribuyendo a la reducción de defectos y la mejora de la satisfacción del cliente.

5. Mantenimiento Temprano, Prevención del Mantenimiento

Anticiparse a problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas significativas es esencial para reducir costos y minimizar el tiempo de inactividad.

6. Mantenimiento de las Áreas Administrativas

La eficiencia no se limita a la planta de producción; se extiende a las áreas administrativas para crear una organización cohesionada y eficiente.

7. Entrenamiento, Educación, Capacitación y Crecimiento

La capacitación continua asegura que los equipos estén equipados con las habilidades necesarias para mantener y mejorar la eficiencia operativa.

8. Seguridad, Higiene y Medio Ambiente

El compromiso con la seguridad y la sostenibilidad no solo protege a los empleados y al entorno, sino que también contribuye a la eficiencia general de la operación.

Proceso de Puesta en Marcha del TPM

Fases	Etapas	Descripción
Iniciación	1	Decidir la implementación, la toma de decisión se da por parte de la dirección de la empresa.
	2	Informar y formar a todos los cuadros de la empresa
	3	Poner en marcha una estructura de comando
	4	Diagnosticar la situación de cada una de las áreas
	5	Elaborar un programa
Desarrollo	6	Poner en marcha el programa
	7	Analizar y eliminar las causas de fallas
	8	Desarrollar el mantenimiento autónomo
	9	Desarrollar el mantenimiento programado/Optimizar
Perpetuidad	10	Mejora técnica
	11	Integrar experiencias en la concepción de nuevas máquinas
	12	Validar el TPM

Seis medidas del TPM para cero averías

Eliminar el deterioro acelerado estableciendo las condiciones básicas del equipo (limpieza, lubricación y ajuste).

Eliminar el deterioro acelerado cumpliendo las condiciones de uso.

Restaurar el equipo hasta su condición óptima restaurando el deterioro.

Restaurar los procesos hasta su condición óptima aboliendo los entornos que causan el deterioro acelerado.

Alargar la vida útil de los equipos corrigiendo las debilidades de diseño.

Eliminar los fallos inesperados mejorando las capacidades de operación y mantenimiento.

Fuente: Japan Institute of Plant Maintenance. TPM en Industrias de Proceso


Adoptar el Mantenimiento Productivo Total no solo impulsa la eficiencia, sino que también promueve una cultura de mejora continua. Este enfoque integral es esencial para enfrentar los desafíos cambiantes en el entorno industrial y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones.

Fuentes:

- Luis Alberto Mora (2009), Mantenimiento. Planeación, Ejecución y Control
- Leandro Daniel Torres (2005). Mantenimiento su implementación y gestión (2ª Edición).

El internista de la 21

con Rafael Arguelles

A portrait of a middle-aged man with dark hair, wearing a dark suit jacket, a white shirt, and a patterned tie. He is smiling slightly and looking directly at the camera. The background is a solid orange color with faint, stylized line art patterns of a shopping cart and a hand holding a pen.



Autor: Rafael Arguelles

Automation, Instrumentation, Maintenance and
Asset Management, Facility Management and
Quality Assurance



El internista de la 21

Soy Rafael Arguelles F., TSU en Informática, Ingeniero Electricista, MSC en Administración de Negocios, con más de 38 años en el mercado de trabajo técnico, profesional y gerencial. Practicante del Silogismo en mi forma de pensar y actuar, por lo tanto, estoico en mi forma de ser. No les contaré mucho más de mí, pues no es éste el propósito de esta columna.

Debo, en primer lugar, ofrecerles mis excusas por la interrupción en la continuidad de las publicaciones, ya que por razones completamente bajo mi responsabilidad, la columna no fue publicada en la anterior edición de la revista. Dicho esto, entremos en contacto con el tema que estábamos tratando, y que debemos cerrar.

En nuestra anterior columna les enunciamos que la información sería entregada en dos partes, por razones de espacio. En la primera parte, enunciamos conceptualmente a que nos referíamos con el **“The KIR Process Work Flow”**, es decir, el flujo de trabajo para que se desarrollen las actividades que se requieren para que un activo se mantenga en servicio, sin fallas funcionales disruptivas, manteniendo a raya las fallas funcionales no previstas, de alto impacto económico.

También mencionamos un “documento” muy importante, que es la orden de trabajo, o como también es conocida, la OT. Las comillas, porque la orden de trabajo es muchísimo más que un documento. La OT es, en síntesis, la definición funcional del proceso que se lleva a cabo para ejecutar una labor de mantenimiento correctivo (programado o no) o de un mantenimiento preventivo (necesariamente programado). Pero ... ¿y el documento de soporte del Mantenimiento Predictivo? ¿El de Mantenimiento Proactivo?

Las ordenes de trabajo, se generan y gestionan desde un software de gestión de mantenimiento (CMMS por sus siglas en inglés, Computerized Maintenance Management System), en cambio, las herramientas y estrategias de Mantenimiento Predictivo y Mantenimiento Proactivo, son generadas y gestionadas en un software para Gestión de Activos (EAMS por sus siglas en inglés, Enterprise Asset Management System). Esta diferenciación en la gestión, a mi juicio, nos genera una luz sobre donde NO debe residir la gestión de activos. Pero hasta allí dejaré el comentario, pues como comenté en la primera entrega, esto solo genera polémicas, y sobre todo, lo más importante, es **KIR**.

Ejemplos de estos sistemas, puede haber muchos. Solo mencionaré algunos con los cuales he trabajado.

- **CMMS:** Maximo, SAP MM, JDEdwards. De los mencionados, el único realmente diseñado como CMMS exclusivamente, es Maximo. Los otros dos, son módulos para gestión de mantenimiento de la suite de Gestión de Empresas, que incluye compras, inventarios, finanzas, nomina, etc.
- **EAMS:** Meridium (hoy día GE APM), AMS (Emerson). De los mencionados, solo puedo indicar que Meridium tiene módulos que, además del monitoreo de condición (RCM, IBR, etc.), permiten gestionar los casos documentados de Mantenimiento Proactivo (ACR, etc.)

Ahora bien, es deseable, altamente, que estos dos sistemas de gestión estén completamente integrados. ¿Por qué?

En principio, porque se trata de gestionar activos. ¡Los mismos activos! Adicionalmente, como vimos en la primera parte de este artículo, la Gestión de Mantenimiento es una parte, necesaria e imprescindible, de la gestión de activos. Como vemos en la figura 1, las distintas fases del KIR, se interrelacionan con las distintas herramientas y ambientes de gestión. Las líneas terminadas en punta de flecha que se muestran, dan una idea de como ocurre en secuencia esta interacción. Recordemos que el KIR, al que de ahora en adelante llamaremos por su verdadero nombre, nació como nombre únicamente para evidenciar el objetivo de la implementación de la Confiabilidad Operacional: aumentar la disponibilidad de los activos físicos para producción.

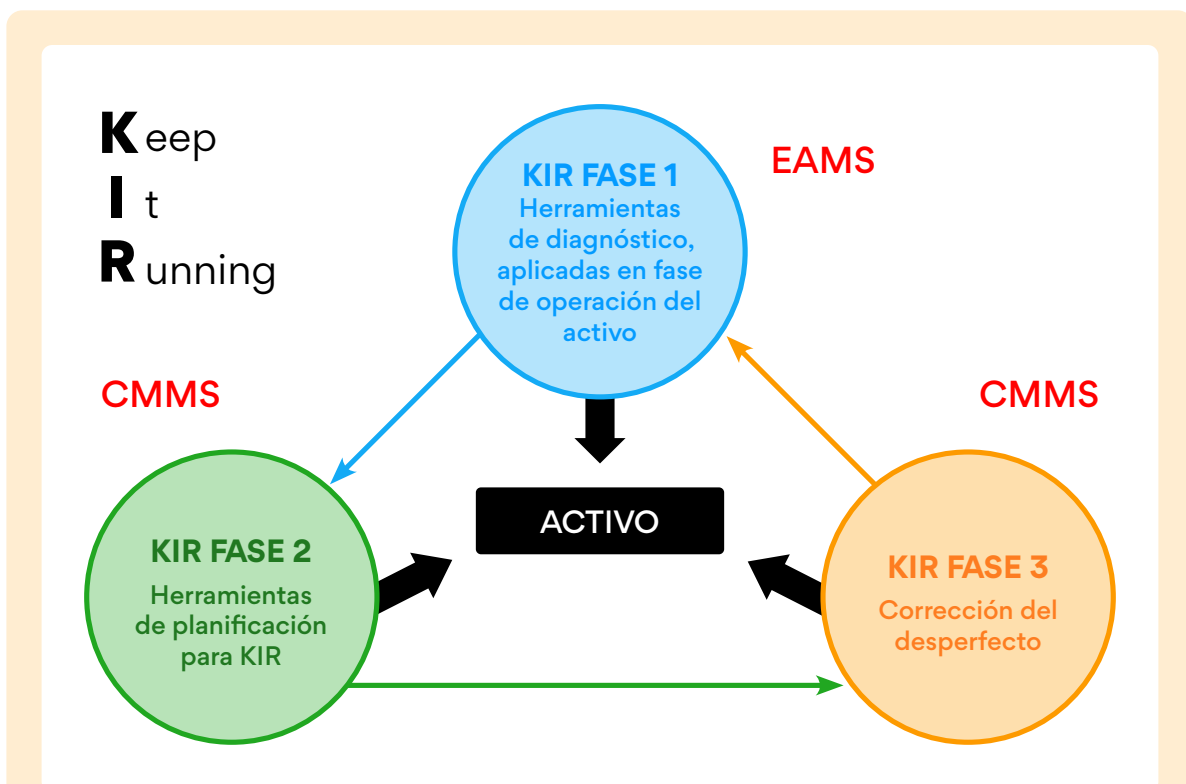


Figura 1. El Proceso KIR, CMMS y EAMS

Logremos, entonces, establecer un recorrido por cada una de esas fases, para algunos ejemplos de casos **hipotéticos**.



CASO 1: En un equipo rotativo, de criticidad operacional alta, con monitoreo continuo de vibraciones, se produce una alarma por alta vibración en el sistema de control. Esto provoca una solicitud por parte del equipo de operaciones a los técnicos o ingenieros que realizan toma y análisis de estos datos, los cuales se presentan a ejecutar el diagnóstico solicitado. Una vez hechas las mediciones, al analizar el espectro, determinan que existe un juego radial mayor al esperado, por lo cual recomiendan reemplazar el cojinete en cuestión. De la misma manera, indican que la máquina puede seguir trabajando, con un monitoreo y análisis más frecuente, de forma de poder preparar el trabajo y hacer una parada ordenada.

Una vez descrito el caso, pasemos a formularnos algunas preguntas:

- La intervención del Técnico que acude a realizar la medición y análisis del caso, ¿en qué fase transcurre? ¿En cuál sistema se gestiona?
- El siguiente paso, ¿en qué fase se encuentra y con cual sistema se gestiona?
- El trabajo de llevar el activo a una condición normal de trabajo, ¿en qué fase ocurre? ¿Con cuál sistema se gestiona?
- Una vez hecho el trabajo, ¿Cuál sería el próximo paso y en qué fase ocurre?
- Que tipos de mantenimiento hemos ejecutado hasta ahora?
- El monitoreo frecuente que se menciona, ¿en qué fase ocurre?

Procedamos pues, a responder estas preguntas, invitando al análisis de la respuesta.

Procedamos pues, a responder estas preguntas, invitando al análisis de la respuesta.

La intervención del técnico transcurre en la **FASE 1: HERRAMIENTAS DE DIAGNOSTICO APLICADAS EN LA FASE DE OPERACIÓN DEL ACTIVO**. Esta, estaba muy fácil de responder, pues de hecho en el enunciado se indicó que haría un “toma y análisis de estos datos” para “ejecutar el diagnóstico solicitado”. Por supuesto, se gestiona en el EAMS. Si el EAMS y el CMMS están realmente integrados, desde el EAMS saldrá la OT para la corrección del defecto. De no estarlo, alguien tendrá que generar dicha orden de forma manual.

Luego de generarse la orden de trabajo, y ser evaluada por el personal técnico para garantizar que el alcance del trabajo que se especificó realmente es el requerido, se inicia la fase de PLANIFICACIÓN DE LA OT. Ya esto responde una parte de la siguiente pregunta: ¿Dónde ocurre el siguiente paso? Este paso, evidentemente, transcurre en la fase 2 “HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN PARA KIR” y por supuesto debe gestionarse en el CMMS. Esta fase incluye múltiples etapas, como la preparación, asignación de recursos, gestión de ventana operacional y ejecución del trabajo, que finaliza con la adecuada retroalimentación de la OT, este último un paso muy importante de la gestión que con frecuencia no es debidamente potenciado. Pero del flujo de trabajo del mantenimiento, nos ocuparemos en una entrega posterior, en la que hablaremos del flujo de trabajo en distintas facetas del mantenimiento.

Pues bien, ya se hizo el diagnóstico, se especificó el trabajo, luego el mismo se planificó adecuadamente y se gestionó la ventana operacional... Nos corresponde ahora proceder a corregir el defecto, y llevar el Activo a su condición de operación normal. Se reemplaza, en consecuencia, el cojinete con excesivo juego axial, se miden los cojinetes planos que no se cambiaron, se retroalimenta la orden, y se procede a su cierre. La ejecución del trabajo descrito, transcurre en la fase 3, corrección del desperfecto. Y por supuesto, se gestiona en el CMMS.

Ya se hizo el trabajo. ¿Que debe ocurrir ahora? Este proximo paso depende en grado sumo de la madurez de la organización. Debería en esta fase iniciarse una gestión de Pesquisa de Fallas, para determinar la causa del desgaste inesperado del cojinete. En este caso particular, se podría iniciar un Análisis Causa Raíz, que nos ayude a determinar por qu la falla ocurrió, como evitamos una nueva ocurrencia y, muy importante, si genera una lección aprendida que nos ayude a prevenir el mismo tipo de falla en otros activos de la misma familia.

Y entonces, ¿que tipos de Mantenimientos hemos hecho hasta acá? Al diagnosticar, hemos hecho mantenimiento predictivo, o basado en condición. Al corregir un defecto que se ha presentado y hemos podido identificar, estamos haciendo mantenimiento correctivo. Dado que pudimos planificar las actividades requeridas, el mantenimiento correctivo realizado es de tipo planificado.

Si, además de esto, hemos iniciado una pesquisa de fallas, hemos ejecutado un mantenimiento proactivo.

Procedamos ahora a responder la última pregunta, la cual citaré textualmente: **“El monitoreo frecuente que se menciona, ¿en qué fase ocurre?”** Esta respuesta es quizás, la mas inesperada de todas: En ninguna.

¡Justifique su respuesta! No es necesario hacer un monitoreo y análisis mas continuo. Si ya hemos determinado la causa de la alta vibración, tomando en cuenta la dimensión y frecuencia de la señal, siendo que tenemos un monitoreo continuo con alarmas en el Sistema de control, no se justifica que se tome una medida como la mencionada. Que tomes muestras de espectro y analices más a menudo no cambiará el estado. Si lo que necesitas es saber si el problema se está incrementando, en mi experiencia, lo recomendable es realizar un documento de gestión de cambio temporal, para incrementar el valor de alarma en tu sistema de gestión de alarmas. Esto permitirá que tu equipo no esté en falla permanente en el sistema, a la vez que te permitirá saber cuando el problema ha aumentado. Por supuesto, es necesario también garantizar que, una vez resuelto el problema, el valor de set de la alarma sea restituido a su valor original.

Como indiqué en un principio, este caso, acá descrito, es un caso hipotético. Cualquier parecido con la realidad es pura coincidencia.



CASO 2: Partamos del caso 1. Dado que estaremos interviniendo el equipo rotativo en cuestión, se decide adelantar algunos mantenimientos preventivos que estaban previstos para paradas cortas y que fueron debidamente planificados. Una de esas actividades preventivas, es el ajuste de las conexiones eléctricas, tanto en la caja de conexiones del motor, como en la salida del CCM hacia el motor. Cuando se ejecuta el trabajo, se encuentran conexiones recalentadas a una muy alta temperatura, por lo que se decide reemplazar terminales.

¿Respondemos las mismas preguntas? Veamos:

La intervención original, donde se procede a realizar el reajuste de las conexiones, transcurre en la Fase 3. Atención: ¡esta fase está enunciada como corrección del desperfecto!!! Es cierto, al acudir a ejecutar una tarea de mantenimiento preventivo (reajuste de conexiones cada 3000 horas, por ejemplo), en la práctica, no hemos visualizado ningún defecto. Pero, conceptualmente, el mantenimiento preventivo está concebido para corregir un defecto que estadísticamente está por ocurrir o está ocurriendo. Así que si, es en esta fase que ocurre. Y por supuesto se gestiona en el CMMS.

El siguiente paso, en este segundo ejemplo, es la corrección de la falla funcional detectada. Si, se ha encontrado una falla funcional, que se ha detectado de forma incipiente, pero que está presente de forma indudable. Por supuesto, la ejecución de este trabajo se encuentra también en la fase 3, “CORRECCIÓN DEL DEFECTO” y como ya sabemos, se gestiona en el CMMS. Pero... que cosa con los peros en el mantenimiento. Debemos ahora preguntarnos: ¿este trabajo, a todas luces correctivo, debe ejecutarse y documentarse con la misma orden de trabajo? El reemplazo de terminales NO es parte del trabajo preventivo. Por lo tanto, NO debe documentarse con la misma orden. Si nuestro deseo es que el CMMS sea alimentado de forma correcta, este es un trabajo que debe clasificarse como un Mantenimiento Correctivo. ¿Planificado o no Planificado? Evidentemente no es planificado. ¿Es un correctivo de Emergencia? Evidentemente, no ocasionó paros de equipos, por lo que no es de emergencia. Entonces ¿qué tipo de mantenimiento correctivo es? Es un mantenimiento correctivo, de aprovechamiento (el calificativo es mío, pues nunca he visto este concepto debidamente documentado). Digamos que es de aprovechamiento, o de oportunidad, pues es un correctivo que se ejecutó sin parada, y no fue programado ni planificado, si no que es fruto de otro mantenimiento efectuado. Esto, debemos documentarlo, pues este tipo de información nos ayuda a demostrar que actividades de mantenimiento se justifica ejecutar. Esto lleva el activo a operar funcionalmente al 100%, lo cual es de resaltar.

El siguiente paso, una vez ejecutado el trabajo será, nuevamente, documentar la ejecución del mismo, cerrar las ordenes de trabajo (tanto la orden de mtto. preventivo de reajuste de las conexiones como la de mtto. Correctivo de reemplazo de terminales), e iniciar una labor de pesquisa para identificar la causa por la cual la conexión se sobrecalentó. Como ya mencionamos, este trabajo inició como un mantenimiento preventivo (ajuste de las conexiones eléctricas cada 3000 horas), y generó un trabajo correctivo de aprovechamiento (reemplazo de las conexiones).

Nuestra próxima columna, transcurrirá en el tema de la celebración del “DIA INTERNACIONAL DE LA SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO”. Como todos sabemos, la SST es algo que nos atañe a todos los que de alguna manera participamos en la cadena de generación de valor del mismo. Este año, el tema de la conmemoración es el cambio climático, y como este afecta la SST.

Posteriormente, estaremos hablando un poco de los flujos de trabajo requeridos para organizar debidamente la forma en la que la gestión se lleva en el CMMS. Para alimentar, desde ya, esa edición, dejaré una pregunta en el aire: Si, como estrategia al diseñar los planes de mantenimiento centrado en confiabilidad, se decide aplicar “run to failure” a un activo, ¿cómo debe calificarse ese evento cuando ocurre? ¿Es un evento de mantenimiento correctivo? Al levantar mis KPIs, a cual estrategia de mantenimiento debe sumar? Esta discusión, la iniciaremos prontamente en el chat de Predictiva21.

¡Hasta la próxima entrega!

Normas/Documentos:

Familia ISO55000 | EN 16646

Mantenimiento de Válvulas de Seguridad

in Autor: Sheyla Müller

Ingeniera en Tecnología Industrial con grado de maestría en Gestión del Mantenimiento Industrial, Jefe de Control de Calidad y Producción concerniente al Mantenimiento de Metal-Mecánica Industrial en Metales Milenium S.A.



Industria Azucarera

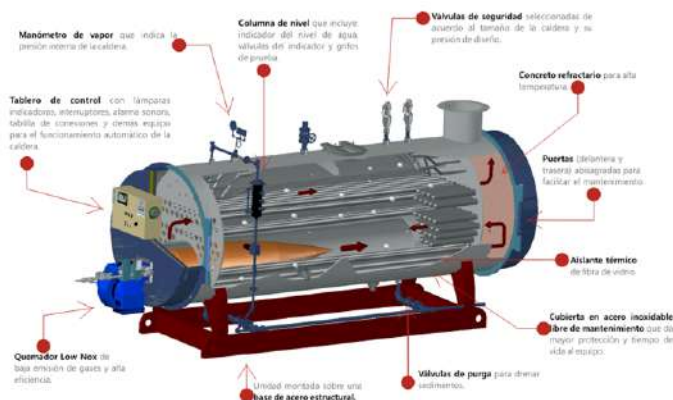
El azúcar es un endulzante de origen natural que es extraído del jugo de caña (*Saccharum spp*), su producción se describe en varios procesos:

- Producción de caña (siembra y riego)
- Operaciones de cosecha (Corte, alza y transporte)
- Fabricación de azúcar (Extracción, clarificación, evaporación, cristalización, secado, envase)
- Generación de energía

En el proceso de producción de azúcar se aprovecha cada parte de la caña para generar sub-productos que son utilizados como materia prima para otros procesos, por ejemplo, el bagazo es aprovechado como fuente de combustible orgánico para generar energía, debido a que se introduce dentro de las calderas quemándolo para generar calor, con esta fuente de calor el agua dentro de la caldera se transforma en vapor por lo que la presión de la caldera aumenta y para controlar la presión la caldera cuenta con componentes de seguridad para evitar incidentes/accidentes catastróficos y maximizar su eficiencia un ejemplo son las válvulas de seguridad.

Se requiere que todas las calderas tengan al menos una válvula de seguridad, dependiendo de la capacidad de flujo máximo (CFM) de la caldera.

A continuación, se presentan las partes de una caldera y se observa la ubicación en donde se debe de instalar las válvulas de seguridad.



Fuente: EUROAIR

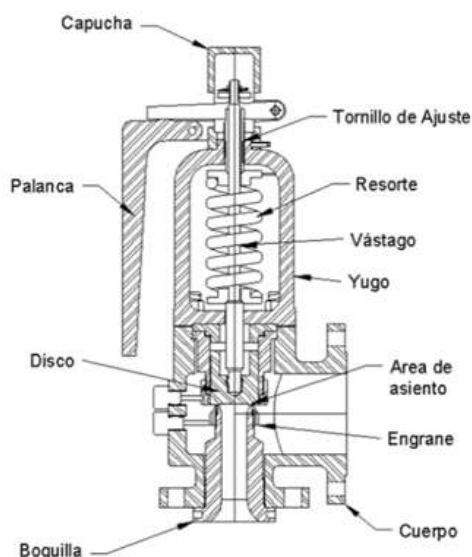
¿Qué es una Válvula de Seguridad para calderas?

La función principal de una válvula de seguridad es aliviar la presión caracterizándose por su apertura rápida. Se encuentra en el tambor de vapor de la caldera y se abrirá automáticamente cuando la presión del lado de entrada de la válvula aumente más allá de la presión preestablecida.

La válvula de seguridad sirve para que el agua no alcance a una temperatura mayor a la de ebullición, así se evita que el vapor incremente la presión de manera que el sistema pueda explotar.



Partes de la Válvula de Seguridad



Mantenimiento Preventivo y Reparación de Válvulas de Seguridad

La válvula de seguridad es un elemento fundamental en una caldera, por lo que su funcionamiento debe ser confiable, debido a que si presenta fallas en la operación se origina un catástrofe ocasionando pérdidas operativas, estructurales, vidas humanas, daños al ambiente etc. por lo que es fundamental realizar un mantenimiento preventivo.

En la industria azucarera se tiene dos operaciones una llamada ZAFRA que es el de producción de azúcar y el otro llamado REPARACIÓN que es el de realizar mantenimiento a todos los equipos para seguir produciendo efectivamente cada año.

A continuación, se presentan imágenes de una válvula de seguridad después de la ZAFRA, en la que presenta suciedad por bagazo, polvo, corrosión, etc.

Para realizar un mantenimiento preventivo y reparación a una válvula de seguridad se detalla el siguiente diagrama de operaciones:

SIMBOLO		ACTIVIDAD
OPERACIÓN	○	Recepción de válvula de seguridad
TRASLADO	➔	Trasladar válvula de seguridad hacia banco de pruebas
OPERACIÓN/INSPECCIÓN	◻	Realizar pruebas iniciales de disparo para chequeo de fugas con gas nitrógeno
OPERACIÓN	○	Anotar datos iniciales de disparo de apertura y cierre de la válvula de seguridad
OPERACIÓN	○	Desarmado de válvula de seguridad
OPERACIÓN	○	Limpieza interna y externa de válvula de seguridad
OPERACIÓN	○	Asentado de sello con pasta de esmeril fina
INSPECCIÓN	◻	Inspección de sello para verificar la eliminación de golpes y rayones.
OPERACIÓN	○	Asentado de sello con pasta de diamante
INSPECCIÓN	◻	Inspección de sello para verificar pulido y acabado final
OPERACIÓN	○	Armado de válvula de seguridad
OPERACIÓN	○	Calibración de válvula de seguridad
OPERACIÓN/INSPECCIÓN	◻	Realizar pruebas finales para corroborar la presión requerida
TRASLADO	➔	Trasladar válvula de seguridad hacia área de pintura
OPERACIÓN	○	Pintar válvula de seguridad
INSPECCIÓN	◻	Verificar los acabados de pintura
OPERACIÓN	○	Embalaje de válvula de seguridad
TRASLADO	➔	Trasladar válvula de seguridad hacia área de producto terminado
ALMACENAJE	▽	Almacenamiento de válvula de seguridad para coordinar entrega

ACTIVIDADES	PROCEDIMIENTOS
<p>A. Recepción de válvulas de seguridad</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recepción de válvula de seguridad 2. Trasladarla al banco de pruebas <div data-bbox="1003 310 1308 495" data-label="Image"> </div> 3. Colocarla en el flange adecuado y fijarla con tornillos <div data-bbox="1101 575 1195 764" data-label="Image"> </div> 4. Realizar pruebas iniciales de disparo para chequeo de fugas con gas nitrógeno <div data-bbox="1088 863 1209 1108" data-label="Image"> </div> 5. Anotar datos de pruebas iniciales
ACTIVIDADES	PROCEDIMIENTOS
<p>B. Desarme de válvula de seguridad</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Retirar caperuza de válvula <div data-bbox="906 1331 1321 1528" data-label="Image"> </div> <p>Una vez retirada la caperuza queda libre la contratuerca de fijación y el tensor.</p> 2. Realizar una marca en la parte superior de la tuerca para aproximar la calibración inicial, retirar contratuerca y desajustar el tensor del resorte hasta elimina la tensión. <div data-bbox="951 1776 1265 1953" data-label="Image"> </div>

B. Desarme de válvula de seguridad

- Retirar cúpula, placas de resorte y resorte de vástago.



- Retirar la tapa guía (en algunos casos se encuentran introducido a presión).



- Después de haber retirado la tapa guía proceder a retirar el vástago e inspeccionar si existe daño en la parte del sello de la tobera de entrada.



Limpiar todas las partes de la válvula con cepillo de alambre.

ACTIVIDADES

PROCEDIMIENTOS

C. Calibración de válvula de seguridad

- Colocar empaque de pruebas a la medida del flange.
- Colocar la válvula y atornillarla sobre el flange y el empaque para realizar pruebas.

Para realizar la calibración se requiere de dos mangueras de presión que se conectan al banco de pruebas y un cilindro de nitrógeno.

La primera manguera conectarla de la siguiente manera:

- Conectar una de las puntas de la manguera en el niple que se encuentra debajo del flange y la otra punta conectarla al manómetro adecuado para la calibración.



C. Calibración de válvula de seguridad

La segunda manguera conectarla de la siguiente manera:

4. Conectar una de las puntas de la manguera en la entrada principal del banco de pruebas y la otra punta conectarla a la salida de gas del cilindro de nitrógeno.



5. Abrir llaves de paso del banco de pruebas y abrir llave del cilindro de gas nitrógeno de forma pausada para introducir gas.



6. Si el disparo es menor al disparo requerido, darle vuelta al tensor para ajustar el resorte y poder elevar la presión.
7. Introducir nuevamente gas nitrógeno para calibrar a presión requerida.



8. Si el disparo está un rango de 100psi o 150psi por debajo de la presión requerida, darle graduación al tensor por lo menos a un cuarto de vuelta y probar nuevamente el disparo.
9. Cuando se llegue a la presión requerida, fijar la contratuerca para que no se mueva el tensor y no se pierda la calibración.



10. Liberar el nitrógeno que está en la válvula y manguera por medio de la llave de paso del banco de pruebas.

C. Calibración de válvula de seguridad

11. Colocar caperuza, horqueta y pasador, verificando que la tuerca del vástago quede libre para el disparo y para poder abrirlo de forma manual.



12. Verificar nuevamente la presión de la válvula, al finalizar liberar el nitrógeno que está en la válvula y manguera por medio de la llave de paso del banco de pruebas para poder retirar la válvula.
13. Desmontar válvula de banco de pruebas retirando los tornillos que la aseguran al flange, (tener el debido cuidado de no golpearla ni acostarla para no perder la calibración) y trasladarla al área de producto terminado.



Publica tu artículo técnico

Te invitamos a enviar tu artículo técnico no comercial para ser considerados en la próxima edición de nuestra revista.

Si tienes contenido relevante y de calidad, envíalo a: articulos@predictiva21.com
¡Esperamos contar con tu valiosa contribución!



