

## Vocación por el trabajo Voluntario

Santiago Sotuyo

La importancia de los datos y como convertirlos en dinero

10 causas de falla en rodamientos

Tareas para solucionarlo

Confiabilidad Organizacional

Un método para mejorar los procesos que afectan a la confiabilidad operacional

Fiabilidad 4.0

como parte del proceso de gestión de activos: Caso de estudio de una plataforma de petróleo

ARMS

# Índice

---

- 3** Editorial
- 6** **Entrevista a**  
Santiago Sotuyo  
*Irene González*
- 11** **El tiempo no**  
**Perdona**  
*Brau Clemenza*
- 13** **La revolución**  
**industrial** Aprendiendo a  
Evolucionar  
*Irene Gonzalez*
- 17** **Análisis Weibull**  
Ejemplos básicos de como  
usarlo para los análisis de  
confiabilidad  
*Arquímedes Ferrera*
- 19** **Las 10 causas por la**  
**que tus rodamientos**  
**están fallando***Victor*  
*Alejandro Pérez M.*
- 22** **La importancia de los**  
**datos** y cómo convertirlos  
en dinero  
*Javier Leonardo Salas*  
*Alberto Salas Mejía*
- 26** **¿Qué es un Sistema**  
**Socio técnico** y por qué  
es importante conocerlo en  
el ámbito de la Confiabilidad  
Humana?  
*Adrián Aguirre*
- 30** **La fiabilidad 4.0** como  
parte del proceso de gestión  
de activos: Estudio de caso de  
una plataforma de petróleo  
*Eduardo Calixto*
- 36** **Confiabilidad**  
**Organizacional**  
Un método para mejorar los  
procesos que afectan a la  
CONFIABILIDAD OPERACIONAL  
*Johanna López Durán*  
*José Bernardo Durán*
- 64** **Metodología de**  
**Inspección Basada**  
**en Riesgo API 581**  
Aplicada a Haces Tubulares de  
Intercambiadores de Calor  
*Evelio Chirinos*  
*Rosangel Leal*  
*Edgar Fuenmayor*



**Enrique González**  
Director

# Enfrentemos el cambio

**N**adie lo esperaba. Pensábamos que era un problema de otras fronteras y de pronto, sin calcularlo, el COVID 19 estaba diseminándose por el mundo a una velocidad que no pudo igualar la tecnología. De repente, todos nos encontramos en nuestras casas, unos trabajando y otra parte muy numerosa de la población, resignada a quedarse en casa sin prácticamente la posibilidad de hacer algo.

Pero sí se pudo hacer. Muchos se reinventaron, se adaptaron y buscaron una manera de salir al paso al visitante inesperado que trastocó la cotidianidad, en todos los ámbitos. Las empresas viven un proceso de transformación que obliga a mirar hacia adentro de las organizaciones y las personas. Palabras claves: rediseño, reformulación, reinención, renacer, todas se resumen en una sola: Cambio.

Tal como la vida, la industria se reformula. Nuestro entrevistado especial de esta edición No.30, Santiago Sotuyo, enfatiza la importancia de estar conscientes de los cambios necesarios en un futuro cercano, adelantarse a los tiempos y estar preparados.

Un recorrido por la Revolución Industrial y todas sus etapas, la historia de la evolución del mantenimiento son testimonios de cómo la humanidad se transforma continuamente para seguir progresando. Y una muestra de que la industria no se detiene. Nuestros articulistas invitados se enfocan en los detalles necesarios para que la Gestión de Mantenimiento sea exitosa: "Mejorando la Confiabilidad Organizacional", "La importancia de los datos y cómo convertirlos en dinero", "Análisis Weibull: Ejemplos Básicos", "Las 10 causas por las que tus rodamientos están fallando", por mencionar algunos.

Los cambios son necesarios para progresar y debemos enfrentar el futuro teniendo un presente que debemos estudiar, analizar y corregir. Enmendar las fallas, ver desde lo más pequeño para transformar las situaciones más complejas y de mayores dimensiones.

Es nuestra invitación desde Predictiva21.

Editorial

## DIRECTORIO

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

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

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

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

# Gestión de Activo 4.0

Predicción del índice de fiabilidad y crecimiento de fiabilidad automática

(Fiabilidad 4.0)

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

**Equipment Details:**

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

**Equipment Reliability:**

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

**Maintenance History Table:**

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

Additional interface elements include a 'Reliability & Unreliability graph' and 'MTBF Trend graph' button, and a 'Maintenance History' table with columns for Failures, Entered Service, Failure Event, Return to Service, Reported By, Service Period (days), Time Between Failures (hrs), Days to Repair, Time to Repair (hrs), and Failure Mode.

Más Información:  
ec@duardocalixto.com

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

# PHM

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

[www.eduardocalixto.com](http://www.eduardocalixto.com)



E&M Solutions  
CONSULTORÍA EN

**CONFIABILIDAD**



# ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

## RCM

MANTENIMIENTO CENTRADO  
EN CONFIABILIDAD

# ANÁLISIS RAM DE SISTEMAS COMPLEJOS





Por:  
Irene González  
irene.gonzalez@predictiva21.com  
[www.predictiva21.com](http://www.predictiva21.com)

# Entrevista a Santiago Sotuyo Blanco

## Vocación por el trabajo voluntario

Desde que obtuvo el título como Ingeniero Industrial en la opción Mecánica en la Universidad de la República de Uruguay, su hoja de vida certifica que el Mantenimiento y la Confiabilidad serían su norte. Una intensa y productiva trayectoria por diferentes países lo ubican como experto en Gestión de Activos en el ámbito internacional. Apasionado por la industria, se ha propuesto dos objetivos claros: su crecimiento profesional y el aporte de sus conocimientos, como parte de su responsabilidad social con la comunidad y el mundo.

En esta corta entrevista para Predictiva21, Santiago Sotuyo expone claramente el significado que para él tiene su trabajo en la industria: **pasión, dedicación y vocación de trabajo voluntario.**

**P21: Háblenos un poco de su experiencia a nivel general en URUMAN ¿Qué enseñanzas de vida pudiera compartir con el conglomerado de Confiabilidad y Gestión de Activos, especialmente con quienes se inician en la industria?**

**SS:** Mi experiencia comienza cuando en 1989, al año de graduarme como Ingeniero Industrial en Uruguay, participo en un curso de Gestión e Ingeniería de Mantenimiento, organizado por UNIT (Instituto Uruguayo de Normas Técnicas), en Montevideo, dictado por Thomas Alund del MGruppen de Suecia. Al año siguiente, 1990, viajo a Suecia becado por la Agencia Sueca de Cooperación (BITS), para asistir a un Programa de Formación en el tema, lo cual se complementa en 1993 con la participación en un Seminario de Alta Gerencia, también en Suecia.

Al volver de la primera beca, en la segunda mitad de 1990, siendo docente de la Facultad de Ingeniería (FING) de la Universidad de la República (UDELAR), en el Departamento de Producción Industrial, se me asigna la responsabilidad de dictar el curso de Gestión e Ingeniería de Mantenimiento, responsabilidad que duró 15 años.

Al volver de la segunda beca, en la segunda mitad del 1993, siendo directivo de la Asociación de Ingenieros del Uruguay (AIU), combinamos ambos roles, docente y directivo, y organizamos una encuesta sobre "Situación del Mantenimiento en la Industria Uruguaya", con la participación de estudiantes de ingeniería como encuestadores y mediante un convenio entre la FING, v/a AIU y la Cámara de Industrias (CIU).

Al año siguiente 1994, la AIU me nombra "Delegado por Uruguay" en el Comité Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento (COPIMAN), cuyo Presidente en esa época era el Prof. Ing. Lourival Augusto Tavares. En el 1995, Lourival Tavares dicta los primeros cursos en Uruguay, en marco del Convenio AIU-CIU, los que luego seguirán hasta el día de hoy en el marco de URUMAN.

En este período se forma la Comisión de Mantenimiento de la AIU, integrada por los

Ings. Mario Albornoz, Francisco Tangari y por mí.

La misma se convertiría en el año 2004, en la base de la Directiva local del COPIMAN, cuando en ese año, la Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros (UPADI), entidad madre del COPIMAN, decide cambiar la sede del COPIMAN de Brasil a Uruguay, de acuerdo con los límites de tiempo por estatutos que un comité técnico podía seguir teniendo sede en un mismo país. Dicha decisión incluía mi nombramiento como "Presidente del COPIMAN", lo cual fui hasta 2010, cuando pasó la sede a Costa Rica, con la presidencia del Ing. Julio Carvajal Brenes.

Es en ese 2004, y aprovechando el impulso de haber tomado sede del COPIMAN, que, con todo el apoyo de la AIU, se decide, a iniciativa mía, la creación de URUMAN.

URUMAN es la Sociedad Uruguaya de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad.

Es una asociación sin fines de lucro integrada por Profesionales y Técnicos de las áreas del Mantenimiento, la Gestión de Activos y la Confiabilidad del sector público y privado. La misma procura la jerarquización de estas tareas de alta profesionalidad en beneficio de las empresas, la economía y la comunidad en general.

Fue creada en 2004 (aunque su personería jurídica la obtiene en 2013) con el objetivo de, como dicen sus estatutos: "Crear un ámbito de participación de todas las personas físicas y jurídicas relacionadas con el Mantenimiento, la Gestión de Activos Físicos y la Confiabilidad que manifiesten interés en mejorar sus técnicas y conocimientos, intercambiar información, difundir conocimientos a la sociedad y colaborar con organizaciones públicas o privadas vinculadas con el tema." Y que tiene la misión de: "Analizar y proponer soluciones multidisciplinarias a los problemas de desarrollo técnico, social y económico específicamente en el área del Mantenimiento, la Gestión de Activos Físicos y la Confiabilidad, así como participar en las actividades de organizaciones nacionales e internacionales en su campo de actuación, en aspectos tales como, educación,

Aprovechando el impulso de haber tomado sede del COPIMAN, que, con todo el apoyo de la AIU, se decide, a iniciativa mía, la creación de URUMAN. **URUMAN es la Sociedad Uruguaya de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad.**

En el 2019 se llevo a cabo el Congreso URUMAN #15





gobierno, regulaciones, estandarización, etc." En URUMAN decimos que: "Sin Confiabilidad no es posible alcanzar los objetivos de Productividad, Costo, Calidad, Seguridad y Cuidado de Medio Ambiente, que se plantean hoy en día."

Entre sus actividades principales se destacan: la realización del Congreso Anual de URUMAN, ya llevamos 15 años consecutivos con Congresos, la realización de Cursos con profesores invitados, la difusión de cursos realizados por las empresas patrocinadores.

En la etapa actual pensamos en incorporar eventos basados en Web como: seminarios web, cursos web, mesas redondas de temas específicos web, eventos con charlas múltiples de corta duración vía web a modo de pequeños Congresos Web.

Todo este ciclo de URUMAN y COPIMAN ha sido una extraordinaria oportunidad de desarrollar trabajo voluntario, y de compartir toda la experiencia y conocimiento profesional que hemos adquirido en tantos años de trabajo (36) como de actividad profesional como Ingeniero (32).

Actualmente, nos hemos incorporado como miembros del Capítulo Latino Americano de la SMRP (SMRP Latin American Affiliate). En donde encontramos otro lugar adicional para desarrollar nuestra vocación de trabajo voluntario.

Este periplo nos ha dejado, y nos sigue dejando enseñanzas muy valiosas, pues además de trabajar profesionalmente, y desarrollar por tanto nuestra familia mediante ello, podemos colaborar voluntariamente, aportando lo nuestro a la comunidad de profesionales y técnicos de mantenimiento, gestión de activos y confiabilidad, y esto es una responsabilidad social que tenemos y que debemos promover.

Hay que trabajar con seriedad y profesionalidad, tanto en el ámbito de nuestro trabajo profesional rentado, como en nuestro campo de trabajo voluntario,

desarrollando ambos con el mismo nivel de calidad. Pues no se trata de dar lo que nos sobra, como quien da limosna, sino de compartir lo mejor que tenemos, lo único insustituible en esta vida, que es nuestro tiempo.

A los jóvenes profesionales y técnicos que se inician en la industria, el mejor consejo que tengo es que trabajen por su pasión, si realmente los apasiona algo, que se dediquen de cuerpo y alma, desarrollando tanto trabajo profesional como voluntario, este último, es la prueba final de la verdadera pasión: ¡Nadie hace gratis aquello que no le gusta, que no ama!

Asimismo, esa prueba vocacional, o test de la pasión como llamo, ayuda a impulsarnos en la mejora continua profesional, al obligarnos a estar al día con el conocimiento, a mantener redes de contactos con profesionales de nuestro país y la región. Por tanto, además de conseguir un trabajo y comenzar a desarrollar una carrera profesional o técnica, acérquense a la comunidad de colegas, participen en las asociaciones que existan en sus países y región, sean parte activa de esa comunidad, les permitirá enriquecerse con el conocimiento compartido, así como luego, les dará la oportunidad de retribuir a esa comunidad con vuestro aporte de conocimiento y experiencia. Es como la famosa cadena de favores, recibimos aportes de unos que nos precedieron, y lo devolvemos a quienes nos siguen. Como el testigo en la carrera de postas.

### **P21: ¿Cuáles retos enfrenta la industria actualmente ante esta crisis mundial? En el caso específico de URUMAN, ¿Cómo se pueden afrontar estos retos?**

**SS:** Los retos que la industria enfrenta en estos momentos son amplios y diversos, se pronostica una caída del PBI mundial de aproximadamente 3% en promedio, y en la región latinoamericana probablemente sea mayor aún, por causa de la crisis mundial provocada por la pandemia del coronavirus. Dentro de esa problemática, como en todo reto o crisis, existe la semilla de la oportunidad, de aprender e incorporar cosas nuevas que nos hagan mejores y más fuertes.

Los líderes de la industria, y en particular los líderes responsables de los activos físicos, su diseño, compra, instalación, operación y mantenimiento, se ven ante una presión mayor aún de lograr mantener y/o mejorar el desempeño, controlar los riesgos y asegurar, o al menos no dejar caer demasiado los resultados. Esta presión es particularmente fuerte sobre aquellos líderes responsables de definir las estrategias de mantenimiento de los activos, acción clave para asegurar la confiabilidad. Los métodos tradicionales ya no son suficientes para asegurar un plan de mantenimiento efectivo, hacer un mero plan



basado solo en las recomendaciones del fabricante, o en nuestra experiencia cualitativa, no es suficiente. Y mucho menos si esto se realiza en forma de un proyecto puntual, y se lo deja estático, sin una revisión periódica, ni adecuación al contexto cambiante. Sin embargo, esto es lo que están haciendo la mayoría de las industrias.

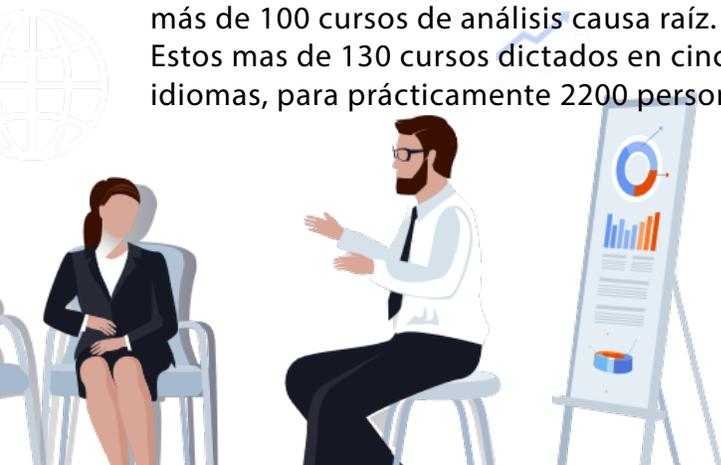
En este marco de crisis por la pandemia, con riesgos en la continuidad del negocio de no retomar rápidamente las actividades y en caso de poder retomarlas, con costos extras asociados a las reglas de la nueva normalidad, con reglas de prevención de riesgos asociados a esta situación: uso de tapabocas, distanciamiento social e higiene personal llevada al extremo, aparecen como alternativas el acelerar los procesos que ya se estaban perfilando anteriormente de: automatización, digitalización, uso masivo de datos, trabajo remoto, etc.

Hace ocho (8) años que trabajo como Gerente de Ingeniería para Latinoamérica en ARMS Reliability, empresa global de ingeniería de confiabilidad, de origen australiana, con más de 25 años de experiencia.

En ARMS Reliability hace tiempo que estamos aplicando y desarrollando herramientas que vienen a resolver perfectamente muchos de los problemas en estos tiempos de pandemia. Siendo pioneros en diversos desarrollos que se han mostrado como fundamentales para sobrellevar mejor estas nuevas realidades y los desafíos futuros.

En particular organizaciones como URUMAN, COPIMAN y SMRP son excelentes ámbitos donde los profesionales y técnicos pueden ofrecer y buscar apoyo para desarrollar soluciones a la medida de sus necesidades, escuchando, comparando, proponiendo y ensayando sus ideas de solución y cooperación, con el conjunto de colegas de la comunidad de mantenimiento, gestión de activos y confiabilidad.

En los 8 años de ARMS llevo mas de 30 cursos de diversas herramientas de confiabilidad, más de 100 cursos de análisis causa raíz. Estos mas de 130 cursos dictados en cinco idiomas, para prácticamente 2200 personas.



Primero, en la aplicación de análisis cuantitativos de la confiabilidad. Desde hace 25 años que se comenzaron a utilizar softwares estadísticos para su aplicación en la industria, como herramienta de análisis de datos para la optimización de estrategias de mantenimiento. En aquella época se realizaban proyectos puntuales para cada cliente optimizando y resolviendo problemas con diferentes herramientas de confiabilidad como ser RCM, RBD, RCA, Weibull, LCC, etc.

Segundo, en el desarrollo de procesos, en lugar de proyectos puntuales, para la mejora continua de las estrategias de confiabilidad, como la Gestión de Estrategias de Activos (ASM por sus siglas en inglés). Incluyendo el desarrollo de la plataforma digital OnePM, herramienta que permite su realización en forma completa y ágil. Permite la integración de múltiples herramientas de confiabilidad en una sola plataforma. Además de que satisface los requisitos de integración total con los sistemas de gestión de la ejecución del mantenimiento (CMMS por sus siglas en inglés), y con los sistemas de gestión de la salud y desempeño de los activos (APM por sus siglas en inglés).

Y tercero, en la creación y divulgación de una biblioteca con más de 1200 tipos de componentes, 8000 ítems de componentes, 50000 modos de falla y 175000 acciones de mitigación y secundarias. La cual permite construir, desplegar y sostener en forma muy ágil, estrategias de mantenimiento de activos tanto para plantas en operación como para proyectos nuevos, respetando la posibilidad de realizar variaciones por criticidad, marca, modelo y contexto operacional de las estrategias de mantenimiento desarrolladas.

Estas creo que son algunas de las herramientas adecuadas para enfrentar los retos que nos presenta

50% de mi carrera fue en plantas o vinculado a empresas agroindustriales principalmente, logísticas y mineras en Uruguay. Y el otro 50% en consultoría fuera de Uruguay (Ellmann y ARMS).

Fuera de Uruguay, he estado en 33 países de las tres Américas, Europa y África. En 24 de ellos por trabajo directo, en 19 de ellos por conferencias, en 16 de ellos adicionalmente por turismo y en 5 por estudios. Muchos años, muchos viajes, muchos caminos recorridos y muchos por recorrer, mucha experiencia acumulada y compartida.

la crisis actual en el campo de la gestión de activos.

**P21: Una pandemia afecta al mundo en todos los aspectos y los expertos predicen que estará por mucho tiempo, ¿Qué cambios trascendentes está presentando la industria en la Gestión de Activos? Según usted: ¿Qué beneficios y adversidades traerá esta pandemia para la industria?**

**SS:** Sinceramente espero que dichos expertos se equivoquen y la pandemia no dure mucho. Lo que si durará mucho serán sus efectos. Continuando con lo dicho en la pregunta anterior, los cambios más grandes que la industria tendrá en la Gestión de Activos serán el impulso a la digitalización de la industria, acelerando sin dudas los cambios asociados a la Industria 4.0. Esto traerá sin dudas cambios en el empleo, generando en el corto plazo desempleo, que deberá ser compensado con el reciclaje de profesionales y técnicos a otras áreas. Por ejemplo, el área del mantenimiento predictivo se verá seriamente afectada, pues muchos de los inspectores predictivos serán sustituidos por sensores múltiples y los analistas por sistemas de inteligencia artificial (AI) y aprendizaje de máquinas (machine learning). Por otro lado, el crecimiento de la demanda de analistas e ingenieros de confiabilidad para los nuevos procesos de Gestión de Estrategia de Activos en sus etapas de Construir, Desplegar y Sostener la gestión de las nuevas estrategias, adecuándolas continuamente a los cambiantes contextos operacionales, generará oportunidades de desarrollo para muchos de esos profesionales y técnicos. Además de esto la tarea final de ir al campo y ejecutar la reparación y/o cambio de piezas seguirá existiendo, y se requerirá personal muy bien formado y entrenado para su ejecución, pues en el futuro se tolerará menos el error y se requerirá una precisión de trabajo, que solo será posible lograr con personal altamente especializado, dotado de las tecnologías que ayuden a garantizar la precisión que los trabajos requerirán. Asimismo, la toma de conciencia sobre la importancia general de la Gestión de Activos y su vital trascendencia en la continuidad del negocio, ante posibles crisis futuras como esta pandemia actual, será un polo de

atracción para el desarrollo de mejores metodologías y mejores herramientas para resolver y gestionar los problemas críticos y repetitivos de hoy en este campo.

**P21: ¿Cómo está usted sobrellevando estos cambios y qué recomendaciones haría a otros profesionales y empresas?**

**SS:** Por suerte, en ARMS Reliability estábamos preparados para esta situación, pues ya desarrollábamos muchas actividades para nuestros clientes e internas en forma remota, con profesionales ubicados en distintas regiones del mundo. Teníamos las capacidades y la tecnología para realizar la transición al trabajo remoto sin afectar el desempeño ni el servicio a nuestros clientes.

Si bien sabemos que la interacción física en las actividades de formación y consultoría son un valor esencial, que aumenta la sinergia de la cooperación, pudimos sustituirlo por el contacto virtual de forma satisfactoria, intensificando los contactos vía web para compensar la distancia, y con excelente retroalimentación de parte de los clientes, quienes han seguido recibiendo el trabajo de calidad que ARMS Reliability siempre ofrece. En lo personal esto ha hecho que deba suspender los viajes, lo cual fue una mejora para estar más con la familia, pero por otro lado se extrañan los viajes y ese factor de descubrimiento de las diferentes realidades de los clientes en las diferentes regiones y culturas. Ese peregrinaje ha sido parte importante de mi vida profesional y personal.

Finalmente, no sé si yo soy quién, para andar dando consejos a otros colegas y empresas, seguramente que muchos de ellos ya se han adaptado a esta situación de crisis y pandemia y la están sobrellevando muy bien, espero que con igual o mejor suerte que nosotros, y espero también que en breve estemos todos saliendo, en nuestra querida Latino América, y en el Mundo entero, de esta pandemia, para reencontrarnos en un abrazo fraterno, y poder así seguir juntos desarrollando nuestra pasión, en el siempre exigente Camino a la Confiabilidad.



### Santiago Sotuyo Blanco

Ing. Ind. Santiago Sotuyo Blanco, CMRP, CRL, AMP-SCap.

Gerente Ingeniería Latino América, ARMS RELIABILITY. Consultora de Ingeniería de Confiabilidad y Gestión de Activos. 2012-Hoy.

Supervisa el desarrollo de proyectos de ARMS Reliability en Latino América, los cuales se centran en ayudar a sus clientes a ser seguros y exitosos, al hacer realidad la confiabilidad. Es líder en Latino América en la difusión de la Gestión de Estrategias de Activos, un proceso habilitado por personas, tecnología y datos para mantener un enfoque basado en la confiabilidad para mejorar el rendimiento de los activos. Ex Gerente Operaciones-Logística, MINERA ARATIRI. Exploración mineral de hierro. Uruguay, 2010-2012. Ex Vicepresidente, ANP, Administración Nacional de Puertos. Uruguay. 2008-2010. Ex Consultor-Senior, Ellmann-Sueiro y Asoc. Consultora Confiabilidad, Latino América. 2000-2010. Ocupó diversos cargos en: mantenimiento, ingeniería, logística, gestión industrial; en empresas de Uruguay, ramos de: ingeniería, agronegocios, cueros, alimentos. 35 años de experiencia laboral. 31 años como profesional de la ingeniería. Ingeniero Industrial. Especializado en Ingeniería de Mantenimiento e Ingeniería de Confiabilidad. Profesional Certificado: CMRP (Mantenimiento y Confiabilidad), CRL (Liderazgo en Confiabilidad), AMP-S (Gestión de Activos nivel Estratégico). Ex Presidente de URUMAN, Sociedad Uruguaya de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad. 2004-2019. Actual Vicepresidente de RUMAN. 2019-hoy. Ex Presidente COPIMAN, Comité Panamericano de Ingeniería de Mantenimiento. 2004-2010. Uruguay, casado, 58 años, 2 hijas.



# El tiempo no perdona

Brau Clemenza

brclemenza@hotmail.com

[www.sistemademantenimiento.com](http://www.sistemademantenimiento.com)

Quizá hemos escuchado esta frase o cuando reflexionamos y pensamos que estamos volviéndonos viejos: hemos engordado, nos salen arrugas, se nos cae el pelo, nos salen canas; en general, cambiamos nuestra fisonomía, o simplemente el haber tomado malas decisiones que con el pasar de los años, “El Tiempo” nos pasa factura sin ningún tipo de piedad. Igualmente sucede lo mismo en una gestión cualquiera que sea ésta. Tomar decisiones acertadas, oportunas y seguras en conjunto es la mejor estrategia de un hombre o mujer de mantenimiento; no hacer nada también trae sus consecuencias.

## ¿Qué quiero significar con esto?

Que “El Tiempo” es una de las cosas más importantes en una planta. Éste lo definimos como: una magnitud física con que mide la duración o separación de acontecimientos y es parte natural de las personas. En este mismo sentido, cuando estamos en una planta, vemos personal corriendo de un lado a otro, unos parados y conversando, otros realizando alguna actividad. Posiblemente esto puede ser el resultado de cualquiera de los escenarios que a continuación enumero:

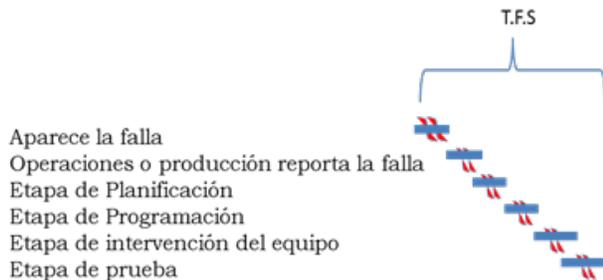
1. La planta está en una excesiva actividad debido al poco control sobre la operatividad de los equipos, significa estar en una continua emergencia, carrera tras carrera y “El Tiempo” no les alcanza, producto del mal control del Backlog, ocasionado posiblemente por una débil o mala planificación y/o programación, problema de organización, antigüedad de la planta,

que ocasiona un desbalanceo marcado de la carga de trabajo. Muchas más pueden ser las causas, o simplemente, la gente está realizando sus tareas correctamente, pero no hay “El Tiempo” suficiente para atender los trabajos, igualmente por muchas razones.

2. La planta está tan bien mantenida y los equipos están funcionando efectivamente dentro de valores aceptables de operación y mantenimiento, observando posiblemente gente desocupada, principalmente el personal de operaciones o producción y en menor proporción, el de mantenimiento.
3. Una débil supervisión, la gente no está aprovechando al máximo el tiempo que hay disponible.
4. Es una planta nueva y recién inicia sus operaciones y está en un período de ajustes.

Muchas cosas pueden estar pasando en una planta cuando no hay control sobre las variables tiempo y gente. En una planta siempre, óigase bien, siempre habrá algo que hacer por su complejidad y dinamismo. Siempre habrá algo que construir en el sentido de los aportes, análisis y revisiones que se hagan para optimizar el proceso de mantenimiento. Un aspecto muy importante que siempre traigo a colación son los protocolos que incluyen los procedimientos de intervención y monitoreo de trabajos de mantenimiento. Estos son muchos en una planta y debemos elaborarlos progresivamente. Pienso que debemos aprovechar al máximo el tiempo para ir

construyendo un banco de protocolos, probarlos, ponerlos en prácticas, y cada día mejorarlos. Solo conozco una manera de alargar la vida útil del equipamiento y es “manteniéndolos y operándolos correctamente”. Recuerde mi máxima que me acompaña siempre como consultor: “No se puede mantener lo que no se conoce y si se conoce hay que saber cómo hacerlo” y para que ‘El Tiempo’ no nos pase factura, debemos aprovecharlo correctamente al máximo en una planta y por qué no decirlo, en nuestra vida. Indudablemente para el caso nos ocupa, que es el mantenimiento, esto no lo haríamos si no hay un personal con mucha mística y comprometido con la gestión en cuanto a sus “Actitudes y Aptitudes”. En uno de mis artículos de esta revista comenté sobre ello.



Un aspecto de mucha importancia tiene que ver con los tiempos logísticos para atender un trabajo de mantenimiento. A continuación se ilustra un esquema. T.F.S significa Tiempo Fuera de Servicio. El símbolo

indica el lapso que se toma para atender cada uno de esos tiempos logísticos. Y estos pueden variar de acuerdo a “cuán bien” sean aprovechados, evitando así, que con el desperdicio del tiempo en cualquiera de esas etapas, “El Tiempo” no nos perdone y pase su factura, ocasionando, por ejemplo, un aumento en la indisponibilidad del equipo y por consiguiente una baja disponibilidad. Por otro lado, hay que tener mucho cuidado y no ser tan temerario cuando decimos que un valor de una disponibilidad, ya sea por fallas, por preventivo, operativa o simplemente una global de un equipo o de la planta, es tal, o está dentro de unos intervalos, si estos tiempos no son acertados, oportunos y confiables en cuanto a los tiempos logísticos. En consecuencia, sin esas tres condiciones anteriores, no podrán ser insumos para cualquier análisis o investigación que se haga. Indudablemente tendrán resultados incorrectos y con una gran desviación.

Para finalizar, quisiera terminar con otra frase muy común: “El Tiempo es Oro”, por lo tanto, aprovéchelo para mejorar sus procesos en una planta, pero siempre cuidándose de que el personal no lo vea como una carga más de trabajo. Piense en algún tipo de incentivos que puedan ayudar a comprometer más a la gente y hacerla más participativa en todas estas mejoras que se puedan construir.

Una estrategia podría ser la conformación de un comité de “Optimización del Tiempo” con un programa adicional de beneficio ¿Por qué no lo piensa?

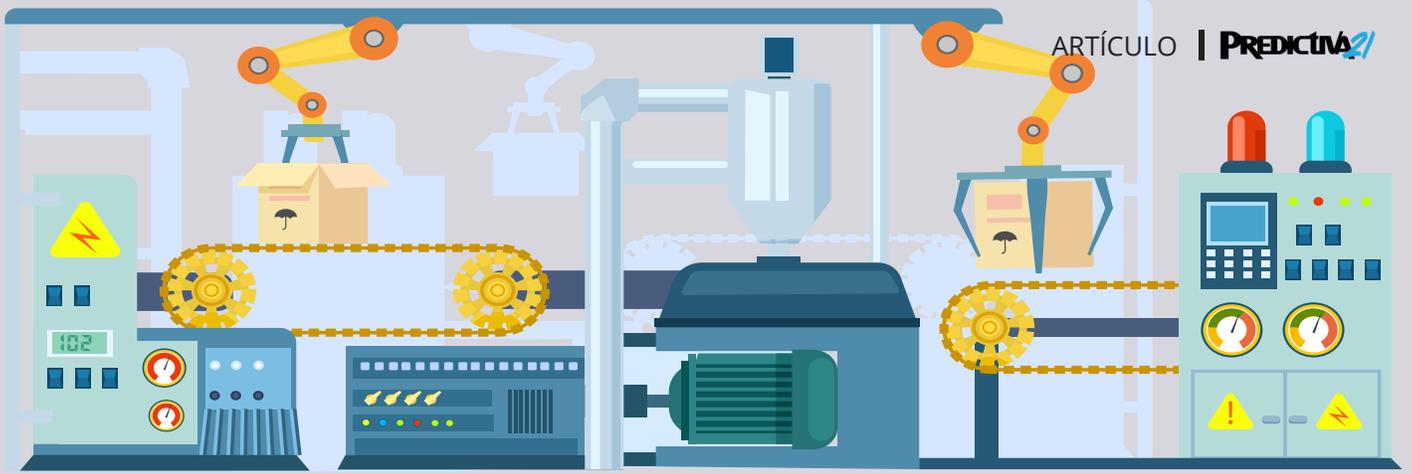
# DIAGNÓSTIC ASISTID

## DEL PROGRAMA DE LUBRICACIÓN



**Tú equipo al frente del diagnóstico con el apoyo y la metodología ASCEND™ de Noria**

[www.noria.mx](http://www.noria.mx)



# El Revolución Industrial Aprendiendo a evolucionar

Irene González

irene.gonzalez@predictiva21.com

www.predictiva21.com

El crecimiento poblacional del Reino Unido a finales del año 1700 dio origen a un movimiento que propició el desarrollo tecnológico y económico de Inglaterra y otros países. Según los especialistas se han desarrollado cuatro etapas: las dos primeras, donde se establecen mecanismos adoptados por los países que asumieron el liderazgo económico como Inglaterra, Estados Unidos y Alemania. La tercera, donde se desarrolló la tecnología de las comunicaciones y la cuarta, la de la inteligencia artificial y el Big Data. Algunos hablan de una quinta, una era digital que, acelerada por la pandemia del COVID19, nos encamina hacia el desarrollo de habilidades que nos permitan sobrevivir en medio de la inteligencia artificial.

La revolución industrial se conoce como el periodo histórico caracterizado por una completa industrialización que tuvo origen en el Reino Unido a finales de los años 1700 y se extendió hasta inicios del siglo XIX. Durante este periodo se desarrolló la mecanización de la agricultura y la industria textil, surgieron maquinarias de transporte como los barcos de vapor y trenes. Estos cambios generaron consecuencias positivas en los aspectos social y cultural, no solamente en el económico. Las condiciones de trabajo también cambiaron en todo el mundo como parte del producto de esta revolución.

**El término de Revolución Industrial fue acuñado por el historiador inglés Arnold Toynbee para referirse al desarrollo de la economía británica de 1760 a 1840**

## Un poco de historia

La Revolución Agraria Británica, que venía dándose desde el siglo VII, fue uno de los factores que tuvo más influencia en el crecimiento de este movimiento que devino en la

Revolución Industrial. Para finales del siglo XIX, la mayoría de los agricultores era dueños de sus propias granjas. El aumento significativo de sus ganancias generó un excedente de comida y crecimiento poblacional. La fuerza hidráulica comienza a ser fundamental para el desarrollo de las industrias. Junto con el vapor y el hierro, más una sociedad inglesa en calma política y económicamente, dieron paso a la inversión para una tecnología más moderna.

**La Industria Textil es considerada como la que inició la Revolución Industrial.**

## Primera Revolución Industrial (1760-1830)

El tejido de lana cambió al de algodón e inició el comercio entre Estados Unidos y el Reino Unido para la comercialización de esta materia prima. Inglaterra se convirtió en una potencia económica mundial debido al crecimiento de maquinaria y las invenciones que permitían crear objetos con mayor rapidez que la mano de obra humana. La industria metalúrgica tuvo un gran avance con el uso de combustibles fósiles, mejorando la calidad de los productos, mayor productividad y creación de nuevos productos a gran escala.

## Segunda Revolución Industrial (1879-1914)

A principios de 1870 surge la nueva industria del metal para satisfacer la creación masiva de trenes y ferrocarriles necesarios para el transporte. Crece la industria química, de creación y distribución de bienes petroleros. La industria eléctrica también se encontraba en desarrollo y a inicios del siglo XX, el surgimiento de la industria automotriz complementó la Segunda Revolución Industrial.

Es notorio el cambio del orden económico mundial, al convertirse Estados Unidos y Alemania en los principales productores industriales del mundo.

## Más de 150 años tardó en llegar la revolución industrial a México.

En México, al igual que en el resto de América Latina, la Primera Revolución Industrial pasó inadvertida. Durante la época del virreinato de Nueva España, cuando el territorio era una colonia española, las condiciones políticas, económicas y sociales de esta colonia rica en metales preciosos no permitieron su desarrollo industria, pues padecía el mismo atraso económico e ideológico de las colonias del imperio español.

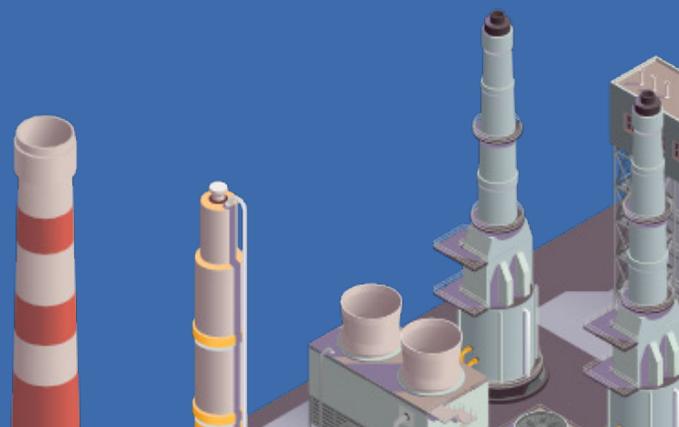
Durante la dictadura del general Porfirio Díaz, (1876 a 1911), el país comienza la primera fase de su desarrollo económico. La instalación y diseminación del sistema ferroviario permitió comunicar las distintas regiones e impulsar el comercio interno y externo. Los primeros 25 años del siglo XIX constituyeron el inicio del proceso de industrialización, que se denominó "economía enclave", etapa en la que la economía se concentró en la explotación y exportación de algodón, cacao y café. A partir de 1940 comenzó el desplazamiento del capital y la atención política de la agricultura a la industria. En esta etapa México logra grandes avances para su industrialización. Es aquí cuando comienza realmente el crecimiento económico sostenido del país y la Revolución Industrial, también conocido como el "milagro mexicano".

### Cambios que generó la Revolución Industrial

1. Uso de nuevos materiales y materias primas, como hierro y acero.
2. Uso de fuentes de energía además del carbón: gasolina, electricidad y vapor. Surgen los motores de combustión interna.
3. Invención de nuevas máquinas que permitieron optimizar la producción con menos mano de obra humana.
4. Nueva organización de trabajo
5. Desarrollo en las comunicaciones y el transporte: locomotora a vapor, automóvil, avión, telégrafo y la radio
6. Incremento en la aplicación de las ciencias en la industria
7. Desarrollo de movimientos en la clase trabajadora
8. Disminuyen los artesanos y surgen los operarios de máquinas
9. Nace el telégrafo, innovación que permitió acortar las distancias en la comunicación
10. El uso de la electricidad fue facilitado por la creación de tres tipos de maquinaria: la primera eran las turbinas, las cuales eran capaces de generar la energía eléctrica. La segunda eran los acumuladores eléctricos, que permitían transportar la electricidad. La tercera eran los motores, capaces de convertirla en energía productiva para las máquinas.

### Consecuencias más visibles de la Revolución Industrial mexicana:

1. La organización social y económica del capital se dio en torno a asociaciones comerciales, establecimiento de la banca, compañías de seguros, sindicatos y otros organismos.
2. Se desarrolló el sistema de crédito por rentas.
3. El modo de producción semifeudal o precapitalistas dio paso a la producción intensiva en el campo y la ciudad.
4. Se produjo el éxodo de mano de obra campesina hacia las ciudades, trayendo como consecuencia la concentración poblacional en los centros urbanos industriales.
5. Con la producción en serie se abarataron los precios de muchos artículos y la población pudo acceder más a ellos.
6. Miles de mujeres se incorporan a las fábricas, con lo cual el trabajo doméstico disminuyó.
7. La incorporación de la mujer en el trabajo industrial provocó un cambio en las costumbres familiares.
8. México pasó de ser una sociedad agraria atrasada a una nación industrial. La industria desplazó a la agricultura como principal empleadora de mano de obra.
9. Los sectores industriales, comerciales y de servicios pasaron a ser los más influyentes en la economía. v



## La Tercera Revolución Industrial

Iniciada a mediados del siglo XX, la Tercera Revolución Industrial fue un proceso multipolar, liderado por Estados Unidos, Japón y la Unión Europea y se vincula con el término «Sociedad de la Información», concepto emitido por el sociólogo y economista norteamericano Jeremy Rifkin, que se basa en la confluencia y complementariedad de las nuevas tecnologías de la comunicación y energía.

**La Tercera Revolución Industrial se asienta sobre nuevas tecnologías de la información y la comunicación, así como en las innovaciones que permiten el desarrollo de energías renovables.**

Mencionemos algunas repercusiones que está teniendo esta relación:

1. La expansión de energías renovables.
2. La conversión de edificios en plantas de energía.
3. Innovaciones en relación con los medios y procesos de almacenamiento de energía.
4. Difusión de lo smart: smart city (ciudad inteligente), smart grid (distribución inteligente de energía), smart phone, smart TV...
5. Formas de transporte más eficientes y menos contaminante (vehículos eléctricos, híbridos, entre otros).

## La Cuarta Revolución Industrial y la automatización

Podemos concebir la Cuarta Revolución Industrial como un conjunto de cuatro “economías.” Cambios exponenciales en tecnologías de informática, telecomunicaciones, inteligencia artificial, ciencias de la vida, robótica, cambiarán fundamentalmente cómo vivimos e interactuamos en la economía del conocimiento que posibilita una economía compartida en la nube y junto con tecnologías como blockchain, impresión en 3-D y realidad aumentada, facilita la descentralización de la actividad económica y resulta en una economía distribuida. En esta economía disminuyen las ventajas de escala e incrementan las ventajas de agilidad y creatividad.

La cuarta revolución Industrial lo está cambiando todo y

La automatización afectará sobre todo a profesiones que contemplan tareas repetitivas, como operadores telefónicos, cajeros de los supermercados, trabajos del campo administrativo y todo lo que tenga que ver con el transporte y la logística. Nuevos empleos surgirán, sin embargo, gracias a la innovación tecnológica. Las profesiones que serán más cotizadas en el futuro serán los programadores informáticos; empleados de marketing y comunicación; puestos relacionados con el diseño visual y la creatividad digital y los de estrategia y gestión de negocio, según el informe sobre el Futuro del trabajo de la consultora Adecco. “Los trabajos que necesitan mayor nivel de formación y creatividad son los que tendrán más márgenes para estar garantizados en un futuro, mientras que los empleos más repetitivos serán condenados a desaparecer”. Xavier Busquets, catedrático de comercio digital de ESADE.

está haciendo que no solo la relación de las empresas con los consumidores sino también el modo de producir y vender esté cambiando. La revolución 4.0 no debe confundirse con la automatización del trabajo (que sería en realidad el cambio anterior) sino más bien con la conversión del entorno en algo Smart, Todo, desde la producción a los modelos de negocio y la relación con el consumidor, se digitaliza.

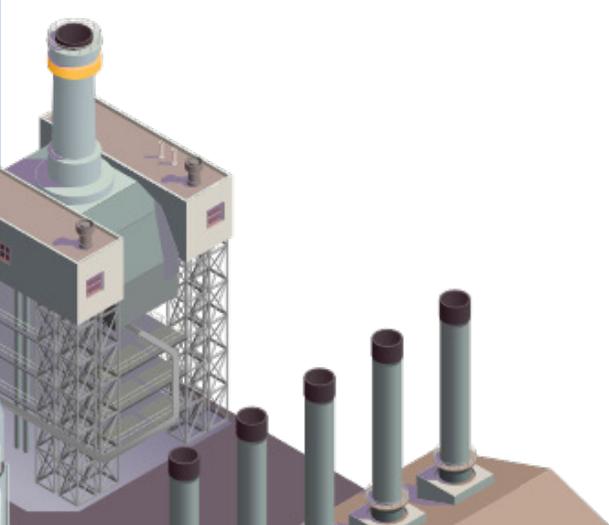
La robótica entrará en la era moderna con la misma fuerza con que lo hizo la máquina de vapor en la época preindustrial. Nanotecnologías, inteligencia artificial, drones e impresoras 3D modificarán la sociedad en todas sus dimensiones, y particularmente en el ámbito laboral.

## Y a México, ¿llega la Cuarta Revolución Industrial?

En el portal del diario expansión.mx, Richard Wells Viesca hace un análisis de cómo la cuarta Revolución Industrial representa una oportunidad para México.

“No cabe duda de que la Cuarta Revolución Industrial presenta oportunidades de crear un país más justo y más sustentable: puede crear oportunidades para pequeñas empresas locales, liberar a los seres humanos de trabajos degradantes, peligrosos y agotadores, y enfrentar graves problemas ambientales como el cambio climático, la escasez del agua y la pérdida de los hábitats y biodiversidad. Pero en la otra cara de la moneda, una de las sociedades más desiguales del mundo está en riesgo de volverse aún más desigual con una deriva tecnológica que divide drásticamente.

Sin embargo, Rodrigo Riquelme en su artículo publicado en El Economista, “México llega con retraso a la Cuarta Revolución Industrial”, indica que el Internet de las Cosas



(IoT), el Big Data, la robótica, la inteligencia artificial y la nanotecnología serán los fundamentos de la cuarta revolución industrial, para lo que México no está preparado.

En su artículo cita a Jose Luis de la Cruz, director del instituto para el Desarrollo Industrial y el crecimiento Económico (IDIC), quien manifiesta que durante 25 años el país renunció a contar con una política industrial y, con ello, al desarrollo de una industria nacional fuerte, que tuviera la innovación tecnológica como mecanismo de crecimiento. “Solo una política de Estado integral, en colaboración con el sector privado y con el sistema educativo, será capaz de permitir que México entre a la Cuarta Revolución Industrial”, señala De la Cruz. De acuerdo con la opinión de Ricardo Zermeño, director general de Select, consultoría especializada en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, solo el 23% de las empresas mexicanas ha sido capaz de transformarse digitalmente, de transitar hacia la Cuarta Revolución Industrial. La resistencia al cambio tanto de las empresas privadas como del gobierno es el principal motivo de que no se dé el paso hacia la industria 4.0, según la consultora.

### Un factor inesperado: El coronavirus

Roberto Ranz, director de ASTI Talent & Tech Foundation deja una reflexión sobre la inesperada llegada del coronavirus y la nueva etapa que inicia, tomando en cuenta las nuevas habilidades que habrá que desarrollar puesto que estarán asociados a la ciencia, tecnología y matemáticas, mejor conocidos como ámbito STEM. “Perfiles como analistas de datos, especialistas en inteligencia artificial y machine learning o expertos en big data. Pero también que estos perfiles se combinan e hibridan con competencias como la innovación, el pensamiento analítico, el aprendizaje a lo largo de la vida, la creatividad, la inteligencia emocional, la originalidad, la iniciativa o el pensamiento crítico. Justamente, muchas de aquellas competencias y el talento que no puede desempeñar un robot o la inteligencia artificial: crear y sentir las emociones del otro.

Estos perfiles y estas competencias, la tecnología y el talento, son, por tanto, las dos palancas que debemos abrazar en clave de oportunidad para superar esta crisis y visualizar la economía y la formación en un mundo postcovid-19.

Estimulemos una economía y un tejido empresarial donde los sectores de la robótica, el IoT, el big data, la inteligencia artificial y la ciberseguridad sean claves.

El escenario al que deberemos enfrentarnos a la vuelta del coronavirus está lleno de aprendizajes en clave de oportunidad. Seamos conscientes que esta crisis no ha hecho sino acelerar el calibre y la importancia de los dos factores claves de la cuarta revolución industrial: el talento y la tecnología”.

## ¿Hablamos de una quinta revolución industrial?

La primera revolución llegó con la invención de la máquina de vapor, los transportes ferroviarios y las fábricas de acero para fomentar el progreso.

La segunda revolución fue la eléctrica (Franklin, Faraday, Edison), donde viviendas e industrias serían los grandes beneficiados. La llegada del automóvil cambió radicalmente la forma de vida y de organización en las ciudades y los transportes.

La tercera y cuarta etapa de la revolución fueron las de las tecnologías de la información y las comunicaciones y la era digital, donde internet, los teléfonos inteligentes, los sensores, los datos y las conexiones de fibra dan forma a la actual etapa que estamos viviendo.

Pero cabe añadir una revolución más: la siguiente revolución ha de ser la de la sostenibilidad digital. Integración económica, social, medioambiental, digital. La mejora de la eficiencia en la gestión de los servicios e infraestructuras, y una mejora de la calidad de vida: energía, transporte, agua, residuos, sanidad, educación y ocio se verán transformados eficientemente para ser más productivos; el diseño y construcción con materiales sostenibles, la biotecnología, la robótica y la inteligencia artificial; la nanotecnología.

### Conclusión:

Para el futuro inmediato, será necesario reflexionar y pensar en cómo desarrollar nuestras habilidades humanas, estar preparados para adaptarnos al nuevo esquema, para no sucumbir ante el vertiginoso y volátil desarrollo tecnológico. Que la tecnología sea una ayuda, un apoyo para facilitarnos el trabajo, no para sustituirnos.

#### Fuentes:

<https://www.lifeder.com/revolucion-industrial/>  
[https://elpais.com/economia/2016/02/05/actualidad/1454685123\\_400320.html](https://elpais.com/economia/2016/02/05/actualidad/1454685123_400320.html)  
<https://expansion.mx/opinion/2020/03/11/la-cuarta-revolucion-industrial-una-oportunidad-para-todos-los-mexicanos>  
<https://www.masingenieros.com/la-quinta-revolucion-industrial/>  
<https://www.eleconomista.com.mx/tecnologia/Mexico-llega-con-retraso-a-la-Cuarta-Revolucion-Industrial-20191009-0055.html>  
<https://www.puomarketing.com/14/29871/industria-nueva-revolucion-industrial-tienen-adaptarse-empresas.html>  
<https://quintarevolucionindustrialcmov4.blogspot.com/2017/06/la-quinta-revolucion-industrial.html>



# Análisis Weibull

## Ejemplos básicos de como usarlo para los análisis de confiabilidad

Arquímedes Ferrera Martínez, CMRP, CRL.  
 Director de E&M Solutions S.A de C.V.  
 arquimedes.ferrera@eymsolutions.com

### Introducción

El análisis de Weibull es la técnica mayormente escogida para estimar una probabilidad basada en datos medidos o asumidos. La distribución de Weibull, descubierta por el sueco Walodi Weibull, fue anunciada por primera vez en un escrito en 1951.

El modelo Weibull tiene una interesante propiedad ligada a que según sean los valores de, puede presentar tasas de fallo crecientes, decrecientes o constantes. Así, cuando  $\beta = 1$  el modelo Weibull se convierte en exponencial y presenta tasa de fallos constante. El modelo exponencial es por tanto un caso particular del modelo Weibull, cuando  $\beta > 1$  el modelo tiene tasa de falla creciente y cuando  $\beta < 1$  presenta tasa de falla decreciente. El modelo Weibull es muy versátil y en la práctica es uno de los más utilizados.

El objetivo de este artículo es presentar una serie de ejemplos prácticos basada en mi concepto de compartir el conocimiento, que permitan dar una visión general del uso del análisis Weibull.

### 1. Función de Densidad de Probabilidad

No está contemplado dar un curso de estadística, sin embargo, hay conceptos básicos que tenemos que tener claros para el desarrollo que cualquier análisis probabilístico. Como por ejemplo, qué es la Función de Densidad de Probabilidad; esta "caracteriza del comportamiento de una población en tanto especifica la posibilidad relativa de que una variable aleatoria continua X tome un valor cercano a x".

La función de Densidad  $f(t)$  es la Función de Densidad de Probabilidad (PDF) y la Función de Distribución, estas funciones sirven para estudiar los datos de duración. La PDF es a menudo calculada a partir de, en nuestro caso, datos de fallas reales.

$F(t)$  es la función de distribución acumulada (CDF). Es el área bajo la curva  $f(t)$  de 0 a  $t$ . (algunas veces llamada la **no confiabilidad o probabilidad de falla acumulada**).

$$F(t) = \int_0^t f(x) dx$$

$$F(t) = \Pr(T \leq t) = \int_0^t f(x) dx$$

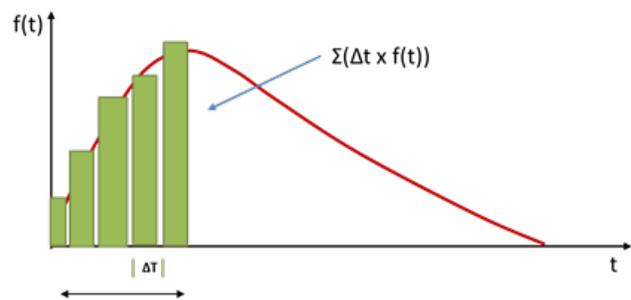


Figura 1.  $F(t)$  es la función de distribución acumulada (CDF).  
 Fuente: El Autor

Para el caso de análisis Weibull las funciones son las siguientes:

#### Distribución de densidad de probabilidad (PDF)

$$f(t) = \left( \frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta^\beta} \right) e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Eq 1.}$$

#### Distribución de probabilidad acumulada (CDF)

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{Eq 2.}$$

#### Parámetro $\alpha$

$$\hat{\alpha} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n X_i^\beta}{n} \right)^{1/\beta} \quad \text{Eq 3.}$$

#### Parámetro $\beta$

$$\frac{\sum_{i=1}^n [X_i^\beta \ln(t_i)]}{\sum_{i=1}^n X_i^\beta} - \frac{1}{\beta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(X_i) \quad \text{Eq 4.}$$

Donde:

t: es la variable de tiempo

$\beta$ : es el parámetro de forma

$\eta$ : es el parámetro de escala o característica de vida.

La distribución de Weibull es útil por su habilidad para simular un amplio rango de distribuciones como la Normal, la Exponencial, etc. Las técnicas discutidas en la distribución de Weibull son similares a las usadas con las distribuciones Normal y Log-Normal.

## 2. Ejemplo básico de un análisis Weibull

Supongamos que usted quiere entrar al negocio de ventas en mercado electrónico, realizó una investigación de los 10 productos que más se venden y escogió el producto número dos (2), "Accesorios para teléfonos móviles", según los "Blogs de Shopify", para iniciarse en el mundo de las ventas online. Ahora la pregunta del millón: ¿Cuánto tengo que comprar o invertir para revender y poder generar utilidad? En vista de su nulo conocimiento de este negocio, se consigue un socio capitalista que está empapado del mercado y este le dice, una vez que ya calculó el precio de venta que quiere, que usted compre solamente los suficientes "Accesorios para teléfonos móviles" de tal manera que, una vez terminadas las ventas, solo le queden sin vender aproximadamente el 10% de estos accesorios. Usted, como buen ingeniero de mantenimiento y conocedor de estadística, decide hacer un ANÁLISIS DE WEIBULL (dado que a nosotros los ingenieros nos gusta complicarnos la vida y "si lo puedes hacer difícil, ¿Por qué hacerlo fácil?"). Además, la cantidad de "Accesorios" a vender es un número aleatoriamente variable.

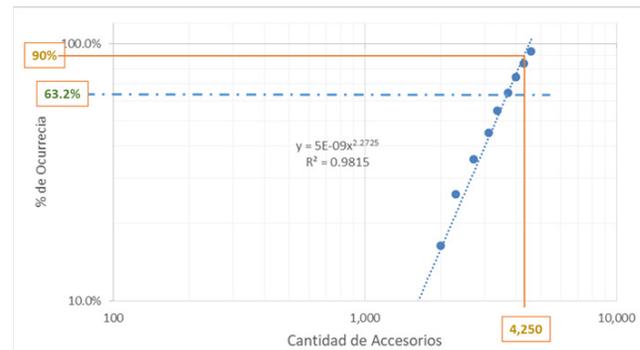
Nuevamente realizaron un análisis de mercado con sus posibles competidores, con la ayuda del socio y apoyados por un software o simplemente a mano, tabularon los datos de venta promedio de diez posibles competidores y procedieron a calcular lo que se conoce como RANGO MEDIO (se puede encontrar en los libros de estadística), para cada uno de ellos. El Rango Medio es un número entre 0 a 1 que refleja en orden ascendente la fracción del valor del dato que es menor que el mismo dato. Así, se obtiene la Tabla No. 1, una vez ordenados los datos:

**Tabla 1.** Resumen de ventas promedios de sus competidores.

ORDEN	DATO	RANGO MEDIO
1	1,500	6.73%
2	2,000	16.35%
3	2,300	25.96%
4	2,700	35.58%
5	3,100	45.19%
6	3,350	54.81%
7	3,700	64.42%
8	3,983	74.04%
9	4,283	83.65%
10	4,583	93.27%

Como resultado inicial de acuerdo a lo indicado en la tabla No.1, hay un 93.26% en el que la cantidad de accesorios a vender será menor al 4,583 ya que el rango medio es 0.93269. Pero, ¿Cuánto comprar para revender y poder cumplir con el requerimiento del socio capitalista?

Continuando con el desarrollo del ANÁLISIS DE WEIBULL y con una hoja en Excel, dibujamos en un gráfico el doble logaritmo de los datos en cuestión, y obtuvimos el Gráfico de Weibull (ver Figura No. 2).



**Figura 2.** Gráfico de Weibull. Fuente: El autor.

De acuerdo a la gráfica de Weibull, el número estimado de "Accesorios para teléfonos móviles" a comprar, para un 10% de accesorios no vendidos, se localiza en la línea recta con una probabilidad de 0.90 (90%). Para este dato, el punto ocurre en aproximadamente los 4,250 accesorios. Utilizando el "Excel", calculamos a la ecuación de la recta de la hoja logarítmica y obtuvimos la siguiente:

- $Y = 5E - 09 \times 2.2725$  Eq. 5

- $R^2 = 0.9815$  Eq. 6

La pendiente de la línea recta que intercepta la mayoría de los puntos en el Gráfico de Weibull, es también el Factor de Forma  $\beta$  (2.2725) e indica a qué tipo de distribución de probabilidad se aproxima (normal, lognormal, exponencial, etc.). La vida característica,  $\eta$ , es el momento en que se espera que sea el 63,2% del Rango Medio de la línea recta. Este 63,2% es cierto para todas las distribuciones de Weibull, independientemente del parámetro de forma  $\beta$ , que corresponde cuando  $t = \eta$  (aproximadamente 3,800) en la ecuación 1, como lo indica la IEC 61649-2008 - Weibull analysis.

Volviendo a nuestro ejemplo para un 10% de ventas no satisfechas, se localiza en la línea recta con una probabilidad de 0.90 (90%). Para este dato, el punto ocurre en aproximadamente los 4,250 accesorios. (Y justo en ese momento nos dimos cuenta para qué estudiamos probabilidad y estadísticas en la universidad).

Con el Gráfico de Weibull, usted puede hacer estimaciones de probabilidades utilizando la línea recta, o simplemente leyendo la probabilidad en la escala vertical, para un dato (en este caso, un número de accesorios).

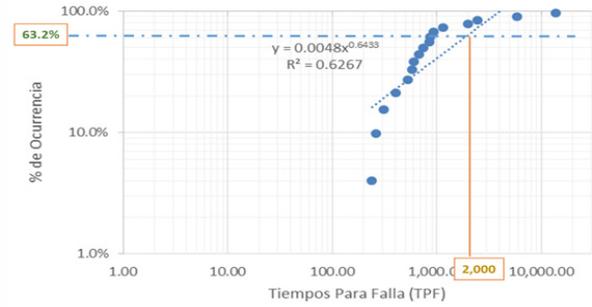
### 3. Ejemplo de Análisis Weibull aplicado a fallas de equipos

La técnica de Análisis Weibull puede ser usada para estimar probabilidad de muchos casos, por lo que continuando con nuestros ejemplos, nos enfocaremos en un análisis de confiabilidad asociado a una estadística de fallas de equipos de una planta Fraccionadora de Gas, para lo cual tenemos la siguiente estadística de Tiempo Para Falla (TPF).

**Tabla 2.** Datos estadísticos de TPF. Fuente: El autor.

No. Orden (i)	TPF	Rango Medio
1	240.00	4.02%
2	264.00	9.77%
3	312.00	15.52%
4	408.00	21.26%
5	528.00	27.01%
6	576.00	32.76%
7	600.00	38.51%
8	672.00	44.25%
9	744.00	50.00%
10	840.00	55.75%
11	864.00	61.49%
12	936.00	67.24%
13	1,152.00	72.99%
14	1,992.00	78.74%
15	2,472.00	84.48%
16	5,832.00	90.23%
17	13,776.00	95.98%

Analizando los datos de la tabla No. 2, como primera observación tenemos que hay un 95.98% que los TPF sean menores a 95.98%, por supuesto que es una información, pero no nos ayuda mucho ya que tenemos datos desde 240 horas a 13,776 horas, por lo que debemos analizar la gráfica de Weibull (Fig.3).



**Figura 3.** Gráfico de Weibull (TPF). Fuente: El autor.

Del análisis tenemos que el Factor de Forma  $\beta$  es 0.6433 lo que indica que tenemos una tasa de falla descendente, al igual que una  $t = \eta$  (aproximadamente 2,000).

Ya con los datos de forma y escala podemos realizar cualquier estimado de confiabilidad utilizando la ecuación (7) o el gráfico de Weibull.

$$R(t) = 1 - F(t) \quad \text{Eq. 7}$$

Por ejemplo, si queremos estimar cuál es la confiabilidad o probabilidad para que los equipos no fallen a  $t_1=500$  horas o  $t_2=3000$  horas, obtendremos lo siguiente:

$$R(t_1) = 80 \%$$

$$R(t_2) = 10 \%$$

Fuentes:

1. Wikipedia
2. IEC 61649-2008 - Weibull analysis
3. FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE WEIBULL - Por Robert B. Abernethy, FL, USA

# ANÁLISIS CAUSA RAÍZ



# MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

# ANÁLISIS RAM DE SISTEMAS

UN PRODUCTO NUEVO, **DISEÑADO** ESPECIALMENTE PARA TI

# CURSOS ON-LINE

**EN VIVO** **LIVE**  
-STREAM-

## BENEFICIOS QUE APORTAN DE MEJOR MANERA A TU APRENDIZAJE:

- ✓ **Contenido dividido en bloques** cortos y estructurados en tiempo y forma para el correcto aprendizaje y alto nivel de productividad.
- ✓ **Comunicación abierta**, todos los participantes y el instructor interactúan en el momento
- ✓ **Debates**, resolución de dudas y compartir experiencias
- ✓ **Ejercicios**, actividades dinámicas de forma individual y grupal.
- ✓ **Manual y materiales** enviados a tu domicilio para reforzar el aprendizaje incluidos en el valor del curso:

- **Manual impreso** a color.
- **Libro impreso**, asociado al curso.
- **Póster** asociado al curso.
- **Acceso a la App Noria Academy** para estudio y preparación para certificación.



*\*El material de apoyo puede variar dependiendo del curso*

- › Video dinámico
- › Acercamientos
- › Distintas perspectivas



## MÁS CONOCIMIENTO

### 3 INSTRUCTORES INTERACTUANDO EN STREAMING



**Gerardo Trujillo**  
Consultor Técnico Senior  
**MLE, MLA III, MLTII & CMRP**



**Roberto Trujillo**  
Consultor Técnico Senior  
**MLE, MLA III, MLTII & CMRP**



**Luis Manuel Sánchez**  
Consultor Técnico Senior  
**MLE, MLA II, MLTII & CMRP**

### INVERSIÓN:

Cursos: (MLTI/MLAI, MLTII, MLAI, MLAI)  
**\$720 USD + IMPUESTOS**

Curso: MLE, LLA I/II  
**\$990 USD + IMPUESTOS**

### JORNADAS CORTAS, MAYOR COMPRESIÓN

**20 HORAS EFECTIVAS**

Cursos **MLTI/MLAI, MLTII, MLAI, MLAI, LLA I/II**  
con 10 jornadas de 2 horas diarias.  
**Curso MLE**  
con 10 jornadas de 3 horas diarias.

UN PRODUCTO NUEVO, **DISEÑADO** ESPECIALMENTE PARA TI

# CURSOS ON-LINE

**EN VIVO** **LIVE**  
-STREAM-

## PRÓXIMAMENTE



### ANALISTA DE LUBRICANTES EN EL LABORATORIO

LLA NIVEL I/II

▶ 15 al 26 de jun



### ANÁLISIS DE ACEITE 3 - ANALISTA DE LUBRICANTES DE MAQUINARIA

MLA NIVEL III

▶ 13 al 24 de jul



### ANÁLISIS DE ACEITE 2 - ANALISTA DE LUBRICANTES DE MAQUINARIA

MLA NIVEL II

▶ 27 de jul al 7 de ago



### INGENIERÍA EN LUBRICACIÓN DE MAQUINARIA - MLE

▶ 10 al 21 de ago



### LUBRICACIÓN DE MAQUINARIA 2 TÉCNICO EN LUBRICACIÓN DE MAQUINARIA

MLT NIVEL II

▶ 24 de ago al 4 de sept



### LUBRICACIÓN Y ANÁLISIS DE ACEITE

MLT - MLA NIVEL I

▶ 7 al 18 de sept



### ANALISTA DE LUBRICANTES EN EL LABORATORIO

LLA NIVEL I/II

▶ 21 de sept al 2 de oct



### ANÁLISIS DE ACEITE 3 - ANALISTA DE LUBRICANTES DE MAQUINARIA

MLA NIVEL III

▶ 5 al 16 de oct



### ANÁLISIS DE ACEITE 2 - DE LUBRICANTES DE MAQUINARIA

MLA NIVEL II

▶ 19 al 30 de oct



### LUBRICACIÓN DE MAQUINARIA 2 TÉCNICO EN LUBRICACIÓN DE MAQUINARIA

MLT NIVEL II

▶ 2 al 13 de nov



### LUBRICACIÓN Y ANÁLISIS DE ACEITE

MLT - MLA NIVEL I

▶ 16 al 27 de nov



### INGENIERÍA EN LUBRICACIÓN DE MAQUINARIA - MLE

▶ 30 de nov al 11 de dic

# Las 10 causas por la que tus rodamientos están fallando

Alejandro Pérez Martínez/IME  
Director general Grupo MTF.  
aperez@mtfrodamientos.com



Los rodamientos son piezas de precisión y como tal debemos de tratarlos, son los apoyos dinámicos de la maquinaria rotativa. En general, los grandes fabricantes de rodamientos se aseguran en sus procesos productivos que los rodamientos cumplan con los más altos estándares de calidad, asegurando con ello un rodamiento confiable.

Aun así, algunos rodamientos fallarán prematuramente ocasionando afectación a la maquinaria y procesos productivos. A continuación enunciaremos las **causas más comunes por las que hoy día los rodamientos están fallando**, cuáles son sus modos de fallas y lo importante, qué hay que hacer para evitar que se repita esta falla.

**1. Lubricación:** Para nadie es un secreto que cerca de tres cuartas partes de rodamientos que fallan prematuramente es consecuencia de una lubricación deficiente, debido a que lo más importante es la película lubricante creada a través de la viscosidad del aceite base. Entre las causas que originan esta deficiencia podemos incluir: lubricantes inadecuados, cantidades excesivas, degradación de los lubricantes o escasez de este.

- **Modo de Falla:** La forma más adecuada de descubrir este tipo de falla es a través de la norma ISO 15243 donde está caracterizada por un desgaste abrasivo, adhesivo y fatiga de los caminos de rodadura; es común encontrar lapeados, ralladuras y decoloración
- **Tarea para prevenir el Daño:** Utilice el lubricante correcto, con la frecuencia apropiada, en la cantidad precisa, aplicando en el lugar correcto, utilizando el método apto y con la condición adecuada.



Falla en rodamiento por exceso de grasa, cambio en la coloración de los caminos de rodadura.



Aumento de temperatura en los caminos de rodadura debido a una escasez de lubricante.



Soporte de fundición con exceso de lubricante, el sello dejó de funcionar, el rodamiento está comprometido y próximo a la falla.

**2. Contaminación:** Causada por sustancias extrañas típicamente contenidas en el lubricante al momento de la aplicación o por el proceso mismo donde está funcionando el rodamiento ingreso de agua o sustancias sólidas.

- **Modo de Falla:** Indentaciones en los caminos de rodadura, en los elementos rodantes, formación de micro cráteres, y huellas en forma de abanico.
- **Tarea para prevenir el Daño:** Implemente procedimientos enfocados en el almacenamiento de los lubricantes, filtrado de los lubricantes nuevos, identificación y etiquetado para evitar la miscibilidad, limpieza en las áreas de trabajo, graseras y engrasadoras, utilizar guantes limpios para reducir el riesgo de contaminación, mejora en los sistemas de sellado.

**3. Falso Brinell:** Causado por vibración entre elementos rodantes y caminos de rodadura, transporte inadecuada, almacenamiento incorrecto, también ocurre en equipo de respaldo o de emergencia por transmisibilidad de vibraciones.

- **Modo de Falla:** Decoloraciones en tonos rojizo a la misma distancia de los elementos rodantes, impresión de los elementos rodantes en los caminos de rodadura, cizallamiento en las pistas.
- **Tarea para prevenir el Daño:** Implementar procedimiento de transporte para equipo reparado fijando el eje, almacenar adecuadamente los rodamientos aislado de vibraciones, polvo y altas temperatura ambiente, implementar tareas de mantenimiento para la operación de equipos de respaldo.

**4. Corrosión por rozamiento (pérdida de interferencia a nivel de eje o alojamiento):**

Causado por maquinado no adecuado de las superficies de contacto, eje o alojamiento, típicamente el aro que gira es el que lleva el ajuste más fuerte. Puede darse también por fijar uno de los rodamientos y no permitir la dilatación axial.

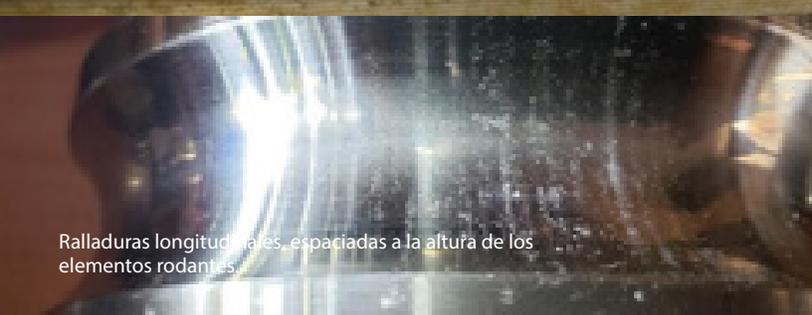
- **Modo de Falla:** Al haber superficies que no están plenamente en contacto se produce una reacción química que lleva a la oxidación de las superficies junto con micro movimientos de los componentes adyacentes ocasionan pérdida de material, en casos extremos fractura de alguno de los aros.
- **Tarea para prevenir el Daño:** Realice un procedimiento para que en cada recambio de rodamientos se mida el eje y el alojamiento. Con un micrómetro compárelo con las tolerancias de maquinado, si está fuera de dimensión y/o forma proceda a maquinar de manera adecuada, evite utilizar algún tiempo de pegamento, "picotear" el eje o moletearlo.



Picaduras en rodillos debido al ingreso de contaminantes.



Indentaciones generadas por ingreso de agua en el rodamiento.



Ralladuras longitudinales, espaciadas a la altura de los elementos rodantes.



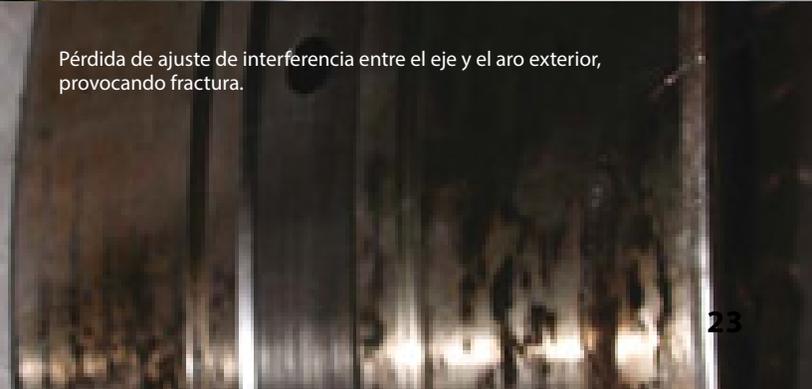
Pérdida de ajuste en aro interior con acanaladuras provocadas por vibración



Elementos rodantes con daños focalizados. Al no estar girando presentan marcas, equipo de respaldo



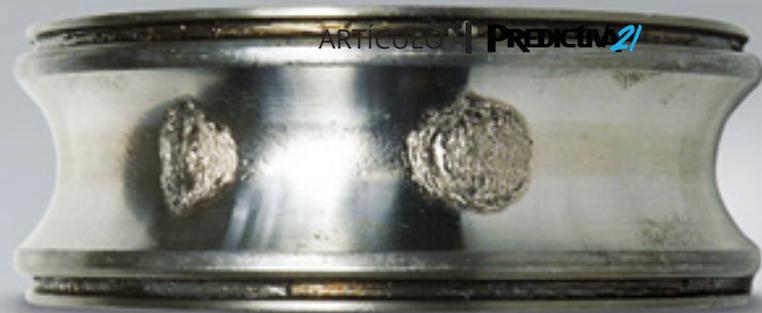
Pérdida de ajuste de interferencia entre el eje y el aro interior. (fuente NSK)



Pérdida de ajuste de interferencia entre el eje y el aro exterior, provocando fractura.

**5. Montaje Inadecuado (sobrecarga):** Ocurre cuando el rodamiento es montado en frío con métodos no adecuados, por ejemplo: cinceles, punzones, golpes directos, bronce, etc.

- **Modo de Falla:** El elemento rodante, al ser de un acero más duro que los aros, recibe los impactos de manera axial provocando una sobrecarga y que se entierren en caminos de rodadura, en etapas iniciales provocan ralladura o pequeños cráteres, en etapas avanzadas hay pérdida de holgura en los alveolos de la jaula provocando un desgaste abrasivo.
- **Tarea para prevenir el Daño:** Aplique la fuerza de montaje en el aro que gire sobre los 360° de circunferencia, de no ser posible al menos en 180°, siga las instrucciones de montaje recomendadas y capacite a su personal.



Elementos rodantes impresos en los caminos de rodadura provocado por un montaje inadecuado. (fuente NSK)



Fractura en caminos de rodadura de manera axial, provocado por golpes en el rodamiento al momento del montaje.



Pérdida de dureza al calentar el rodamiento para su montaje sin controlar la temperatura.

**7. Erosión Eléctrica:** Provocada por paso de corriente al rodamiento o por voltaje excesivo. Se da principalmente por operación de equipos con variadores de frecuencia, pérdida de aislamiento en conexiones, por arco eléctrico al realizar trabajos de soldadura y aterrizar en soportes de los equipos.

- **Modo de Falla:** En el caso del voltaje excesivo se producen chispazos los cuales atraviesan los elementos rodantes provocando pérdida de material, el cual se funde en los caminos de rodadura, lo que a su vez provoca pitting localizado tanto en el elemento rodante como en el camino de rodadura; en el caso del paso de corriente hay una baja intensidad que está circulando entre los componentes del rodamiento, lo que provoca indentaciones y desarrollo de acanaladuras en pista de rodadura e igualmente, decoloraciones grises y oscuras en los elementos rodantes.
- **Tarea para prevenir el Daño:** Utilice rodamientos con aislamiento para cortar el paso de corriente, aisle de manera correcta sus equipos, desarrolle procedimientos para trabajos de soldadura donde se indiquen ubicaciones de tierras físicas.

**6. Montaje Inadecuado (sobrecalentamiento):**

Provocado al calentar el rodamiento a temperaturas mayores a 125°C generando afectación en la estabilidad dimensional. También es ocasionado por calentar el rodamiento con sopletes, baño de aceite sin control de temperatura.

- **Modo de Falla:** Al ser calentado por arriba de la estabilidad dimensional el rodamiento sufre a nivel molecular una deformación elástica provocando un incremento en la cantidad de oxígeno, provocando que se cristalice su estructura y pierda dureza, pueden provocarse fracturas "limpias" con una combinación de carga y velocidad.
- **Tarea para prevenir el Daño:** Monte el rodamiento con un calentador de inducción a una temperatura de 110°C, capacite a su personal en el uso correcto de herramientas.



Paso de corriente en rodamientos montado en equipo con variador de frecuencia. (fuente skf)

**8. Corrosión por humedad:** Provocada por largo tiempo de almacenamiento de equipos con rodamientos lubricados, también por fallas en sellado e ingreso de agua en equipos de respaldo, principalmente equipos de bombeo.

- **Modo de Falla:** Al generarse condensación o ingreso de agua se produce una reacción química que provoca oxidación dejando huellas de grabado, mismo modo en equipos almacenados el aceite de desprende de su jabón provocando el daño.
- **Tarea para prevenir el Daño:** Implemente una tarea de mantenimiento para equipo almacenado donde con cierta frecuencia sea girado el eje, utilice un lubricante con propiedades adecuadas, mejore los sistemas de sellado.



Paso de corriente en rodamientos montado en equipo con variador de frecuencia. (fuente skf)



Manchas de grabado en equipo almacenado.



Ingreso de agua en bomba de respaldo. (fuente SKF)

**9. Desalineación:** Ocurre al no mantener colinealidad entre equipos, los esfuerzos provocados generan sobrecarga en el rodamiento llevándolo a una disminución de su vida y fallo prematuro, puede provocarse de igual forma por un maquinado fuera de forma de asientos, hombros y alojamientos, también al fijar mecánicamente ambos rodamientos y no permitir dilatación axial por crecimiento térmico.

- **Modo de Falla:** Sobre carga del rodamiento, desgaste prematuro en caminos de rodadura en el aro que gira en toda su circunferencia apareciendo el desgaste a un costado y el aro estático presentará desgaste en la zona de carga empezando a un costado yendo hacia el centro y terminando en el opuesto.
- **Tarea para prevenir el Daño:** Mejore sus procesos de maquinado, implemente procedimientos adecuados de montaje, capacite a su personal y alinee sus ejes y poleas.

**10. Almacenamiento y manipulación:** Ocurre cuando el rodamiento no es almacenado de manera correcta, en caso de que esté conservado en su empaque original el daño es provocado por vibraciones externas, por largos periodos de almacenamiento con condiciones de humedad y temperaturas altas, en caso de estar fuera de su empaque, es provocado por ingreso de contaminantes.

- **Modo de Falla:** El rodamiento recibe vibraciones externas por maquinaria adyacente o por paso de camiones pesados, también por almacenar de manera horizontal varios rodamientos los elementos rodantes provocan el daño, en el caso de ingreso de contaminantes se produce por un desgaste abrasivo.
- **Tarea para prevenir el Daño:** Capacite a su personal de almacén, mantenga los estantes libres de vibraciones y polvo, controle la temperatura y humedad del almacén, no saque de su envoltura el rodamiento hasta el momento mismo del montaje; en caso de perder el empaque cubra el rodamiento con papel encerado y rocíelo con algún tipo de anticorrosivo.



Un mal almacenaje puede provocar un daño prematuro en el rodamiento, aunque esté en su empaque original.



Existe una gran área de oportunidad al mejorar su sistema de almacenamiento, eliminación de rodamientos obsoletos y estandarizar nomenclaturas.



Rodamiento con fallo prematuro debido a una sobrecarga provocado por desalineación. (fuente NSK)

Sin duda existe una gran área de oportunidad al establecer procedimientos, tareas y estandarización en sus procesos en todo el ciclo de vida del rodamiento y con ello evitar el fallo prematuro de los mismos. ¡Vale la pena!



# La importancia de los datos y cómo convertirlos en dinero

Javier Leonardo Salas

Chief Data Officer, Bureau Veritas, North LATAM

Ingeniero Industrial, Máster en Mercadeo y Máster en Econometría

Alberto Salas Mejía

Consultor Independiente

Ingeniero Mecánico, Máster en Economía, Máster en Finanzas

## De los datos y su importancia

El éxito de las gerencias, siempre, ha estado determinado por la información que esté disponible a la hora de tomar decisiones. Ayer, eran los reportes, informes, cartas, mitos, diversas historias. etc. Hoy son los correos electrónicos y las variadas redes sociales. Pero en el inmediato futuro, una gerencia ser más exitosa que otra si tiene en su haber información proveniente del adecuado manejo de sus datos.

En el año 2006, el matemático Clive Humby dijo: *“Los datos, son el nuevo petróleo”*. Más recientemente en el año 2017 la revista THE ECONOMIST publicó un artículo titulado *“El recurso más valioso ya no es el petróleo, sino los datos”*. Los datos son a una organización, como los glóbulos rojos de un organismo, fluyen por él y lo mantienen dinámico y vivo. Son hoy un componente fundamental en cualquier proceso de Transformación Digital, que es como se ha denominado a los procesos internos de evolución cultural en las empresas, para responder a los retos que trae la cuarta revolución industrial.

Un dato es una pieza concreta de información acerca de un suceso. Normalmente, son mostrados para su

comprensión de forma tabular. El imaginario más común es una tabla de excel, cuya fila registra un evento y en las columnas los detalles del mismo. Más adelante, cuando se deban hacer ejercicios de analítica, las columnas serán llamadas variables o parámetros.

El siguiente ejemplo, muy simple por efectos didácticos, que ilustra la importancia del manejo adecuado de datos, en una empresa de mantenimiento. Aunque encontramos 2 datos con 6 parámetros, en la realidad, deberán haber decenas de miles sino millones más.

**Tabla 1.** Ejemplo de datos. Fuente: El autor.

Consecutivo Dato	Daño Frecuente	Equipo	Código del daño	Modo de falla	Fecha de la falla
458	Co-27-569	Norte	20-5698	Electrónico	21/01/2020
459	Co-34-581	Este	19-3789	Efectivo	21/01/2020

Los detalles de cada evento, en este caso de cada falla, deben quedar adecuadamente registrados, de esta forma, si la organización decide hacer una agresiva campaña de costos, se pueden generar algoritmos y herramientas de automatización que mediante analítica estadística. Contribuyan a decisiones de mantenimiento más determinísticas y menos probabilísticas. Adicionalmente y más importante, podría ofrecer a operaciones o a un cliente externo, estrategias de prevención, modos de reparación, vender programas de compra *just-in-time* de

repuestos, en forma singular para cada equipo. Inclusive, otras informaciones muy importantes para la operación, como mantenibilidad esperada, disponibilidad esperada, confiabilidad esperada, variación en parámetros básicos de operación, etc. Es bien sabido que los equipos así sean del mismo modelo y trabajen en condiciones similares, su conducta operacional es diferente. Lo anterior conduciría a aumentar sustancialmente las probabilidades de éxito de los esfuerzos y uso de los presupuestos invertidos, incrementa su credibilidad, al tiempo que genera nuevas líneas de ingreso no operacional para la compañía.

Otro concepto importante en esto, el de **metadato**. Si un dato describe un evento, un **metadato**, describe al **dato**. Es decir, en el ejemplo anterior la línea del dato describe el evento, su dinámica, sin embargo, al registrarlo electrónicamente se puede saber en qué fecha fue capturado el dato, el punto geográfico mediante GPS y desde que terminal de computación se obtuvo, entre otras. Esto último puede ayudar a hacer análisis más profundos y por consiguiente las campañas y esfuerzos invertidos más productivos. También, puedo generar validaciones para verificar que los datos ingresados sean reales y creíbles, de lo contrario mis análisis carecerán del debido sustento técnico y por ende el dinero invertido en ejecución de estrategias no será usado a su mayor potencial.

Podríamos decir entonces, que los cambios que trae a la cuarta revolución industrial o Industria 4.0, induce a que las corporaciones sientan altos niveles de incertidumbre, sientan como si estuvieran conduciendo un auto a media noche. Y podríamos decir que la analítica de datos, son las luces delanteras que mejoran enormemente la visibilidad. Para nuestra metáfora, una analítica de datos adecuada, permite ver curvas pronunciadas en el camino, obstáculos y baches que se deben evitar, igualmente, como se están comportando otros vehículos en nuestro mismo camino (la competencia), y tal vez, hasta encontrar atajos que otros conductores no han visto. Entender el manejo y la analítica de datos como herramienta poderosa para mejorar la competitividad no es un concepto nuevo, que si lo es, el moderno acceso y facilidad de analizar grandes cantidades de datos. Con seguridad se puede afirmar que con más detalles y registros se puedan obtener y analizar, más certeras y útiles serán las decisiones. De la misma forma, los recursos invertidos en proyectos bajo dichas estrategias serán más eficientes y más exitosos.

Hoy se puede decir que el mercado mundial ha despertado ya y ve la importancia de los datos, o mejor aún, está dispuesto a pagar por la inteligencia que salga de un correcto manejo de datos. De allí que las empresas de mayor capitalización en la década pasada no sean empresas en el sector hidrocarburos o automotriz, fueron Google, Amazon, Apple, empresas que ya han cruzado hitos importantes en sus proceso de transformación digital. En consecuencia, es importante revisar y entender las formas que existen de monetizar los datos

## Monetizar los datos en la era digital

**La industria 4.0** es el cambio socio económico que demanda una **transformación digital** interna en las empresas. Esta transformación generará cambios profundos en las organizaciones. Para lograr definir un horizonte mejor al cual dirigirse con estos cambios y medir si estos son en realidad mejoras y no simplemente cambios, es necesario tener estrategias de adquisición, control, manejo y analítica de datos.

Como ya se dijo, en el 2006 Humby acuñó la frase "*Los datos son el nuevo petróleo*" y en el 2017 la revista "THE ECONOMIST" recogió esta frase para explicar lo que ocurría en los mercados y la industria. Sin embargo, tal y como ocurre con el petróleo, su valor no existe mientras este bajo la tierra. Debe ser extraído, transportado y refinado. Así mismo, los *insights* son la nueva gasolina, es decir, el derivado más valioso y de mejor comercialización.

Empresas como Google, Netflix y Uber, tienen una ventaja respecto de las empresas tradicionales, esto porque las mismas fueron creadas sobre la base del manejo de datos. Mientras las existentes, deben evolucionar desde sus estructuras actuales y adaptarse a las nuevas formas de hacer negocios. Por ende, se deben generar Proyectos que desencadenen nuevas BAUs (Procesos normalizados en las empresas, Business As Usual) en las organizaciones mejor adecuadas a responder a los nuevos retos impuestos por el mercado.

La monetización de los datos se da durante la cadena de valor en la que estos son extraídos, organizados y analizados. Al igual que con el petróleo, los datos pueden ser monetizados desde su estado crudo, hasta los momentos en los que han sido refinados. Por supuesto y como ocurre con la mayoría de productos, entre más hayan



sido procesados, mayor es su precio de comercialización. En sus primeras fases, se paga por su recolección, por su validación y verificación. Más adelante, por su orden y selección, para posteriormente ser analizados y convertidos en información, hasta llegar a los *insights* y la forma más valiosa de estos, las **proyecciones**.

De los puntos más importantes a entender y el cual entrega un propósito al proceso evolutivo de una empresa para adaptarse a los mercados en la Industria 4.0, a ese proceso llamado Transformación Digital, es lograr una renta sobre la captura, control y procesamiento de datos. Es fundamental entender que los datos son dinero, pero a diferencia del dinero líquido, donde cada peso solo puede ser asignado a un proyecto, los datos pueden ser entregados a múltiples proyectos y que todos logren una forma de monetización a través de ellos.

El objetivo último de la gestión de datos es encontrar patrones de comportamiento o de conducta y con ello predecir mejor el futuro, con mejores niveles de precisión. Para lograrlo se deben usar métodos matemáticos un tanto complejos. La ciencia/arte de predecir eventos futuros, basados en datos históricos no es una novedad del siglo XXI. La estadística y la probabilística ya eran objeto de estudio en la *era de oro del islam* y su despegar se dio en el siglo XVII impulsado por *Blaise Pascal*.

Así pues, los medios cuantitativos para proyectar y conocer eventos futuros han sido estudiados y usados por diferentes disciplinas. Lo novedoso reside en el uso de la computación para hacerlo de forma más práctica, automática y más precisa. Es en la última década que los desarrollos tecnológicos enfocados a la captura y manejo de gigantescos volúmenes de datos, lo que ha dado origen al "BIG DATA".

Es el momento de postular 3 categorías de monetización de los datos en una empresa. La primera, VENDERLOS/ ARRENDARLOS, PRODUCIR INSIGHTS Y OTRAS FORMAS de monetización. Las categorías que se discutirán a continuación son presentadas a manera de estrategias, se ofrecen como aportes al lector para que pueda adaptarlas y encontrar sus propios esquemas de monetización de datos.

**VENDER/ARRENDAR DATOS:** Una vez se haya construido un robusto ciclo de vida de los datos en mi empresa, aparece la viabilidad de convertir los mismos en un producto más de la empresa, que puede ser vendidos, **dentro** y **fuera** de mi **cadena de valor**.

**Dentro de mi cadena de valor:** Evidentemente, trata de cómo puedo monetizar mis datos a través de otros jugadores en mi industria, sin que necesariamente esté liberando información privilegiada que ayude a la competencia.

Imaginemos una empresa de fabricación de ascensores

o elevadores, la cual lleva un acucioso control de datos sobre su proceso de fábrica. Haciendo la tarea de entender muy bien la vida media de su producto, a través de la trazabilidad y tiempo de uso de los componentes adquiridos. Bases de datos confiables que registran (Fabricante, fecha de instalación, fecha de primer uso, componente, etc). A través de ese control de datos se puede llegar a proyectar el tiempo esperado para ciertos modos de falla. Es decir, cuanto tiempo después de vendido e instalado un equipo, la polea X fallará. Este set de datos de calidad, cruzada con las bases de datos del área comercial, de la cual se puede saber dónde y hace cuánto está en funcionamiento una polea de esta naturaleza, constituyen un set de datos valiosos para una empresa dedicada al mantenimiento de elevadores.

Constituye una base de datos de clientes potenciales de mantenimiento, con la fecha y tipo de servicio que requiere. Por ende, el usuario de estos datos cuenta con gran probabilidad de éxito en la venta. Se hace evidente cómo, aunque no es un producto de la razón social del fabricante en nuestro ejemplo, sí es otra fuente de ingresos que no requiere demasiado esfuerzo en producir, una vez los sistemas de captura, control y procesamiento de datos han sido puestos en práctica.

El ejemplo, claramente ilustra como monetizar datos a través de su venta dentro de la misma cadena de valor a la cual se pertenece. No obstante, para generar estrategias y tácticas de esta naturaleza, es fundamental entender dónde estamos ubicados en la cadena y el negocio de los otros jugadores. Es decir, entender de ellos, sus productos, su oferta de valor, sus mensajes promocionales, quienes son sus clientes y como nuestros datos (crudos o procesados) pueden ayudarlos en sus objetivos estratégicos.

**Fuera de mi cadena de valor:** Entendiendo el esquema de monetización mediante la venta de datos dentro de mi cadena de valor, se hace casi intuitivo el concepto de venta de datos fuera de mi cadena de valor. Trata, por supuesto, de vender datos a organizaciones en otras industrias o al gobierno, lo cual se puede profundizar mediante un ejemplo.

Imaginemos una empresa que fabrica ropa y artículos



deportivos. Con los avances en sensórica que nos ha traído la Industria 4.0, estas empresas ahora pueden incluir sensores remotos en sus prendas (zapatos, relojes, camisas, etc). Usando estos dispositivos, y aplicaciones móviles especializadas, la empresa puede capturar datos de comportamiento y salud de sus usuarios. Al cruzar datos de sueño, deporte, actividad, alimentación, entre otros, todos entregados voluntariamente por las personas, las vendedoras de estos artículos pueden generar perfiles demográficos de salud. Encontrando patrones comunes de personas saludables y no saludables.

Estos perfiles se convierten en insumo importante para empresas de seguros o en el sector salud, que deben calcular premiums para sus productos, manejando el riesgo que esto conlleva. Así pues, una empresa en el sector de modas encuentra una fuente de ingresos vendiendo datos, medianamente procesados, a empresas en industrias radicalmente lejanas a la suya propia.

**PRODUCIR INSIGHTS:** La producción de *insights* es la estrategia más compleja y de mayor renta para monetizar los datos de una empresa. Esta estrategia requiere de una mayor coordinación y confianza en el negocio. Así como de una imbatible voluntad gerencial de realizarla. Necesita de la implementación de proyectos para modificar los BAUs de la empresa y presionar su evolución. Por ende, es la mejor estrategia para mantener la ventaja competitiva de una corporación y alejarse de la obsolescencia.

En otras palabras, la data es capturada y procesada para generar mejores promesas de valor, mejores productos servicios. Idealmente, la data inspiraría estrategias para desarrolla ventajas competitivas.

Hay decisiones estratégicas que se toman en las empresas, las cuales provienen de la experiencia de personas, su trayectoria personal los empodera con datos valiosos mentalmente procesados y por ende, la probabilidad de tomar decisiones correctas aumenta. Sin embargo, el espacio para equivocaciones está sujeto a la experiencia de los profesionales con que cuente una organización. Por el contrario, un sistema robusto de captura, control y procesamiento de datos, generarán *insights* que son propiedad de la empresa. El sistema permite medir variaciones en el comportamiento de los indicadores, basados en las estrategias provenientes de los *insights*, comparados con las condiciones anteriores (*ceteris paribus*).

*Insights* fáciles de socializar y que potencian las capacidades de más profesionales en la organización, de grupos multidisciplinarios. *Insights*, que inspiran la creación de algoritmos de Aprendizaje automático (*Machine Learning*) para producir *insights on-the-go*, en "tiempo real" y mejorar la capacidad de toma de decisiones, acelerando la capacidad de reacción de una empresa, lo cual normalmente puede traer grandes ahorros.

**OTRAS FORMAS:** Se han definido otras formas de capitalizar sobre los datos de una empresa, son menos comunes aunque igual de válidas.

**Vender información para producir insights:** Una posibilidad es manejar datos para producir y ofrecer información. Dicha información se entrega al cliente a manera de dashboards, índices, resúmenes ejecutivos, etc, de una manera clara y veraz. Lo anterior, con el objetivo de que el cliente pueda generar sus propios *insights* y actuar sobre ellos. Normalmente, esta información es ofrecida como parte del producto normal, aumentando la propuesta de valor del oferente.

**Valorizar la empresa con sus datos:** Ya que los datos son dinero, las empresas que han adquirido mayor madurez en el manejo de datos, contabilizan estos en sus finanzas como un activo. Es decir, Facebook no estuvo dispuesto a pagar \$22 b USD cuando compró *WhatsApp*, porque el modelo de negocio de mensajería instantánea fuese revolucionario o porque no sea capaz de replicar las funcionalidades de esta app. Facebook compró un set gigantesco de datos de individuos, imágenes y geoposicionamiento ya ordenados y preparados para ser usados.

**Mejorar procesos de marketing:** Hacer análisis de plaza Vs Producto con data geo-temporal y optimizar el uso de presupuesto en canales de marketing.

**Rastrear procesos internos:** Ofrecer a los clientes la posibilidad de conocer el estatus de sus órdenes, como lo hacen los servicios de mensajería.

Se hace evidente que con los nuevos medios que facilitan la fase de captura de datos, como sensores, máquinas que se hablan entre ellas por internet y dispositivos móviles; así como la democratización del acceso a amplio poder computacional representado en "la nube"; el manejo responsable y determinado de datos es un factor protagónico en el éxito de las empresas.

Sin embargo, las anteriores estrategias no funcionan si no son el resultado de adecuados procesos de adquisición, control, manejo y analítica de datos. Lo cual a su vez, solo puede ser logrado mediante el empleo de profesionales que puedan definir y conducir las estrategias de manejo de datos. Si los datos son dinero, de la misma forma que se contratan técnicos en finanzas y contabilidad, con más razón se deberían contratar personas para el trabajo en manejo de datos.

# ¿Qué es un Sistema Socio Técnico y por qué es importante conocerlo en el ámbito de la Confiabilidad Humana?



*Ing. Adrián Aguirre*

*Especialista y Asesor en Seguridad Laboral - Higiene Ocupacional - Ergonomía - Calidad - Proyectos - Ambiente - Confiabilidad- Derecho- Adiestramiento.*  
gestionseguridadyprevencion@gmail.com

“La Confiabilidad Humana definitivamente es más que evaluar las fallas humanas, aunque este sea un elemento importante. Más que capacitar y formar al hombre, esta disciplina abarca la evaluación de un todo organizacionalmente hablando, más que evaluar el impacto del hombre, lo que busca es preparar a la Organización para que esta no falle, es decir, a que se Anticipe a las brechas que tiene y que permiten que el hombre falle”. Adrián Aguirre, 2020.

Señalo W. Edwards Deming, en el libro Out of Crisis (1986) 14 principios que permiten ayudar a mejorar la productividad y competitividad de una Empresa. Allí mismo identifiqué 7 enfermedades mortales y obstáculos que debe evitar cometer la Gerencia. Uno de ellos se refiere a: “culpar a los trabajadores que solamente son responsables del 15 % de los errores, mientras el sistema deseado por los gerentes es responsable del 85 % de las consecuencias indeseadas. Creer que no existirían problemas en la producción si los trabajadores únicamente se centraran en hacer su trabajo de la manera en que se les especificó que debían hacerla”.

Otro de los postulados enunciado por el autor antes mencionado que permite ilustrar el enfoque del artículo, es: “Un mal sistema vencerá a una buena persona siempre.” Basado en este principio, se deduce que el sistema es un contribuyente importante en las afectaciones, en el impacto sobre el humano, motivo por el cual debe ser estudiado, y por último: “La investigación muestra que el clima de una organización influye en la contribución que un individuo pueda hacer, mucho más que el propio individuo”. Nuevamente aquí hay presencia de una interrelación entre el hombre y la organización.

En lo personal, considero que Deming contribuye al entendimiento *lato sensu* del concepto de Confiabilidad Humana. Nótese que en sus frases aparecen los elementos de estudio: Trabajador (Hombre) - Error - Sistema-Gerentes - Consecuencias. Sin embargo, en la mayoría de los casos de estudios se identifica el objetivo de Confiabilidad Humana es solo analizar el Error humano, es un elemento importante pero no lo es todo. La mayoría de los casos lo analizan desde el enfoque del resultado, de la consecuencia, del accidente, de la lesión, del impacto o daño causado, ahora bien, y aunque esa visión no es del todo errada, solo se está analizando una parte de la situación, el análisis es un enfoque más sistémico, es un todo. La Confiabilidad Humana es más integral en su evaluación, en su aplicación, es un proceso transversal a todos los procesos de una Organización.

Es de suma importancia conocer entonces

que para realizar un estudio de Confiabilidad

Humana se debe analizar a la Organización. Finalizando el concepto descrito en la NTP 360 (CEE 1988) de Confiabilidad Humana aparece la frase: "uso y gestión de un sistema socio técnico". Citando el concepto completo de Confiabilidad Humana de la norma es: "El cuerpo de conocimientos que se refieren a la **Predicción, Análisis y Reducción del Error humano**, enfocándose sobre el papel de la persona en las operaciones de diseño, de mantenimiento, **"uso y gestión de un sistema socio técnico."** (Negrillas mías, Método PARE).

Esta frase es clave e importante para la aplicación de un Modelo de Gestión basado en Confiabilidad Humana, empezamos por explicar que los Sistemas Socio Técnicos se desarrollan en el Instituto Tavistock con los trabajos de Bamforth (1951); Emery (1959) y Trist (1960). Para Bamforth (1951) un sistema socio técnico, es un intento teórico de equilibrar las necesidades socio-psicológicas y humanas con las metas organizacionales. Para ello plantea dos supuestos: (1) La producción orgánica se desarrolla a través de la optimización de los sistemas sociales y técnicos. (2) Existe un intercambio constante entre el sistema de trabajo y el medio ambiente en general.

Para Emery (1959), un sistema socio técnico trata acerca de los aspectos sociales de las personas y la colectividad y los aspectos técnicos de la estructura organizacional y procesos. Aquí, los elementos técnicos no implican necesariamente la tecnología materia. Su enfoque es sobre los procedimientos y los conocimientos conexos. El término "Técnica" es usado para referirse a la estructura y un sentido más amplio de tecnicismos. "Socio Técnico" se refiere, a la interrelación de aspectos sociales y técnicos de una organización o la sociedad en su conjunto. Por lo tanto, el término "Teoría Socio Técnica", es la optimización conjunta, con un énfasis común en el logro de ambos, la excelencia en prestaciones técnicas y la calidad de vida de las personas en el trabajo.

Para Trist (1960) un sistema socio técnico implica una compleja interacción entre los seres humanos, máquinas y los aspectos ambientales del sistema de trabajo. El corolario de esta definición, es que todos estos factores: personas, máquinas y contexto, necesitan ser considerados en el desarrollo de tales sistemas socios técnicos. De estos tres conceptos se desprenden los siguientes aspectos:

**1.- Subsistema técnico o de tareas:** que involucra el flujo de trabajo, la tecnología empleada, las actividades requeridas por la tarea. Debe garantizar el flujo de información técnica, que limita y ajusta al sistema social a las necesidades del desarrollo de las tareas y es, a su vez, vincula las tareas y relaciones de tareas, teniendo como criterio la capacidad de los miembros individuales de la organización. Es el responsable de la eficiencia potencial de la organización.

**2.- Subsistema gerencial o administrativo:** que involucra la estructura organizacional, las políticas, los procedimientos y las normas, el sistema de incentivos y de sanciones, la toma de decisiones y el empleo de elementos para facilitar los procesos administrativos. Debe velar por la administración organizacional y es el responsable del desarrollo organizacional y la toma de decisiones. Así, este busca mejorar las relaciones entre los dos que son el social y técnico, encaminándolos al cumplimiento de objetivos y metas organizacionales bien definidos, desarrollando así una cultura colaboradora, debido a que los resultados operacionales se verán afectados en el grado en que los individuos y grupos no colaboren. **Es el responsable de direccionar la organización.**

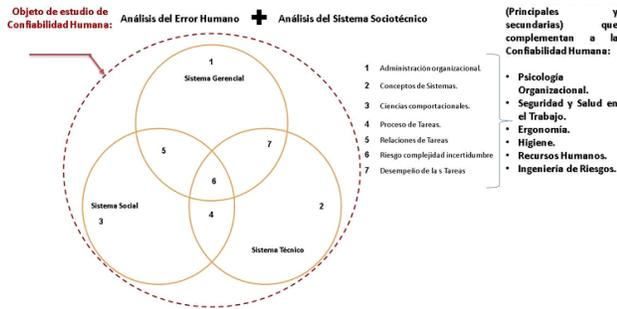
**3.- Subsistema Social:** que involucra la cultura organizacional, con los valores, las normas y la satisfacción de las necesidades personales, tales como el nivel motivacional de los colaboradores y sus actitudes individuales. Debe desarrollar el soporte para el flujo de información requerido por el sistema técnico, siendo este reestructurado cuando las demandas para el flujo de información se vuelven incompatibles con la capacidad de respuesta del sistema social. **Son los responsables de transformar la eficiencia potencial en eficiencia real.**

Conciben la organización como un sistema socio técnico estructurado sobre tres subsistemas que se interrelacionan estrechamente, que son interdependientes y que son altamente influyentes entre sí. Los tres subsistemas son: El sistema sociotécnico en sus inicios solo se refería a analizar en primera instancia la relación hombre-máquina evolucionando hasta estudiar relaciones más complejas (aspectos psicológicos, culturales, grupales) que se desarrollan en una organización influyendo en las diversas metodologías de mejora continua existentes actualmente.

Entre los tres subsistemas se interrelacionan entre



sí, como se demuestra en la figura 1, tomado de Kingdon (1975) con adaptaciones propias.



**Figura 1.** Interrelación recíproca de los tres sistemas. Fuente: Kingdon (1973-95) con adaptaciones propias.

Para entender el sistema socio técnico a profundidad se deben identificar los factores humanos que se encuentran presentes, es medir el impacto en el entorno laboral, y la afectación de la productividad y competitividad, la salud, el entorno, la comunidad. Hasta ahora y producto de años de observación y de investigación documental, análisis de la norma HSE48g, los avances del sector aeronáutico y de los informes OMS, he identificado 15 factores humanos que deben ser evaluados cuando se ejecutan análisis de Confiabilidad Humana en las organizaciones, estos son:

1. Organización enfocada en procesos y riesgos
2. Organización y división del trabajo
3. Mandos y Supervisión en el trabajo
4. Horario de trabajo
5. Tamaño de la empresa
6. Salario
7. Grupos de trabajo
8. Planes de formación y capacitación por competencias, por niveles y con horizonte de desarrollo
9. Niveles de comunicación.
10. Condiciones de trabajo
11. Ambiente de trabajo
12. Procedimientos de trabajo
13. Motivación
14. Promoción
15. Medios de trabajo

Cada uno de estos quince (15) factores tiene un impacto de manera individual así como su interrelación con los demás. Cada factor humano se encuentra unido a un subsistema. Estos factores dependen de la idiosincrasia y disciplina que exista en la organización. Es por ello que para la realización de análisis de Confiabilidad Humana se debe abordar todos los niveles, procesos de la empresa

Según el reporte técnico de la (OMS - Banco Mundial, 2016) solo la ansiedad y la depresión causan pérdidas por 1 billón de dólares anuales, esta cifra genera grandes desafíos y retos para el año 2020 para las Organizaciones, por ello si no se abordan, revisan, se analizan, se identifican todos los factores humanos las pérdidas de productividad y competitividad. Un primer paso luego de que desde la Alta Dirección exista un compromiso sostenible para mejorar la organización, se debe realizar un abordaje psicosocial como herramienta de comprensión de toda la organización.

### La alteración de los factores humanos así como de los tres subsistemas genera:

- Baja productividad
- Estrés
- Ansiedad
- Depresión
- Accidentes
- Ambientes de trabajo y condiciones de trabajo no aptas.
- Pérdidas económicas
- Daño a la imagen corporativa
- Impacto al ambiente

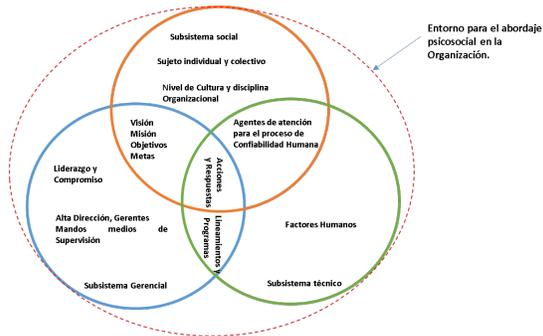


### El abordaje psicosocial como herramienta para comprender un sistema socio técnico:

Para (Stephen Frosh 2003, 2013) al hablar de abordaje psicosocial nos referimos al campo de la teoría psicosocial como un conjunto de conceptos que se desprenden de un campo de estudios emergente: los estudios psicosociales, que se ocupa de comprender los fenómenos humanos en una dimensión complementaria entre la dimensión social (estructural - estructurante) y la dimensión subjetiva (agente-constructora). Indica Frosh: "el sujeto humano es a la vez una entidad formada por el orden social, que sin embargo cuenta con capacidad de agencia en su interior". De lo antes mencionado se concluye que el abordaje psicosocial son las acciones de atención psicosocial encaminada a garantizar la continuidad dialéctica entre el individuo y la sociedad (comunidad familiar o laboral), lo psíquico y lo social, lo subjetivo y lo objetivo, desde la perspectiva de las ciencias sociales, especialmente de aquellas que adelantan sus desarrollos con base en un modelo crítico-social. Este tipo de acciones permite evaluar con equipos multidisciplinares los ámbitos de interrelación del humano con el entorno.

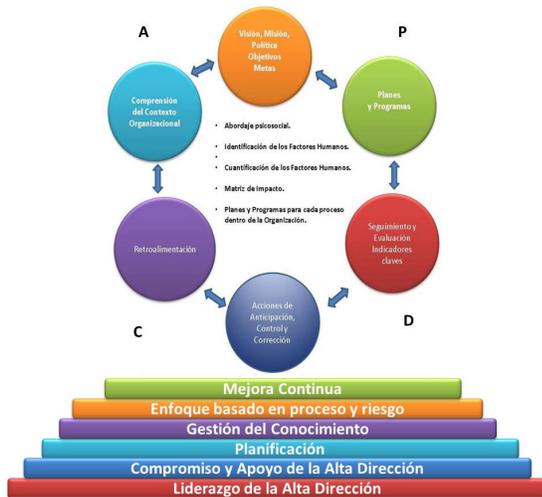
El realizar el abordaje psicosocial en la Organización permitiría conocer a fondo los Factores Humanos permitiendo obtener de primera mano el “ADN organizacional”, aspecto fundamental y vital para el conocimiento del entorno a nivel macro y micro siendo una fuente valiosa para establecer las relaciones entre los factores humanos y los niveles de producción, de servicio, de orden, de disciplina, de liderazgo, de comunicación, entre otros que pueden que afectan la productividad y competitividad.

El abordaje psicosocial permite conocer los límites, las interacciones y las interrelaciones que se tejen dentro de la Organización y que son vitales para el establecimiento de la Cultura organizacional, ambiente de trabajo, tal como se establece en la figura 2.



**Figura 2.** Abordaje psicosocial en un sistema sociotécnico. Fuente: El autor.

Una vez desarrollado el paso del abordaje psicosocial, la empresa tiene información y datos que son de valor para iniciar el camino hacia un Modelo de Gestión de Confiabilidad Humana basado en sus valores, idiosincrasia, creencias, costumbres, ahora bien, para el desarrollo de un modelo de gestión de Confiabilidad Humana en un sistema socio técnico es importante establecer las bases de este, tomando en cuenta los elementos de la figura 3:



**Figura 3.** Modelo de Gestión de Confiabilidad Humana. Fuente: El autor.

Es importante destacar que el establecimiento de un sistema de gestión de Confiabilidad Humana, debe enmarcarse en las fases del ciclo PDCA, a fin de garantizar un orden lógico dentro de la organización. Este modelo de gestión se centra en el liderazgo de la alta dirección, el compromiso y la participación de todos los que conforman la Organización, la planificación como proceso vital, la gestión del conocimiento será el proceso es el proceso por el cual una organización, facilita la trasmisión de informaciones y habilidades a sus empleados, de una manera sistemática y eficiente. Es importante aclarar que las informaciones y habilidades no tienen por qué estar exclusivamente dentro de la empresa, sino que pueden estar o generarse generalmente fuera de ella.

**Conclusiones**

Podemos concluir que un sistema socio técnico representa la fuente de información, de observación, de ejecución más importante para la Confiabilidad Humana.

La Confiabilidad Humana vista como proceso es transversal a todos los procesos de la Organización y ante los retos de la tecnología, de la automatización, del Machine Learning, del internet de las cosas, del Big data, la Confiabilidad Humana es y será una estrategia que aporte valor a los activos de la Organización.

La Confiabilidad Humana puede ser vista como estrategia de valor, como modelo, como herramienta, como metodología, como proceso, como actividad, como pilar. Sea cual sea el nivel que usted quiera darle en su Organización hay dos cosas que debe conocer: La Confiabilidad Humana no solo evalúa al comportamiento humano, y en segundo lugar, debe ser promovida, inducida por la Organización.

Para obtener una medida correcta de la Confiabilidad de un sistema se debe tener en cuenta la posible contribución del error humano, pero también debe analizarse el sistema sociotécnico.

**Referencias bibliográficas:**

1. Badham, R., Clegg, C., y Wall, T. (2000). Socio-technical theory. En W. Karwowski, Handbook of Ergonomics. New York: John Wiley, 2000.
2. Emery, F. Characteristics of Socio - Technical Systems. London: Tavistock Institute Document, 1959.
3. Emery, F. E., y Trist, E. Socio - Technical Systems. En C. Churchman, & M. Verhulst, Management Sciences, Models and Techniques (págs. 83-297). Oxford: Pergamon, 1960.
4. Emery, F. E. Socio-technical systems. Systems Thinking. Penguin: Education. Editorial: General Editor D.S. Pugh, pp 315 – 345, 1972.
5. Emery, F. E. A revision of the original in Design of Jobs, edited by L. E. Davis and J. C. Taylor Harmondsworth: Penguin Books, 1972.
6. Deming, W., Edwards (1989) Out of Crisis.
7. NTP 360: Fiabilidad Humana.
8. Frosh, S. (2013). "Psychosocial Theory". En: T. Teo, Encyclopedia of Critical Psychology. NY: Springer Reference.
9. Frosh, S (2003). "Psychosocial Studies and Psychology: Is a Criticas Approach Emerging?" In: Human Relations, 56 (12).
10. Deming, W., Edwards, <https://quote-citation.com/es/topic/citas-de-w-edwards-deming>.
11. OMS - Banco Mundial 2016: Comunicado de prensa conjunto: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/depression-anxiety-treatment/es/>

# IMPLEMENTANDO LUBRICACIÓN DE EXCELENCIA

## FASE 1: Diagnóstico asistido del programa de lubricación



Reunión con la dirección para discutir el resultado del análisis causa raíz del paro de planta. **Causa latente: LUBRICACIÓN.**



Para resolver la causa raíz, se decide implementar un programa de excelencia en lubricación



El gerente de confiabilidad se reúne con NORIA para **conocer el modelo de implementación** del proceso de lubricación (LPD) **alineado con ICML 55.1**



Reunión de **arranque para el diagnóstico (Fase 1)**. **Cómo usar las herramientas** de NORIA y la guía para responder las preguntas y las evidencias solicitadas.



**Recorrido por la planta** usando la guía y herramientas de Noria. Aprendiendo a descubrir las oportunidades y entender las mejores prácticas del estándar ICML 55.1. Toma de fotografías y evidencias



**Reunión de aclaraciones**, análisis de costos y envío de la información a noria para compilar el reporte y el gráfico de madurez ASCEND™



Reunión con la dirección para discutir los hallazgos, identificar prioridades y las acciones a implementar.

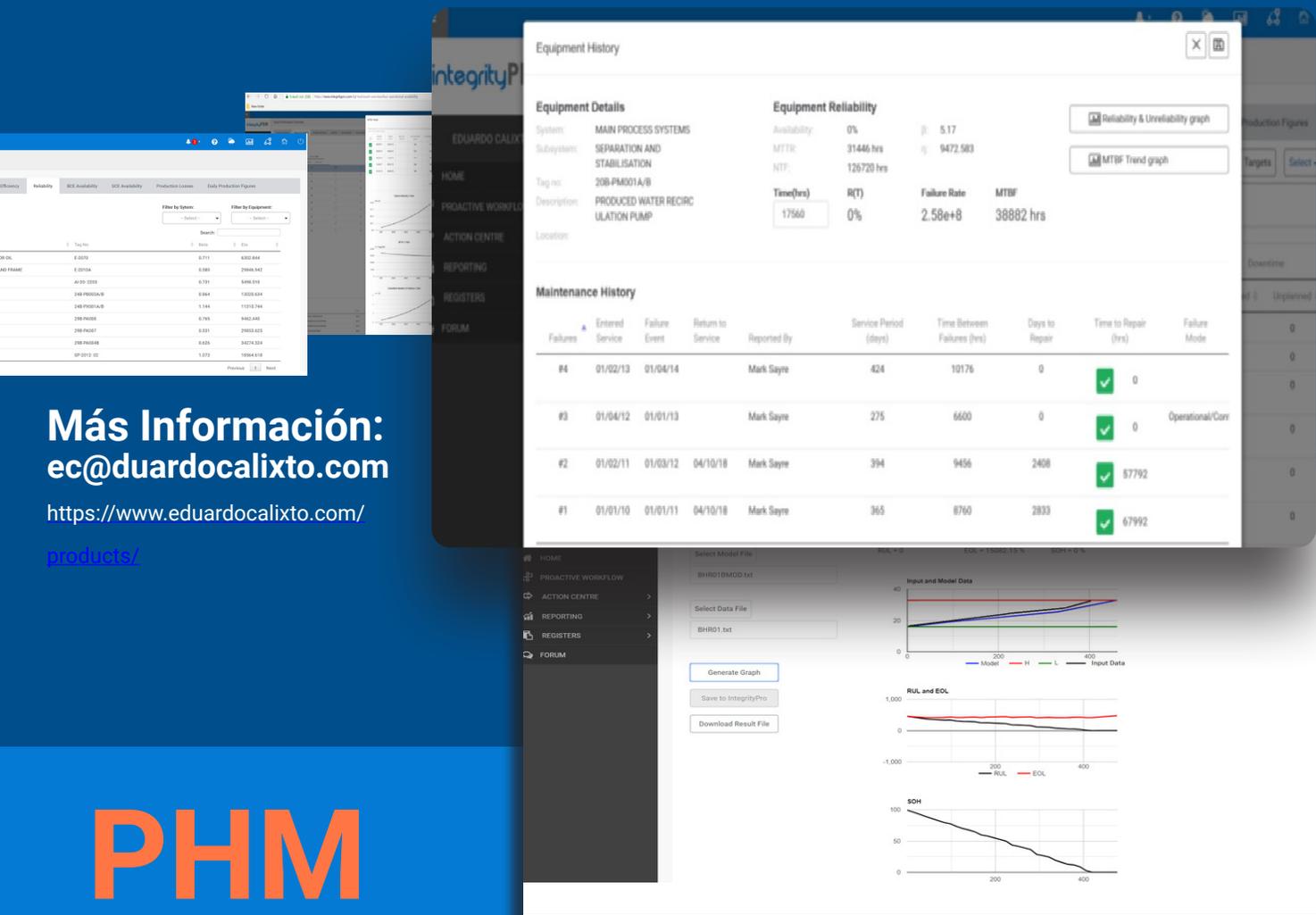


Presentación del plan de implementación y el análisis costo beneficio

# Gestión de Activo 4.0

Predicción del índice de fiabilidad y crecimiento de fiabilidad automática

(Fiabilidad 4.0)



Más Información:  
ec@duardocalixto.com

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

[products/](#)

# PHM

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

[www.eduardocalixto.com](http://www.eduardocalixto.com)



# La fiabilidad 4.0 como parte del proceso de gestión de activos: Caso de estudio de una plataforma de petróleo

*Eduardo Calixto Consulting, Alemanha*  
eduardocalixto.com

## Resumen

Muchos activos físicos en el mundo no alcanzan un alto rendimiento no por la mala gestión de mantenimiento, o falta de cultura de fiabilidad, sino por el bajo desempeño en fiabilidad de equipos críticos. Para resolver esta cuestión, proponemos la revolución de la fiabilidad 4.0 integrada al proceso de gestión de activos, que considera el monitoreo del desempeño del activo físico automático basado en los datos de fallas insertados en el sistema de reporte de fallas y acciones correctivas (FRACAS).

## 1. Introducción

Muchos activos físicos en el mundo no alcanzan un alto rendimiento no por la mala gestión de mantenimiento, o

falta de cultura de fiabilidad, sino por el bajo desempeño en fiabilidad de equipos críticos.

Durante décadas, la gestión de activos físicos y la implementación de ingeniería de fiabilidad aplicada al monitoreo del desempeño de activos físicos se han hecho por separado.

Aunque algunas soluciones para la gestión de activos físicos presentan herramientas de ingeniería de fiabilidad como el crecimiento de la fiabilidad (CROW AMSSA) y el análisis de vida útil, el mismo concepto prevalece.

El concepto de evaluación de desempeño de fiabilidad basado en crecimiento de fiabilidad y análisis de vida útil todavía se basa en la recopilación de datos y aplicación de métodos estadísticos complejos.

Debido a que este hecho es una gran dificultad para técnicos de mantenimiento, operadores e incluso para ingenieros, el

rendimiento de equipos ha sido evaluado de forma simple por indicadores como MTTF o tasas de fallo constante, que conduce a decisiones erróneas en relación con la decisión de alcanzar el rendimiento y la definición de tiempos de inspección.

Para resolver esta cuestión, proponemos la revolución de la fiabilidad 4.0 integrada al proceso de gestión de activos, que considera el monitoreo del desempeño del activo físico automático basado en los datos de fallas insertados en el sistema de reporte de fallas y acciones correctivas (DE LOS MÁS DÉBILES).

## 2. Gestión de Activos Físicos

Antes de presentar el concepto y los beneficios de la revolución de la fiabilidad 4.0, es necesario entender el sistema y proceso de gestión de activos físicos en el cual el monitoreo del desempeño.

El sistema de gestión de activos es un conjunto de actividades administrativas cuyo objetivo es apoyar la gestión del activo físico.

Basado en la norma ISO 55001, el sistema de gestión de activos debe ser iniciado por la comprensión del plan estratégico de negocio de la organización, que considera los requisitos legales, las demandas de clientes y stakeholders y así, tal plan de negocio puede traducirse en un plan estratégico de gestión de activos (SAMP).

A partir de la definición del plan estratégico de gestión de activos, algunos elementos son fundamentales para la completa implantación del sistema de gestión de activos como:

- Contexto de la organización
- Liderazgo
- La planificación
- Soporte
- Operación
- Análisis de la performance
- Mejora continua

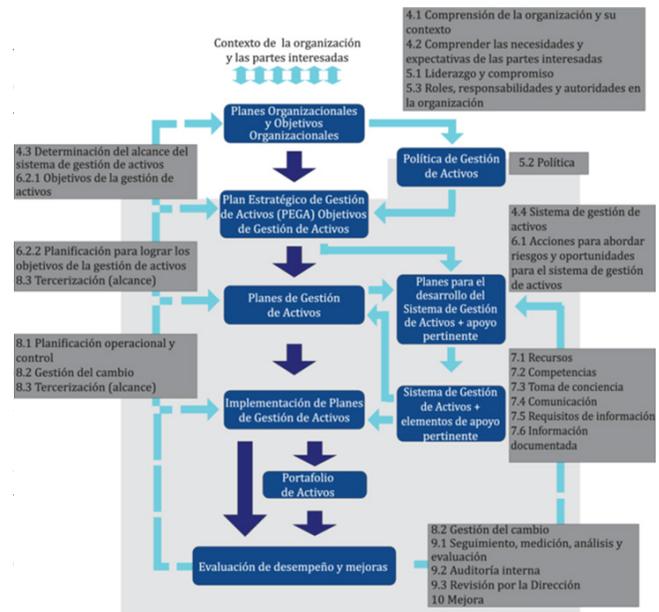
El Contexto Organizacional tiene como objetivo la configuración del plan estratégico de gestión de activos basado en el plan de negocio de la organización, que considera las demandas externas, capacidad interna, así como las exigencias de stakeholders. El producto final será el plan estratégico de gestión de activos.

Liderazgo tiene como objetivo asegurar el compromiso de líderes en todos los niveles organizativos, definición de la política del sistema de gestión de activos, implantación del plan estratégico de gestión de activos, así como la definición de las responsabilidades en todos los niveles del sistema de gestión de activos.

La planificación tiene como objetivo definir los riesgos

en la implantación de la gestión de activos, así como los riesgos operativos, que puedan impedir el logro de los objetivos estratégicos definidos del plan estratégico de gestión de activos.

El Soporte tiene como objetivo definir los recursos necesarios para la implantación del sistema de gestión de activos, así como, asegurar que los involucrados tengan conciencia de su papel en la gestión de activos. Además, es necesario establecer el proceso de comunicación y los procedimientos de gestión de la información dentro del sistema de gestión de activos.



**Figura 1.** Relación entre los elementos clave de la gestión de activos. Fuente: ISO 55000:2014.

Aunque el sistema de gestión de activos tiene su importancia para garantizar las actividades relativas a la gestión del activo físico de forma eficiente, la implantación de la norma ISO 55001 no garantiza por sí sola el alto rendimiento de los activos físicos.



### 3. Proceso de gestión de activos físicos

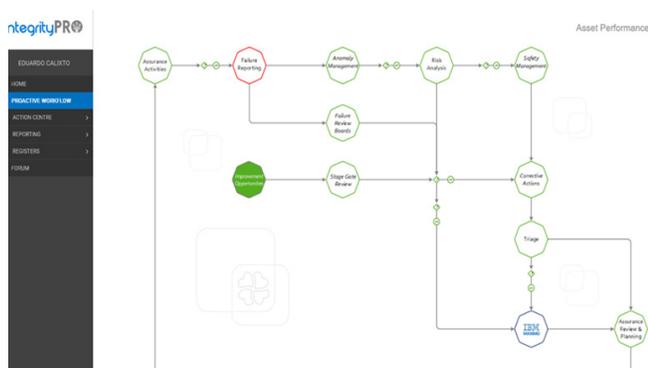
Además de la implantación del sistema de gestión de activos, es necesario definir el proceso de gestión de activos de forma que la gestión de activos forme parte de la rutina operativa de la organización. Por lo tanto, todas las etapas del proceso de gestión de activos físicos deben tener en cuenta a todos los involucrados en la consecución y garantía del alto rendimiento de los activos físicos.

Para que el proceso de gestión de activos físicos sea efectivo, se necesita un sistema centralizado de información que permita a todos los participantes en diferentes niveles organizativos acceder a toda la información y permita a los líderes tomar decisiones rápidas basadas en datos reales y fiables.

Además, es necesario equilibrar las acciones de mitigación de riesgos operativos con los límites de presupuesto y enfocarse en acciones que traigan el mejor costo/beneficio para la organización. Así, el proceso de gestión de activos físicos tiene los siguientes pasos:

- Monitoreo del desempeño & pronóstico de salud del activo (PHM)
- Gestión de mantenimiento preventivo, inspección y órdenes de servicio
- Informe de fallos y acciones correctivas
- Sistema de Información Geográfica (GIS)
- Gestión de fallos
- Gestión del riesgo operativo y coste/beneficio de las acciones de mitigación
- Gestión de la integridad de los activos centrada en los elementos críticos de seguridad
- Gestión de la rutina basada en las actividades de los equipos
- Aprendizaje de la organización
- Revisión de desempeño y mejora continua

La figura 2, a continuación, muestra la gestión del proceso de activos aplicada a través de una solución SaaS.



**Figura 2.** Proceso de gestión de activos físicos. Fuente: Integrity PRO SaaS software.

Como el enfoque del texto es la fiabilidad 4.0, a partir de

ahora nos centraremos en el monitoreo del desempeño del activo físico.

El monitoreo de desempeño se da de forma reactiva y preventiva. El modelo reactivo se produce cuando la verificación de rendimiento considera los fallos y eventos ocurridos en un período de tiempo.

La fiabilidad 4.0 es un tipo de monitoreo de desempeño reactivo, que comienza en el nivel de sistema con la medición de la eficiencia de producción y disponibilidad operativa, pasando a nivel de equipos y componentes para medir la disponibilidad operativa y la fiabilidad de los equipos.

Aunque este es el foco del texto, reconocemos la importancia de la medición de la performance basado en una metodología preventiva, que tiene como centro la medición de la degradación de equipos y componentes a través del mantenimiento predictivo, o como hemos propuesto en nuestro proceso de gestión de activo físico, vía pronóstico de salud del equipo (PHM). De hecho, incluso la fiabilidad 4.0 es un monitoreo de desempeño reactivo, es posible al instante verificar el cumplimiento de requisitos de garantía de fiabilidad entre otras ventajas.

### 4. Revolución de la Fiabilidad 4.0

El programa de ingeniería de fiabilidad debe ser implantado desde la fase conceptual del activo físico para definir los requisitos de fiabilidad de los sistemas y equipos y la selección de proveedores, que puedan entregar equipos de alta performance en fiabilidad.

Desafortunadamente, esto no ocurre en muchos casos dando lugar a un bajo rendimiento en la fiabilidad de los equipos críticos, que afecta el rendimiento de los sistemas (activos físicos).

Durante la fase de operación, la evaluación del rendimiento del equipo es esencial para la correcta toma de decisiones en relación con el mejor intervalo de tiempo para inspección y mantenimiento preventivo, así como la verificación y validación del cumplimiento de los requisitos de fiabilidad.

En muchas organizaciones, el concepto de fiabilidad y la verificación y validación de la fiabilidad se aplican erróneamente. Esto a menudo lleva a muchos líderes a tomar decisiones equivocadas. Estos hechos ocurren por las siguientes causas:



- Comprensión incorrecta del concepto de fiabilidad
- Incorrecta definición de indicadores de rendimiento como MTTF y constante tasa de fallas
- Falta de un sistema de fallas y acciones correctivas consistentes (FRACAS)
- Falta de implantación de un programa de fiabilidad y mantenimiento desde la fase de diseño y diseño
- Falta de inversión en formación en ingeniería de fiabilidad
- Pesada rutina de mantenimiento y operación causando falta de tiempo para actividades de ingeniería de fiabilidad.

La supervisión de la gestión de activos a través del rendimiento de la fiabilidad de los equipos debe integrarse al sistema FRACAS y predecir automáticamente el rendimiento de fiabilidad. De esta manera, el primer paso es la definición de los parámetros de la función Weibull y luego la definición de los siguientes índices de performance tales como:

- Fiabilidad en un tiempo de operación específico
- Disponibilidad operativa de los equipos
- Siguiendo tiempo de fallo (basado en el modelo CROW AMSAA)
- Tendencia y proyección del MTBF (basado en el modelo CROW AMSAA)
- Tendencia y proyección de la función de intensidad de fallos (basado en el modelo CROW AMSAA)
- Tiempo esperado de reparación (MTRR)

## 5. Caso de estudio de la implantación de la Fiabilidad 4.0 en una plataforma de petróleo

El estudio de caso presentado fue aplicado en la implantación del sistema integrado de gestión de activos en una plataforma de petróleo en una empresa en África. Al igual que la gestión de activos físicos, la supervisión de la gestión de activos a través del rendimiento de la fiabilidad de los equipos debe integrarse al sistema FRACAS y predecir automáticamente el rendimiento de fiabilidad. Por lo tanto, una vez que los datos han sido introducidos en el sistema de fallos por los técnicos de mantenimiento y los operadores, el primer paso de la fiabilidad 4.0 es la definición automática de los parámetros de la función Weibull, basados en pruebas estadísticas predefinidas, y posteriormente, la definición de los índices de fiabilidad

y crecimiento de la fiabilidad según se ha definido anteriormente. Las figuras 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 abajo muestran a una bomba de una plataforma: ( $\beta = 5,17$  y  $n = 9472,58$  (horas)).

Uno de los puntos más importantes en la gestión de activos y la implantación de Confiabilidad 4.0 es la integración de estos sistemas con la rutina operativa. De esta forma, es muy importante que sea posible el rápido acceso de equipos críticos y predicado de la performance de confiabilidad de tales equipos. Así, la figura 3.1 muestra la visualización de los equipos críticos disponibles para todo el equipo de mantenimiento y la producción para comprobar el rendimiento de la fiabilidad 4.0. Como se muestra en la figura 3.1, depende de la importancia de la maquinaria de los diferentes colores se señalan. El color rojo muestra equipos críticos con bajo rendimiento en confiabilidad, el color naranja muestra equipos con nivel de degradación moderado con posible fallo y el color verde muestra quioscos que a pesar de un inicial.

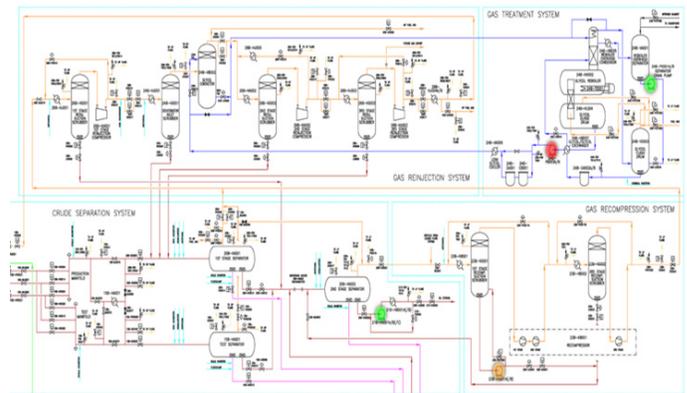


Figura 3.1. Mapa de equipos críticos. Fuente: El autor.

Al seleccionar uno de los equipos mostrados en el mapa electrónico es posible verificar informaciones relacionadas con los equipos como su Descripción, tag, Sistema, subsistema, estado y estado de salud. El estado se puede definir como LTU "Largo Term unavailable", que significa, un período de más de una semana no disponible. o SPF "Single Point of Failure", que significa, equipos que en caso de fallo causan indisponibilidad del sistema. En la esquina derecha se define el estado de salud, "Equipment Health", que indica el nivel de degradación en diferentes colores como muestra la figura 3.2.



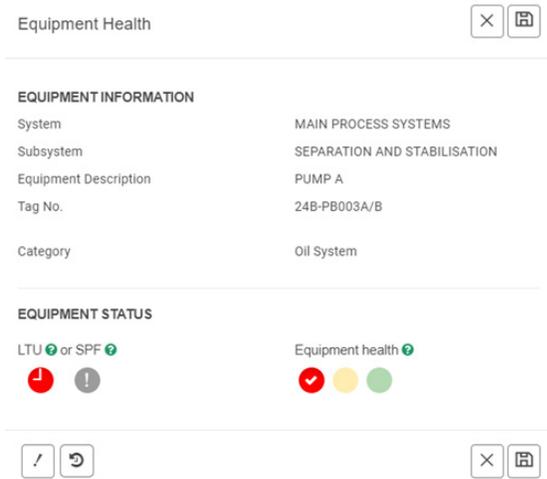


Figura 3.2. Ficha electrónica de equipos. Fuente: El autor.

Al seleccionar uno de los equipos en el mapa de equipo crítico es posible la comprobación automática de la fiabilidad y el crecimiento de cada equipo. La figura 3.3 muestra la predicción de los parámetros de PDF Weibull 2P, fiabilidad, disponibilidad operativa, MTTR, MTTF (basado en crecimiento de fiabilidad), tasa de fallo (basado en crecimiento de fiabilidad).

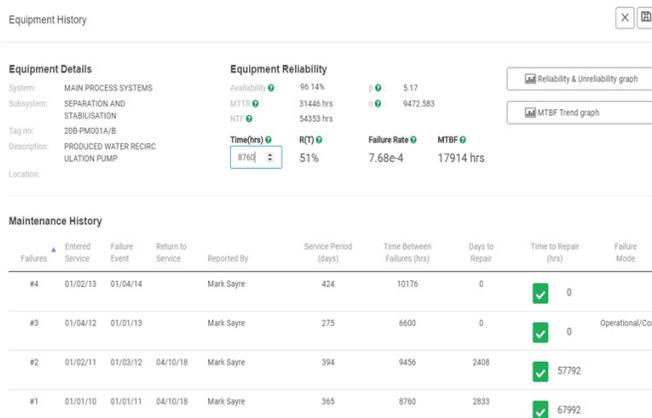


Figura 3.3. Índices de confiabilidad basados en confiabilidad 4.0. Fuente: Integrity PRO software.

Por lo general, para llevar a cabo LDA, es necesario tener datos históricos al menos en el nivel del equipo. Muchas empresas, incluidos los proveedores de equipos en la industria del petróleo y el gas, y también en otras industrias, no tienen una base de datos organizada con datos históricos de sus equipos. Por lo tanto, el primer paso, antes de la LDA, es recoger los datos de fallo disponibles. La situación ideal es contar con una base de datos muy estructurada, como el informe de fallos y las medidas correctoras (FRACAS). El primer paso antes de iniciar la metodología LDA es entender el concepto de la función de densidad de probabilidad (PDF). Los PDF describen gráficamente la posibilidad de que ocurran eventos a lo largo del tiempo; en el caso del análisis de datos de vida del equipo, esto significa que el tiempo de falla o reparación se produce con el tiempo. Los pasos de la metodología LDA son:

- Primer paso: Para definir la muestra de datos (agrupados o no agrupados)
- Segundo paso: Para definir el tipo de datos (Censurado o completo)
- Tercer Paso: Para realizar la bondad del análisis de ajuste (Parcela, Regresión, MLE, otros)
- Cuarto Paso: Definir el parámetro PDF
- Quinto paso: Para predecir la fiabilidad, probabilidad de fallo y la función de tasa de fallo

Basado en la Fiabilidad 4.0, todos estos pasos se realizan automáticamente en base a la configuración adecuada para el tipo de activo físico. Por lo tanto, la fiabilidad 4.0 permite a todos los empleados entender los resultados de fiabilidad basados en la predicción automática sin la necesidad de tener un profundo conocimiento de estadísticas y la fiabilidad, y sin la necesidad de utilizar otro software para predicción de fiabilidad.

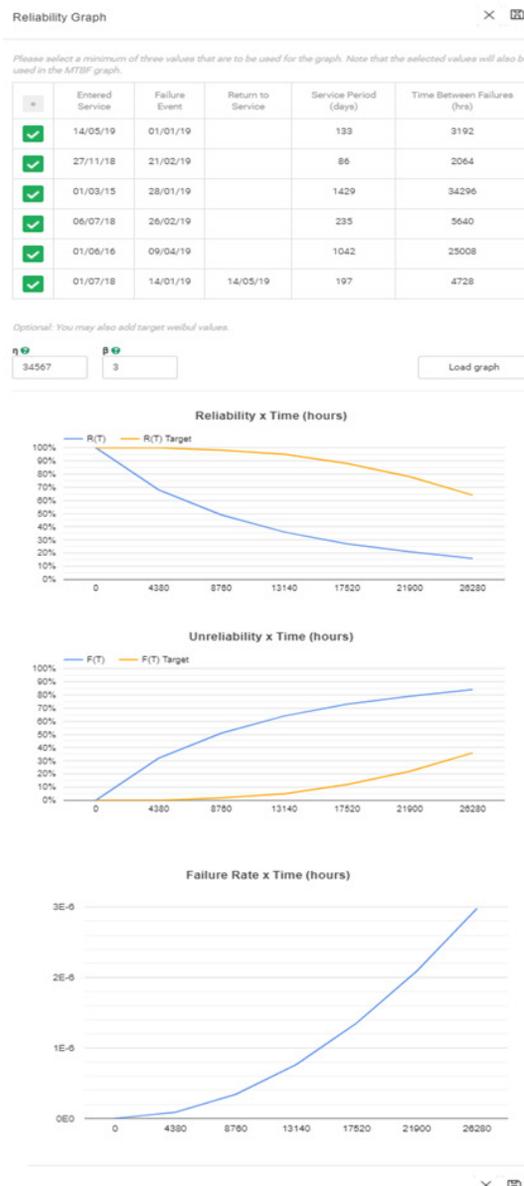


Figura 3.4. Gráficos de la fiabilidad basados en la fiabilidad 4.0. Fuente: Integrity PRO software.

Además del predicado de la fiabilidad, el predicado del crecimiento de la confiabilidad también se calcula así como los gráficos de fiabilidad, probabilidad de fallas, tasa de fallo, tendencia de MTTF, tendencia de tasa de falla y número esperado de fallas como muestran las figuras 3.3 y 3.4. La metodología de Análisis de Crecimiento de Confiabilidad se aplica a la evaluación de equipos durante la operación y se basa únicamente en el Modelo Crow AMSSA. Este modelo fue introducido por el Dr. Larry H. Crow en 1974, es un modelo estadístico que utiliza el parámetro de distribución Weibull para describir la relación entre el tiempo acumulado entre el fallo y el tiempo de prueba. Este enfoque se aplica en el análisis de crecimiento de la fiabilidad para mostrar el efecto de las acciones correctoras sobre la fiabilidad cuando se está desarrollando un producto o incluso en sistemas reparables durante la fase de funcionamiento. De este modo, siempre que se introducen mejoras durante las pruebas (test-fix-test), el modelo Crow AMSAA se utiliza para predecir el crecimiento de la fiabilidad y el número acumulativo esperado de fallos. El comportamiento de crecimiento deficiencia puede aumentar/disminuir o permanecer constante con el tiempo. De hecho, depende de los valores  $\beta$  que es un parámetro de forma de la función de falla de intensidad en el modelo Crow AMSAA. Por lo tanto, en este modelo cuando  $\beta > 1$ , la fiabilidad disminuye con el tiempo porque la intensidad de fallo está aumentando, o en otras palabras, las acciones del producto correctivo no están mejorando el producto. Cuando  $\beta < 1$ , la intensidad del fallo está disminuyendo con el tiempo, o en otras palabras, las acciones correctivas del producto están mejorando la fiabilidad del producto. Cuando  $\beta = 1$ , el producto se comporta como si no se hubiera tomado ninguna acción correctiva y la intensidad de la falla es constante en el tiempo. Es importante tener en cuenta que la  $\beta$  del modelo Crow-AMSAA describe un comportamiento de falla de intensidad y no tiene relación con el parámetro de la forma de distribución de Weibull.

El origen de los datos de fallos y reparación se produce por el sistema FRACAS. De esta manera, a través de una ficha electrónica de fallos que puede ser accedida a través del teléfono móvil o vía computada, las fallas pueden ser insertadas en el sistema y a partir de más de tres datos cuantitativos la fiabilidad y el crecimiento de la fiabilidad se calculan automáticamente. El Sistema

FRACAS Electrónico está basado en FMEA, que definen los modos de falla las causas y consecuencias así como los modos de detección de fallas. Tales informaciones son estandarizadas e insertadas en el FRACAS.

De esta manera, los medios de operación y los operadores pueden abrir una ficha de fallo de forma simple y rápida. La figura 3.5 muestra la primera ficha electrónica del FRACAS. Después de completar esta ficha, los supervisores revisarán los datos y aprobarán análisis. Luego se dará el análisis de la causa raíz y la definición de las acciones mitigadoras para la apertura de la orden del servicio. Todo este proceso es parte del proceso de gestión de activos (Integrity Pro Saas). En el momento no vamos a detallar el sistema FRACAS, pues el objetivo de este paper es demostrar la fiabilidad 4.0, pero es importante demostrar también el origen de los datos para los cálculos de confiabilidad que se da por el sistema FRACAS.

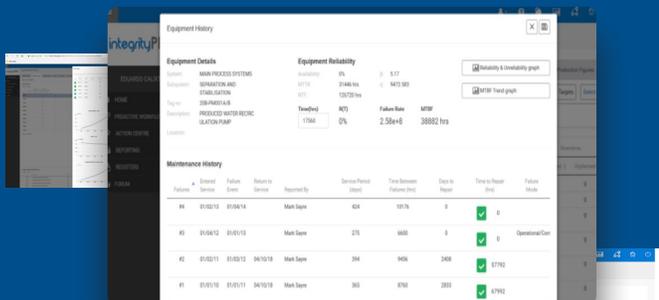


Figura 3.4. Gráficos de crecimiento de la fiabilidad basados en la fiabilidad 4.0. Fuente: Integrity PRO software.

## Gestión de Activo 4.0

Predicción del índice de fiabilidad y crecimiento de fiabilidad automática

(Fiabilidad 4.0) [www.eduardocalixto.com](http://www.eduardocalixto.com)



Stage 1 Create an Observation Report

Ref No. A17-1599 Raised by Eduardo Calixto Entry Date: 18/09/19

Observation Pump A Observation Translation Save to see translation

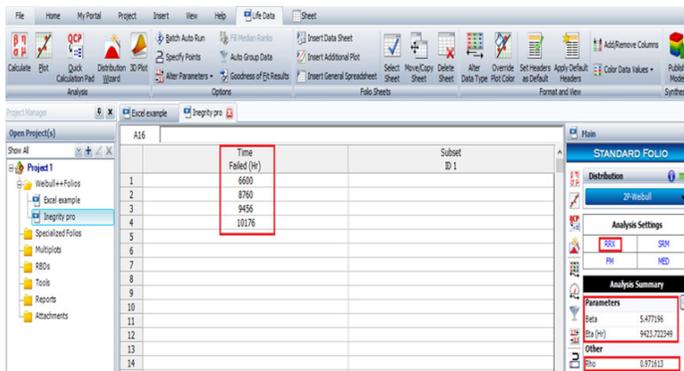
Evaluation Impact Classification Equipment Failure

Method of Detection Inspection

Failure Mode Structural/Mechanical Description Normal wear Code NEW

**Figura 3.5.** Hoja electrónica de fallos del sistema FRACAS. Fuente: Integrity PRO software.

Con el objetivo de verificar y validar los resultados de fiabilidad 4.0 presentados en el software Integrity pro, el renombrado software Weibull ++ de Reliasoft fue aplicado utilizando los mismos intervalos de fallo y métodos estadísticos. La figura 4 muestra el resultado de la estimación de los parámetros de distribución Weibull 2p calculados por el software Weibul que fueron: =5,47 e =9423 (horas), bien próximos a los valores calculados por la solución fiabilidad 4.0 en el software Integrity pro.



**Figura 4.** Análisis de fiabilidad basado en el análisis de vida útil. Fuente: Weibull ++ software.

Finalmente, una de las grandes ventajas de la fiabilidad 4.0 es la posibilidad de generar automáticamente una base de datos de fiabilidad como muestra la figura 5. De esta manera, la plataforma de petróleo pasará a tener su propia base de datos de fiabilidad en tiempo real. Dicha base de datos puede utilizarse como base para estudios de fiabilidad, seguridad y análisis de riesgos en la fase de proyecto y operativa. Esto elimina el uso de bases de datos genéricas como OREDA y AICHE.

#### Fuentes Bibliográficas

1. "Gas and Oil Reliability Engineering: Modelling and Simulation. Second edition, Elsevier ISBN: 9780123919144, 26 May2016).
2. RAMS and LCC engineering applied to railway industry: Analysis, Modelling and Optimization. 18-04-2018 Amazon. ISBN-13: 978-1986524704.

Discipline	Equipment Description	Tag No	Beta	Eta
Oil System	HEATER MULTIFUNCTIONAL SEPARATOR OIL	E-2070	0.711	6302.844
Oil System	EXCHANGER A CRUDE CRUDE PLATE AND FRAME	E-2010A	0.580	2986.942
Oil System	Sales Oil Meter ES&R Analyser	A1-20-2203	0.731	5486.310
Oil System	PUMP A	248 P8003A/B	0.884	13020.634
Oil System	SEPARATOR DRAIN PUMP	248 P8001A/B	1.144	11310.744
Oil System	PUMP E	248 P8006	0.765	9402.440
Oil System	PUMP D	248 P8007	0.531	2983.625
Oil System	PUMP C	248 P8004/B	0.626	34274.324
Oil System	Electrostatic Tester Sampler	SP-2012-02	1.073	18564.618

**Figura 5.** Base de datos de fiabilidad 4.0. Fuente: Integrity PRO software.

## 6. Conclusión

El objetivo del estudio fue demostrar la revolución de la fiabilidad 4.0 a través de un estudio de caso práctico aplicado a la industria del petróleo. Mediante la verificación y validación realizada por el software Weibull ++ fue posible verificar la consistencia de los resultados producidos automáticamente por la fiabilidad 4.0. De esta forma, los principales beneficios de la fiabilidad 4.0 son:

- Integración de herramientas de ingeniería de fiabilidad como FRACAS, análisis de vida útil y análisis de crecimiento de fiabilidad en el proceso de gestión de activos.
- Predicción de fiabilidad y crecimiento de fiabilidad basada en datos reales con resultados fiables.
- Posibilidad de verificación de la performance de fiabilidad por cualquiera de los integrantes del proceso de gestión de activos físicos en línea de forma automática, que permite una rápida toma de decisiones.
- Eliminación de la necesidad de cálculos complejos y uso de software auxiliar para la predicción de la fiabilidad y el crecimiento de la fiabilidad.
- Reducción drástica del tiempo de cálculo de performance de fiabilidad.
- Reducción de la inversión en software y entrenamientos en análisis de vida útil.

Una de las limitaciones de las predicciones de desempeño en fiabilidad es la necesidad de datos de fallas para posteriormente predecir la fiabilidad o la tendencia de la disminución del intervalo entre fallas.

Sin embargo, como se ha dicho anteriormente, el pronóstico de salud de los activos físicos es parte del proceso propuesto de gestión de activos físicos y permite verificar la degradación de los activos físicos cuando éstos operan por encima de los límites operativos. Este tema será discutido en un próximo artículo.

# ANÁLISIS RAM

Soluciones de Ingeniería y Mantenimiento, S.L

[info@sim-sl.com](mailto:info@sim-sl.com)

A photograph of an industrial facility, likely a power plant or refinery, featuring several tall, cylindrical chimneys or smokestacks against a blue sky with light clouds. The chimneys are made of light-colored material, possibly concrete or metal, and show some signs of wear and discoloration. In the background, there are various industrial structures, including pipes, walkways, and storage tanks.

SOFTWARE  
MAROS / TAROS

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

# Confiabilidad Organizacional: Un método para mejorar los procesos que afectan a la **CONFIABILIDAD OPERACIONAL**

MSc. Johanna López Durán

johanna.duran@twpl.com

MIAM, MIEE, MSc. José Bernardo Durán

jose.duran@twpl.com

## Resumen

Gran parte de los esfuerzos técnicos por mejorar la confiabilidad son entorpecidos o chocan de manera reiterativa y creciente con algunos procesos organizacionales, tales como los de cadena de abastecimiento, ingeniería, tecnologías de información, Talento humano, legal, contratación, entre otros. TWPL1, siendo creadora del extendido concepto de Confiabilidad Operacional basado en los 4 pilares2 y con 25 años de experiencia en su implementación, ha observado cómo frecuentemente estos procesos cuentan con objetivos y procedimientos que por lo general no están del todo alineados con las funciones de los activos, por ejemplo, compras al mínimo precio, contratos de servicio anuales, descripción de cargos, entre otros.

Ante este reto y motivada por la alta competitividad que demanda de empresas ágiles, eficaces y eficientes, TWPL ha desarrollado BEPRO, un método que permite la revisión y optimización de procesos y procedimientos, facilitando su simplificación, reducción de retrabajos, menores tiempos de respuesta y sobre todo una alineación de objetivos entre las áreas técnicas y las áreas de soporte de una empresa compleja. BEPRO se basa en la optimización de costo, riesgo y desempeño que, de una manera sistemática, auditable y proporcional, es aplicable tanto a procesos como a procedimientos de cualquier sistema de gestión;

1 TWPL: The Woodhouse Partnership Limited

2 Pilares de la Confiabilidad Operacional: Fiabilidad de equipos, Mantenibilidad, confiabilidad de procesos y confiabilidad humana. Modelo internacionalmente extendido y aceptado.

como los sistemas de gestión de activos, mantenimiento, confiabilidad operacional, seguridad del trabajo, ambiente y sistemas de gestión integrado, cumpliendo de manera adecuada los criterios de las normas y estándares aplicables en cada uno de ellos.

BEPRO está siendo aplicada con éxito en diversas corporaciones a nivel mundial; en este artículo se ilustra de manera resumida el método BEPRO con un ejemplo de un caso de éxito, mostrando algunos de los grandes beneficios que se obtienen de su aplicación.

**Palabras claves:** Sistemas de Gestión, Confiabilidad Operacional, Confiabilidad Organizacional, Gestión de Activos.

## 1 Introducción

En los últimos años, la humanidad y su desarrollo ha dado saltos “cuánticos” en muchos aspectos, la conciencia y el conocimiento se revela como si la bruma se desplazara para dejar ver un poco más el paisaje, dejando siempre un horizonte que descubrir.

Entre los despertares y conceptos que se vienen utilizando con fervor desde el siglo pasado es el de la “Confiabilidad”, el cual inmediatamente atribuye el nivel de confianza que se tiene a que un sistema cumpla



con la función para la cual fue concebida, bajo ciertas condiciones de operación, durante un tiempo establecido.

Así mismo dentro de la rama de la confiabilidad, se ha desplegado la confiabilidad operacional, la cual señala que para lograrse se requiere una armonía entre la fiabilidad intrínseca de equipos, mantenibilidad, procesos y personas.

La confiabilidad es un concepto muy apreciado, sin embargo, en ocasiones es utilizada de manera aislada y limitada, incurriendo en enfoques selectivos que restringen su beneficio y en casos más graves podría convertirse en una fuente de mal uso de valiosos recursos.

La dualidad entre la necesidad de confiar (disminuir riesgos) y no “gastar” recursos (por simplificar la problemática), está gobernada por factores altamente no lineales y muy interactivos que actúan bajo fenómenos técnicos y sociales muy complejos, lo cual requiere una visión holística que tome en cuenta esta complejidad e integre a las partes del sistema en un todo sinérgico. Esta visión es esencial para las buenas prácticas de Gestión de activos, descrito por la ISO 55000 como “Actividades coordinadas de una organización para obtener valor de sus activos”, Resaltando que: [1]

- » *Los activos existen para proporcionar valor.*
- » *La gestión de activos no se enfoca en el activo en sí mismo, sino en el valor que el activo puede proporcionar a la organización.*
- » *El valor será determinado por la organización y sus partes interesadas, de acuerdo con los objetivos organizacionales.*

Sin embargo, a pesar de que cada día hay mayor conciencia y conocimiento de diferente índole, siguen presentándose **desatinos involuntarios** con más frecuencia y variedad de los que serían esperados bajo una buena gestión de los activos, como lo son:

### **Falta de unificación empresarial del concepto de valor**

Considerando que *obtener “valor”* es la razón de ser de la gestión de activos y que la percepción del valor puede cambiar para diferentes individuos dependiendo del tipo de organización, *background*<sup>3</sup> de sus *stakeholders*<sup>4</sup>: historia individual, moral y ética, ambiente donde se desenvuelve, entre otros. Al punto de que con frecuencia pareciera que cada parte trabajase para empresas diferentes (con objetivos e indicadores particulares que muchas veces pueden estar en conflictos con los de otros procesos/ departamentos); es de entender que acordar una definición clara de valor para toda la organización es uno de los desafíos más relevantes durante la implementación de

<sup>3</sup> Background: anglicismo relacionado a los antecedentes y experiencias.

<sup>4</sup> Stakeholders: anglicismo adoptado en el lenguaje empresarial que hace referencia a una persona, organización o empresa que tiene interés en una empresa u organización dada.

buenas prácticas de gestión de activos.

### **Objetivos en conflicto**

Además de, que con frecuencia se discrepa en las percepciones de valor, también es común encontrar “objetivos en conflicto” en diferentes áreas de la organización, por ejemplo, entre el manejo de diferentes etapas del ciclo de vida (ingeniería, operación, mantenimiento, renovación) y las áreas de apoyo (logística, talento humano, legales, etc.). Estos conflictos son exacerbados por las dificultades en definir prioridades objetivas y la carencia de métodos preestablecidos (acordados y adecuados) para la toma de decisión.

Estos objetivos en conflicto generan entre otras consecuencias, retrabajos y retrasos en la toma de decisiones.

### **Ausencia de métodos para la toma de decisiones**

La palabra gestión inmediatamente hace referencia a tomar decisiones y durante la gestión de activos las decisiones están a la orden del día en múltiples niveles, el no contar con un método de toma de decisiones, acordado y adecuado para las partes interesadas dificulta el proceso. Por otro lado, migrar del esquema tradicional más parecido a gestionar “Pasivos” (generadores de gastos) a gestionar “Activos” (generadores de valor) de manera real, no es una tarea fácil, razón por la cual se pueden observar algunas situaciones no deseadas como:

1. Personal técnico muy “distráido” en temas administrativos
2. Retrasos en compras/contratación
3. Retrasos/reprocesos en ingeniería
4. TI con grandes problemas para atender necesidades de los procesos
5. Personal de mantenimiento con mucho tiempo con las manos fuera de los “hierros”

Todos estos desatinos: discrepancia en la definición de valor, objetivos en conflictos y ausencia de métodos para tomar decisiones, aunado con la concurrente desviación, de algunos roles, en la función principal de generación de valor por lograr el cumplimiento de protocolos y procesos, que derivan en demoras en la resolución de problemas y ejecución de tareas, suelen ser síntomas de requerir mejores prácticas de gestión de activos.

## **2 Antecedentes**

A mediados de los años 90 TWPL desarrolló en Inglaterra el concepto de Confiabilidad Operacional basado en los 4 pilares<sup>5</sup>, como una solución sistemática a una serie de problemas de Confiabilidad de instalaciones de refinación

<sup>5</sup> Pilares de la Confiabilidad Operacional: Fiabilidad de equipos, Mantenibilidad, confiabilidad de procesos y confiabilidad humana. Modelo internacionalmente extendido y aceptado.

de petróleo, de allí se fue expandiendo a otros sectores industriales y de servicios por los 5 continentes.

Esta experiencia ha mostrado con claridad que no es suficiente el solo resolver problemas técnicos, es muchísimo más importante enfrentar temas **organizacionales** que son más complejos aún y que requieren de otro enfoque para su solución definitiva.

Por otro lado, la creciente necesidad de maximizar los beneficios, al mismo tiempo que disminuir costos y riesgos, dio pie a la formalización de buenas prácticas de gestión de activos, cuya demanda de estandarización ha resultado en la publicación de diferentes documentos.

- En el año 2004 se publicaron las especificaciones disponibles al público BSI PAS 55.
- En el año 2008 se publicó una revisión de PAS 55.
- En el año 2014 se publicó la norma ISO 55001, 55002 y 55003).
- En el año 2018 se publicó una actualización a la ISO 55002 (*Directrices para la aplicación de la ISO 55001*).
- En el año 2019 se publicó ISO 55010 (*Orientación sobre la alineación de las funciones financieras y no financieras en la gestión de activos*)

La gestión de activos y por consiguiente las normas ISO 55000 requieren que todos los objetivos de gestión de activos estén alineados en torno a la generación de valor. Conjuntamente, debe existir integración entre la gestión de los activos físicos y la gestión empresarial, que puede incluir la aplicación de otras normas de gestión como las ISO 9000, 18000, 45000, 14000 entre otras.

La conglomeración de múltiples actividades y necesidad de cumplir con estos requerimientos y sistemas de gestión, que generalmente son tratados de manera independiente, inconexa y lineal, sin una visión holística y sistémica, frecuentemente conduce al abarrotamiento de procesos y procedimientos.

Aunado a esto, para gestionar con éxito la aceleración creciente del cambio en el campo que define las condiciones industriales es vital tener una visión que marque el sentido con estrategias articuladas y amplias capacidades adaptativas.

Por ejemplo, es inminente la llegada de la Transformación Digital y la Inteligencia Artificial a la gestión de activos. Sin embargo, existe el riesgo de sucumbir a la tentación de creer que se trata solo de comprar máquinas más sofisticadas y conectar todo a la internet, sin contar con una visión holística soportada con estrategias integrales alineadas al valor organizacional.

Aleck Santamaría<sup>6</sup> en sus *Reflexiones sobre tecnología*

<sup>6</sup> Aleck Santamaría De La Cruz  
Chair SMRP-Latam  
C-Level Executive, Consultant (Energy and Technology)

y *transformación digital* expresa: “La transformación digital implica la estrategia, los procesos operacionales, la cultura, el liderazgo, la claridad del modelo de negocio, tener escenarios y rutas alternas de transformación digital, antes que la misma tecnología. Estos son aspectos por tratar y resolver formalmente antes de generar soluciones tecnológicas.” [2]

### 3 BEPRO: (Business Excellence: Process Review and Optimization)

Considerando que uno de los puntos de mejora recurrente son los procesos y procedimientos, TWPL desarrolló a petición de grandes clientes corporativos BEPRO: (Business Excellence: Process Review and Optimization), **un método práctico, sencillo y sistemático para agregar valor a la organización mejorando la confiabilidad de los procesos y procedimientos de gestión y sus interrelaciones**, a través de:

- 1) Mejorar la confiabilidad de procesos/ procedimientos críticos<sup>7</sup>
- 2) Reducir el trabajo de procesos de baja criticidad

BEPRO se define como: método sistemático que, por medio de la identificación de procesos, subprocesos, procedimientos, no-conformidades y sus causas raíces establece tareas eficaces y eficientes que garantizan que los procesos agreguen el valor deseado, eliminando las causas raíces de las no conformidades y eliminando/reduciendo actividades que no agregan valor.

BEPRO Implica enfoque en el **Valor** y no en el Proceso o procedimiento. Forma parte de los métodos de mejora continua, enfocado a los procesos y procedimientos de las organizaciones. Para ello se sistematizan en los siguientes pasos de Identificación y Control, siendo siempre precedido por el acuerdo gerencial:

- **Previa Implementación:**  
Paso 0: Acuerdo Gerencial
- **Identificación:**  
Paso 1: Análisis de Procesos  
Paso 2: Priorización
- **Control:**  
Paso 3: Aplicación de Herramientas BEPRO  
Paso 4: Implementación

<sup>7</sup> La criticidad en este artículo está referida a las consecuencias para la gestión de los activos físicos, pero es aplicable a cualquier sistema de gestión.

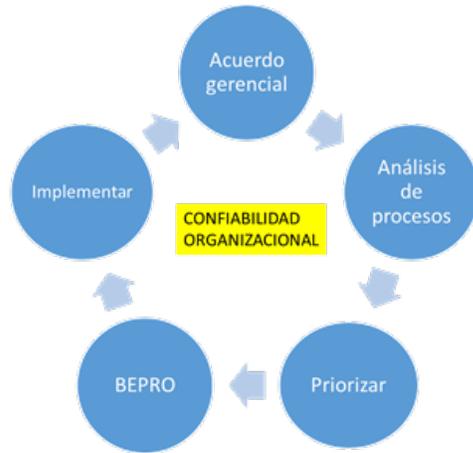


Figura 1: Pasos en la Implementación de BEPRO

## Paso 0: Acuerdo Gerencial

**Acuerdo Gerencial:** para maximizar el éxito y logro de las buenas prácticas de gestión, es de vital importancia alinear las actividades a realizar con los objetivos organizacionales, definir el alcance, gobernanza y participación de las partes interesadas. Se recomienda acordar con la Gerencia / Dirección al menos lo siguiente:

- 1) **Misión de alto nivel que establezca:**
  - a) Alcance:
    - i) Identificar Procesos/ Procedimientos (Cadena de Valor)
  - b) ¿Cuál es el Objetivo deseado?
    - i) ¿Qué beneficios se esperan de la implementación (no del análisis)?
    - ii) ¿Cuándo se esperan los resultados?
  - c) Gobernanza, definir la RACI<sup>8</sup>
    - i) El Gerente/Director **acepta** el rol de **Accountable**<sup>9</sup>: (RACI)
    - ii) ¿Quién debe dirigir, ser Responsable de la ejecución de la actividad?: (RACI)
    - iii) ¿Quién puede ser afectado?: (RACI)
- 2) **Generar un Mandato/orden con objetivos claros**
  - a) Emitido por nivel gerencial de manera oficial (La A del RACI)
  - a) Permite hacer seguimiento/acompañamiento
  - a) Exige un producto final (forma y fechas)

<sup>8</sup> RACI: Matriz de asignación de Responsabilidades, donde:

R: Responsable, rol ejecutor

A: Accountable, rol patrocinador y de supervisión

C: Consultado, rol de contribución

I: Informado, rol unidireccional

<sup>9</sup> Accountable no tiene traducción exacta al español, pero se refiere al rol patrocinador (ver nota anterior)

## Paso 1. Identificación: Análisis de Procesos

Una vez acordado con la gerencia la misión de la implementación de BEPRO, el siguiente paso de identificación es el análisis de procesos; para ello, es importante recordar el principio de consulta y participación de la gestión de activos y crear el "cerebro" del análisis, un equipo multidisciplinario, conocedores del proceso e interesados en la mejora continua.

El equipo de trabajo debe identificar la cadena de valor de los procesos /procedimientos y realizar de manera práctica y sencilla una descripción de fortalezas y debilidades en la ejecución y cumplimiento de estos, así como pensar qué aspectos cambiaría o si existe alguno que haría de manera diferente. En resumen, durante el análisis se debe:

### 1) Seleccionar el personal multidisciplinario

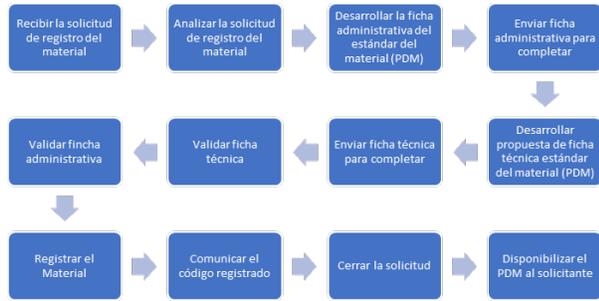
- a) ¿Quién debe participar activamente? (la C del RACI)

### 2) Identificar Procesos/ Procedimientos (Cadena de Valor)

- b) Describir la situación actual
  - i) Los que estamos haciendo
  - ii) Los que deberíamos hacer y no estamos haciendo
  - iii) Usar procesos mapeados o no mapeados

Para ilustrar la implementación del método BEPRO, a continuación, se muestra partes de un caso real estudiado, en el que se logró disponer de hasta 48.000 HH anuales, simplificando procesos y disminuyendo retrabajos y tiempos muertos. Lo cual deriva en una variedad de beneficios adicionales no cuantificados en este estudio, cómo disponibilidad para ejecutar actividades que aporten mayores beneficios a la organización y como las consecuencias evitadas por los retrasos.

Una vez acordado con la gerencia y en concordancia con los objetivos organizacionales, se seleccionó una serie de procesos a evaluar utilizando el método BEPRO. El ejemplo demostrativo seleccionado en esta publicación es el "Registro de Nuevos Materiales en el CMMS" responsabilidad del área de suministro. El equipo central del estudio estuvo formado por cinco personas con representantes de las áreas involucradas y un facilitador metodológico, la figura 2 muestra el flujo del proceso.



**Figura 2** Flujo del proceso de Registro de nuevos Materiales en el CMMS

## Paso 2. Identificación: Priorización "Análisis de Mejorabilidad & Criticidad"

Es una realidad frecuente estar saturado de actividades, los procesos y procedimientos no se escapan de esto, la siguiente etapa de identificación del BEPRO, es caracterizar los pasos que componen el proceso/procedimiento según su nivel de Criticidad y Mejorabilidad.

**Criticidad:** índice que relaciona la importancia de un ítem en el cumplimiento de las funciones del sistema. ¿Cuáles son las consecuencias de una posible falta o falla de alguna de las actividades, tareas o pasos?

**Criticidad**

$$= \sum \text{Consecuencias de falla (Costos, afectación en otras áreas, impacto en ambiente, seguridad, regulatorio, etc)}$$

**Mejorabilidad:** índice relacionado a la capacidad de mejora de un ítem particular. (está basado en la condición de Riesgo y Esfuerzo). ¿Cuál es el impacto actual de las falencias en la ejecución del proceso o procedimiento?

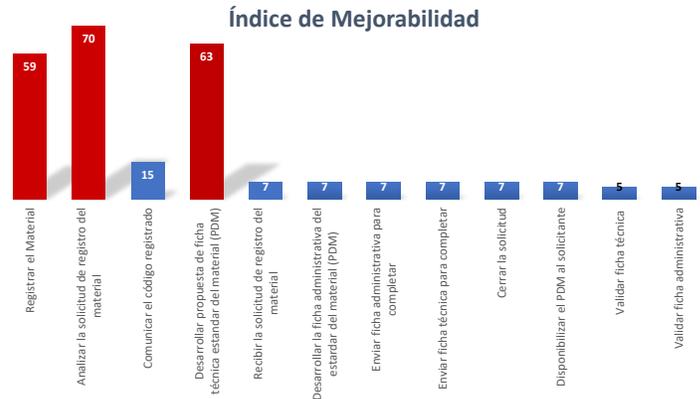
**Mejorabilidad**

$$= \text{Probabilidad de ocurrencia} \times \text{Consecuencia Total} + \text{Esfuerzo}$$

Para facilitar el análisis de Criticidad y Mejorabilidad de las etapas del proceso o procedimiento se recomienda crear una escala ajustada a las características propias de la organización que permita cuantificar fácilmente las características de estos.

Medir el índice de Mejorabilidad de las actividades que comprenden un proceso (o procedimiento), permite identificar qué puntos deben ser analizados con mayor

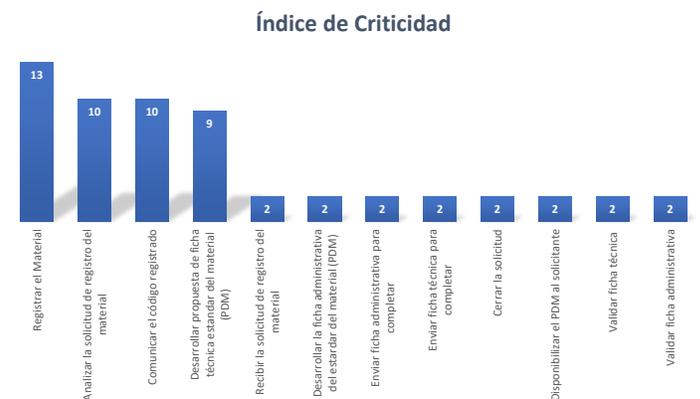
profundidad con la finalidad de proponer actividades de mejora y reducir el impacto que están generando en la organización.



**Figura 3** Priorización por Índice de Mejorabilidad – Ejemplo proceso de registro de nuevos materiales en el CMMS

La figura 3 corresponde al diagrama de Pareto del índice de Mejorabilidad de cada uno de los pasos correspondientes al proceso ejemplo, siendo el análisis de la solicitud de registro el paso que presentan mayor oportunidad de mejora.

Al conocer la criticidad de las actividades o etapas, permite identificar aquellas cuyo valor agregado al proceso es menor, por lo que podrían ser simplificadas y en ocasiones eliminadas.

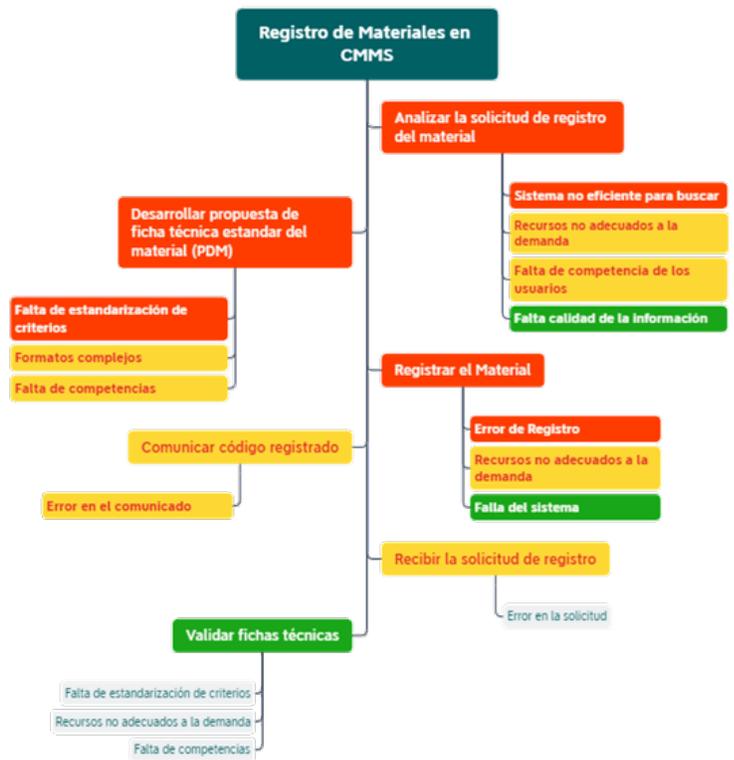


**Figura 4** Pareto por Índice de Criticidad – Ejemplo proceso de registro de nuevos materiales en el CMMS

Una vez identificada la Mejorabilidad y Criticidad de proceso a evaluar, se debe proponer y acordar junto con el "Accountable" del proceso la priorización y estrategia del análisis. Recordando que los identificados

con mayores índices de Mejorabilidad deben ser analizados para disminuir el impacto por fallas del proceso, mientras que los identificados con baja criticidad deben ser analizados para simplificarlos o suprimirlos cuando corresponda.

**Figura 6** Ejemplo Análisis BEPRO utilizando Diagrama de Pescado  
 Fuente: Ejemplo referencia de un caso estudiado, realizado por los autores en base a información del cliente.



### Paso 3. Control: BEPRO alta o BEPRO baja

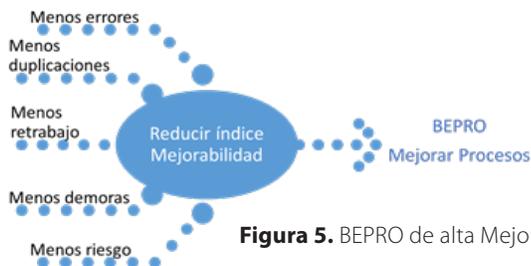
1. BEPRO de alta para los más mejorables, eliminando causas raíz conocidas que generan la pérdida de valor.
2. BEPRO de baja, para los menos críticos, tratando de reducir actividades/ frecuencias de bajo valor agregado.

#### BEPRO: Alta Mejorabilidad

El BEPRO de alta mejorabilidad está diseñado para identificar las causas raíz de las no conformidades de aquellos procesos que presentan alto impacto a la organización (por frecuencia de retrabajos, consecuencias y esfuerzo relacionado).

Realizar el BEPRO de alta Mejorabilidad consiste en identificar cada paso del proceso o procedimiento, analizar proporcionalmente según su riesgo inicial, identificar las no conformidades, proponer tareas de mejora y analizar el riesgo del cambio propuesto. Se recomienda realizar el análisis utilizando un diagrama tipo espina de pescado, dispuesto de la siguiente manera:

- 1) Cabeza: Procedimientos
- 2) Espinas principales: Actividad/pasos
- 3) Espinas secundarias:
  - a) No conformidades
    - i) Lo que está ocurriendo
    - ii) Lo que ha ocurrido en el pasado
    - iii) Lo que puede ocurrir, es creíble y tiene altas



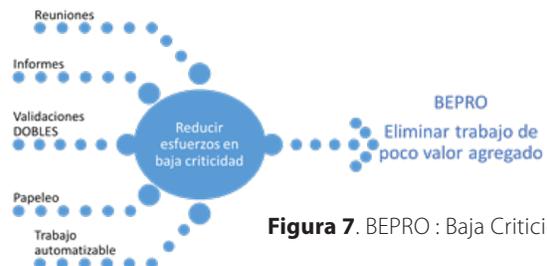
**Figura 5.** BEPRO de alta Mejorabilidad

- consecuencias
- iv) **Marcar los que están fuera de control (requieren ser mejorados)**
  - v) Priorizar por código de colores: rojo alta prioridad, amarillo prioridad media, verde: poco mejorable
  - vi) Analizar en formato BEPRO. **Solo analizar problemas reales, evitar analizar cosas que ya están resueltas**

Para facilitar la visualización e identificación de prioridades, se utilizó código de colores para identificar el nivel de impacto de las no conformidades en cada actividad, donde: **Rojo: alto** , **Amarillo: medio** , **Verde: bajo**

#### BEPRO : Baja Criticidad

El BEPRO de baja criticidad está diseñado para identificar aquellos pasos cuyo valor agregado es muy bajo, por lo que se analizan los riesgos asociados a su simplificación o eliminación con la finalidad de tener procesos más simples, eficientes y funcionales.



**Figura 7.** BEPRO : Baja Criticidad

Ejemplo: muchos de los trabajos que suelen desgastar recursos están relacionados a dobles chequeos, movimiento de papeles y espera de firmas, los cuales podrían ser simplificados con el uso de tecnologías de automatización, digitalización de documentos y firmas. Sin embargo, antes de implementar es importante estar consciente de cuáles serían los beneficios, costos y riesgos de realizar este tipo de cambios.

## Paso 4. Control: Agrupado y Filtrado de Tareas

La aplicación de las variantes del método BEPRO (Alta Mejorabilidad & Baja Criticidad) derivan en tareas recomendadas para optimizar los procesos y/o procedimientos.

Este paso consiste en listar estas recomendaciones que pueden estar relacionados con: Procedimientos Nuevos, Modificados, Eliminados, con la intención de identificar los recursos requeridos, los beneficios y los riesgos potenciales de su implementación, con la finalidad de facilitar el proceso de toma de decisiones y manejar el

cambio en caso de ser aceptado. Se puede resumir en los siguientes pasos:

- 1) Listar las tareas recomendadas:
- 2) Estimar Recursos requeridos, Beneficios y Riesgos Potenciales de ejecutar la recomendación.
- 3) Manejar el cambio de manera proporcional

Nota: siempre hay que recordar que el *Accountable* lidera la implementación.

Para tener éxito en la propagación de buenas prácticas es clave involucrar a las partes interesadas (consulta y participación) y presentar los beneficios esperados por cumplir con las recomendaciones, estos beneficios pueden ser reflejados en, por ejemplo, reducción de: costos, horas hombre invertidas en realizar una tarea, riesgos de cumplimiento, entre otros.

Una vez aprobadas las tareas es importante crear un plan de acción que establezca los responsables de ejecución y seguimiento, contemple el manejo del cambio en caso de requerirlo y mantenga los principios de consulta y participación.

## 4 Comentarios finales y Conclusiones

La experiencia de TWPL aplicando BEPRO con nuestros clientes ha sido lograr la **optimización de procesos**; entre los muchos beneficios se logró mayor disponibilidad de tiempo en sus trabajadores, permitiendo concentrar su energía en actividades realmente valiosas, llegándose a **disponer hasta 48.000 HH al año**, por medio de la mejora y estandarización de procedimientos, eliminación de pasos que no aportan valor, simplificación e incorporación de tecnologías de automatización, digitalización, entre otras. Esto derivó en que los trabajadores tuvieran el tiempo para concentrar y canalizar su energía en actividades de mayor valor para la empresa.

Además de los beneficios tangibles e intangibles a primera vista, el nivel de aceptación de BEPRO es elevado, debido a que es considerada como un método pragmático y fácil de implementar que tiene un gran impacto sobre la productividad, la comprensión de los procesos y el conocimiento de las fortalezas y oportunidades de mejora. No menos importante, es que BEPRO es una herramienta transversal lo que le otorga una gran flexibilidad, puede ser utilizada en todos los niveles y áreas.

BEPRO logra optimizar los procesos, para aumentar la eficiencia de procesos y procedimientos sustancialmente de manera sistemática, proporcional y auditable, manteniéndose alineado a los principios de la gestión de activos de generación de valor a lo largo del ciclo de vida, tomando en cuenta el costo, riesgo desempeño, promoviendo la consulta y participación y la mejora continua.

### Referencias Bibliográficas

1. ISO 55000:2014(es) Gestión de Activos – Aspectos generales, principios y terminología, ISO - Organización Internacional de Normalización, 2014.
2. A. S. D. L. Cruz, Reflexiones sobre tecnología y transformación digital, 2020.
3. J. Woodhouse, Curso de Adiestramiento Introducción a los conceptos "Evaluación Costo/Beneficio", THE WOODHOUSE PARTNERSHIP LIMITED, 1994 & 2000.
4. J. Woodhouse, Optimización Costo/Riesgo, The Woodhouse Partnership Limited, 1998 & 2002.
5. J. Durán, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad Plus (RCM+), The Woodhouse Partnership Limited, 1998 & 2002.
6. SAE, JA1011 : 200908 Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes, SAE International, 2009.
7. SAE, JA1012 : 200201 A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (Rcm) Standard, SAE International, 2002.
8. ISO 14224:2016 Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, ISO - Organización Internacional de Normalización, 2016.
9. ISO 55001:2014 Asset management – Management systems – Requirements, ISO - Organización Internacional de Normalización, 2014.
10. ISO 55002:2018 Asset management – Management systems – Guidelines for the application of ISO 55001, ISO - Organización Internacional de Normalización, 2018.
11. PAS 55 Asset Management, BSI - British Standards Institution, 2008.
12. ISO/TS 55010:2019 Asset management – Guidance on the alignment of financial and non-financial functions in asset management, 2019.
13. J. Woodhouse, Combining new technologies with new ways of working to create continuous asset management improvements, UK: The Woodhouse Partnership Ltd, 2003.
14. J. B. Durán, Implementación de Gestión de Activos bajo PAS 55 en Plantas de Generación Eléctrica del Instituto Costarricense de Electricidad, CIDET, 2015.
15. ISO, Asset Management, Managing Assets in the context of Asset Management, Committee.iso.org/tc251, 2017.
16. O. G. Palencia, Gestión Integral de Mantenimiento Basada en Confiabilidad, Reliabilityweb.com.
17. J. B. Durán, Gestión de Mantenimiento bajo estándares Internacionales, The Woodhouse Partnership Ltd.
18. J. B. Durán, Confiabilidad Operacional, mantenimientomundial.com, 2000.
19. S. Grant, The Missing Link?, Asset Management Culture, Uptime for maintenance reliability and asset management professionals, 2015.
20. B. J. Pertuit, Striving for Operational Excellence in Work Execution Management, Uptime for maintenance reliability and asset management professionals, 2015.

# Metodología de Inspección Basada en Riesgo API 581 Aplicada a Haces Tubulares de Intercambiadores de Calor

Activo Físico Instalado en la Industria Petroquímica

*Evelio Chirinos, Eng, MSc.*

E-mail: evelioch30@hotmail.com

*Rosangel Leal, Eng*

E-mail: rosangelcristal@gmail.com

*Edgar Fuenmayor, Eng. MSc. CMRP*

E-mail: edgarfuenmayor1@gmail.com

## Resumen

Los intercambiadores de calor son un elemento fundamental en todo tipo de industria ya que los mismos juegan un papel fundamental en la optimización de la energía producida para ser transferida a lo largo de la cadena de producción o procesos.

Tras el paso de la primera década del nuevo siglo, se ha visto como objetivo primordial el consumo mínimo de energía por parte del sector industrial y más específicamente la industria petroquímica. Los intercambiadores de calor son los equipos más utilizados para ese fin. Esto se logra haciendo pasar fluidos de distinta temperatura por las caras opuestas de un material y, mediante la conductividad térmica de este, el fluido caliente transfiere el calor al fluido de menor temperatura.

El objetivo de este artículo es la de mostrar cómo puede ser evaluado un haz tubular de un intercambiador de calor del tipo carcasa y tubo que fue diseñado para operar con soda cáustica e instalado en una planta química. Es de hacer notar que en la industria petroquímica, la instalación de intercambiadores de calor tipo carcasa y tubo ha sido predominante durante muchas décadas.

**Palabras claves:** Inspección basada en riesgo, intercambiador de calor, mecanismos de deterioro, riesgo, probabilidad de falla, consecuencia de falla, análisis Weibull, método Weibayes.

## 1 Introducción

Se suele establecer como origen de los intercambiadores de calor la segunda mitad del siglo XIX. Se conoce con el nombre de intercambiador de calor a cualquier dispositivo en el que se experimenta un intercambio de calor entre dos fluidos separados por una pared metálica, esta pared representa la superficie de transferencia de calor y puede tener cualquier geometría. En las industrias, se utilizan intercambiadores de calor de diferentes tipos, por lo tanto elegir el equipo de transferencia de calor más adecuado es una gran labor.

En los inicios de la segunda revolución industrial (1852) fue inventado el intercambiador de carcasa-tubo, utilizándolo para el condensado del vapor en navíos fluviales con el fin de transportar mercancías y personas. Estos equipos fueron tomando formas y configuraciones diferentes e introduciéndose de manera gradual en todo tipo de sectores industriales.

Tal como sucede en las plantas químicas, como por ejemplo, las de Cloro Soda que se caracterizan por producir o procesar sus productos principales y esenciales a través de la electrólisis (método de membrana) ver figura 1, éste consiste en dividir una celda electrolítica en el lado anódico y el lado catódico con una membrana de intercambio iónico que es una resina especial. Esta membrana de intercambio iónico tiene una característica especial de interceptar aniones (iones negativos) y dejar

pasar solamente cationes (iones positivos) de una solución de soda clorada.

La aplicación de ambos químicos se encuentra alrededor del mundo en las industrias químicas y de procesos. Aproximadamente la mitad de toda la soda cáustica producida es usada en la producción de otros productos. Así como otros importantes usos en la producción de celulosa, textiles, productos del petróleo, jabón y la refinación del mineral bauxita en la producción de aluminio.

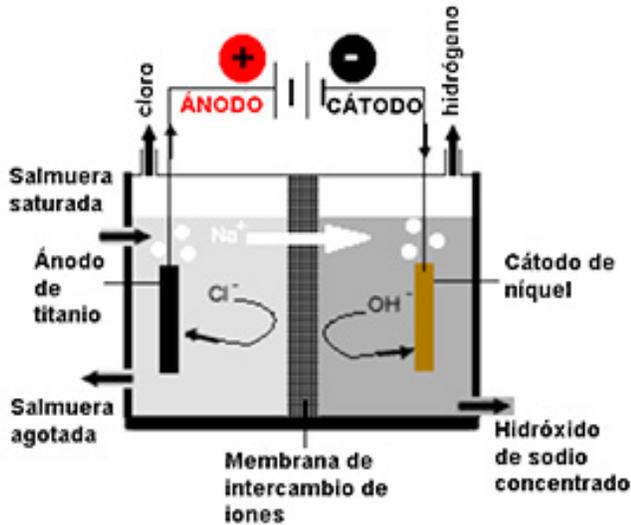


Figura 1. Membrana celular. Fuente: www.sapiensman.com.

## 2 Marco conceptual

### 2.1 Intercambiador de calor tipo carcasa y tubo.

Los intercambiadores de calor son equipos de proceso contruidos y diseñados para la máxima eficiencia de transferencia de calor entre dos medios diferentes, ver figura 2. En la mayoría de los procesos industriales, la pérdida de calor es muy derrochadora e ineficiente. Debido a esto, los intercambiadores de calor se crearon para capturar y reutilizar el calor que de otro modo se perdería en el medio ambiente.

En general, un intercambiador de calor funciona permitiendo que un fluido caliente fluya a través del intercambiador más allá de un fluido frío sin mezclar los dos. El calor fluye del fluido caliente al fluido frío, calentando el fluido frío y enfriando el fluido caliente. Esto permite que el calor se transporte y se reutilice en lugar de simplemente descartarse. Los dos fluidos pasarán uno al lado del otro, uno generalmente en una tubería estrecha mientras que el otro fluye fuera de la tubería en una carcasa circundante.

Hay muchos tipos diferentes de intercambiadores de calor ver tabla 1; algunos más apropiados para ciertos entornos que otros. Algunos tienen divisores incorporados

para separar el almacenamiento de calor, mientras que otros permiten la mezcla de calor. De estos diferentes tipos, cada uno se ajusta a una de las tres clasificaciones más grandes según su tipo de flujo. (Fuente: <https://inspectioneering.com>).

Tabla 1. Nomenclatura de intercambiadores de calor Fuente: TEMA Standards of Tubular Exchanger Manufacture Association. Eight Edition.

Ecuación 1

FRONT END STATIONARY HEAD TYPES	SHELL TYPES	REAR END HEAD TYPES
A CHANNEL AND REMOVABLE COVER	E ONE PASS SHELL	L FIXED TUBESHEET LIKE "A" STATIONARY HEAD
B BONNET (INTEGRAL COVER)	F TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE	M FIXED TUBESHEET LIKE "B" STATIONARY HEAD
C REMOVABLE TUBE BUNDLE ONLY CHANNEL INTEGRAL WITH TUBESHEET AND REMOVABLE COVER	G SPLIT FLOW	N FIXED TUBESHEET LIKE "N" STATIONARY HEAD
D SPECIAL HIGH PRESSURE CLOSURE	H DOUBLE SPLIT FLOW	P OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD
	J DIVIDED FLOW	S FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE
	K KETTLE TYPE REBOILER	T PULL THROUGH FLOATING HEAD
	X CROSS FLOW	U U-TUBE BUNDLE
		W EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBESHEET

Los componentes básicos de un intercambiador de calor son:

- **Haz tubular:** Los tubos proporcionan la superficie de transferencia de calor entre el fluido que circula por su interior y el fluido que circula por la carcasa. Alojan el fluido secundario, es decir, el producto a calentar.
- **Falla de un haz tubular:** Es definida como una fuga del tubo para propósitos de la Inspección Basada en Riesgo.
- **Placa tubular:** Es una placa de metal perforada para albergar los tubos, los cuales se fijan mediante expansión o soldadura.
- **Deflectores:** Son placas segmentadas dispuestas a lo largo del intercambiador. Sirven para mantener los tubos en la posición adecuada y obligar al fluido primario a que circule perpendicularmente al haz tubular.
- **Carcasa y conexiones:** La carcasa es la envolvente del fluido primario y consiste en un cilindro soldado a las placas tubulares. Dispone de conexiones para la entrada y salida del fluido secundario.

• **Cabezales desmontables:** Elementos conectados a las placas tubulares por ambos extremos, para facilitar la circulación del producto por el haz tubular. Pueden disponer de placas para partición del haz tubular, con el fin de conseguir que el fluido circule por varios pasos.

## 2.2 Materiales para la construcción de haces tubulares que operan con hidróxido de sodio.

Un número de materiales de construcción pueden ser usados para producir y manejar soluciones de soda. La capacidad para específicas aplicaciones dependerá sobre los factores asociados con la concentración y use del cáustico y las variables de proceso envueltas.

En general, los factores a ser considerados en la selección de materiales incluyen prácticamente, disponibilidad, propiedades mecánicas, corrosión, resistencia, consideraciones riesgo-beneficio y económicos.

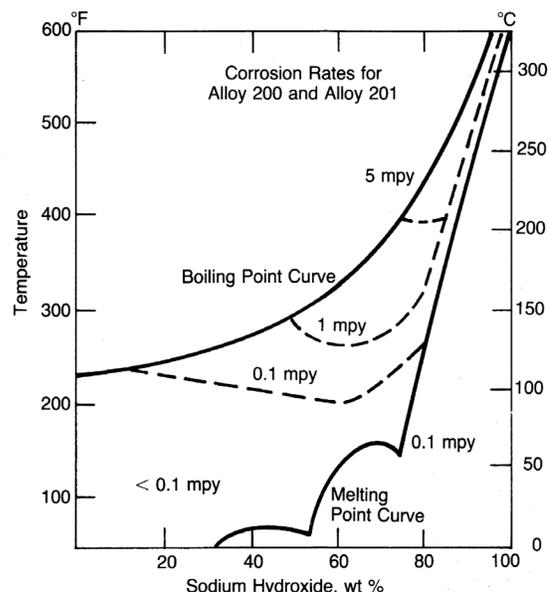
Los factores críticos incluidos en servicios de soda cáustica, son:

- La concentración de la solución.
- Las temperaturas a ser encontradas.
- La presencia de otros químicos, los cuales pueden estar presentes en la soda cáustica, como contaminantes o aditivos.
- Los límites de tolerancia por contaminación del ion metálico en la soda cáustica.
- Esfuerzo de tensión residual o aplicada, el cual puede afectar la resistencia a la corrosión.
- Consideraciones económicas del costo de vida.

Los metales y aleaciones más frecuentemente consideradas para el uso de soda cáustica, son: acero al carbón, acero inoxidable, níquel y aleaciones de alto níquel.

## 2.3 ¿Por qué utilizar Níquel para servicios de soda cáustica?

El níquel es uno de los metales más resistentes a la soda cáustica, con concentraciones superiores a los 50 % y elevadas temperaturas en el cual generalmente predominan. En concentraciones de soda cáustica por encima de 73 %, la velocidad de corrosión incrementa significativamente y generalmente es menos de 1 mpy (0,0254 mm/yr).



**Figura 2.** Velocidades de corrosión para aleaciones de níquel 200 y 201. Fuente: Selección de aleaciones para servicios de Soda Cáustica NIDI 10019.

## 2.4 Inspección Basada en Riesgo (IBR)

La inspección basada en el riesgo (RBI) es una metodología y proceso de análisis que, a diferencia de la inspección basada en la condición, requiere una evaluación cualitativa o cuantitativa de la probabilidad de falla (PoF) y la consecuencia de la falla (CoF) asociada con cada elemento del equipo, circuitos de tuberías incluidos, en una unidad de proceso particular. Un programa RBI implementado adecuadamente clasifica las piezas individuales de los equipos según sus riesgos y prioriza los esfuerzos de inspección basados en esta categorización. (Fuente: <https://inspectioneering.com>).

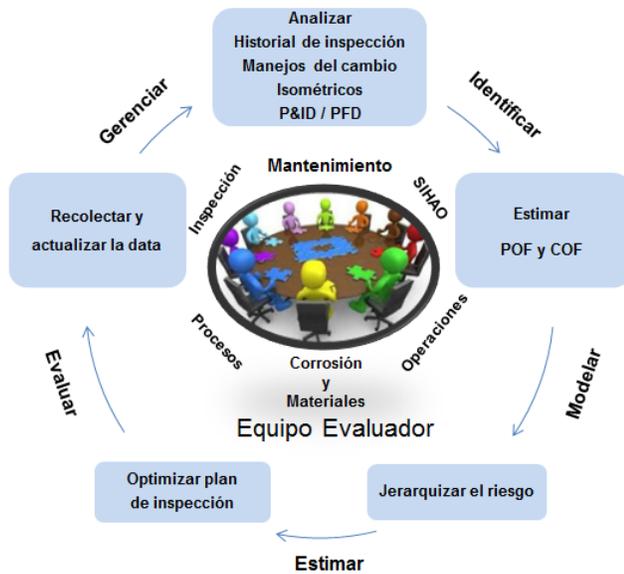
## 2.5 Integridad Mecánica

La Integridad Mecánica (IM) se puede definir como la gestión del equipo para garantizar que esté diseñado e instalado correctamente, y que funcione y se mantenga adecuadamente (es decir, sin fugas y todos los elementos son aptos para el servicio). Un programa de integridad mecánica debe tener en cuenta la inspección y las pruebas del equipo utilizando procedimientos reconocidos y generalmente aceptados como buenas prácticas de ingeniería y también debe considerar la idoneidad de los equipos recién fabricados para su uso. (Fuente: <https://inspectioneering.com>).

## 2.6 Confiabilidad

Probabilidad de que un equipo o sistema cumpla adecuadamente con la función requerida ante condiciones específicas, durante un periodo de tiempo dado (Fuente: ISO 14224).

## 2.7 Fases de la implantación



**Figura 3.** Metodología empleada en la evaluación IBR. Fuente: El autor.

## 2.8 Equipo multidisciplinario

Un equipo multidisciplinario es un grupo de profesionales con experiencia, calificaciones y habilidades que colaboran en proyectos específicos o de manera continua. Este tipo de equipo de trabajo es común en un entorno industrial debido a su valor para discutir problemas o desafíos con perspectivas variadas.

Los equipos multidisciplinarios transmiten muchos beneficios. Estos incluyen mejores resultados organizacionales y una mayor optimización y un uso más eficiente de los recursos y una mayor satisfacción laboral para los miembros del equipo.

Las ventajas de formar un equipo multidisciplinario son las siguientes:

- Ampliar de perspectiva del trabajo y de análisis.
- Fragmentar la resistencia y criterios preconcebidos. Ahorro de tiempo y energía.
- Mejorar el rendimiento de las competencias individuales.
- Personal calificado para una situación determinada.
- Garantizar el seguimiento de los proyectos.
- No depender de una persona o de una sola profesión.
- Permitir un cierto distanciamiento intelectual respecto a lo cotidiano.

Responsabilidades de los miembros de un equipo multidisciplinario para la aplicación de la metodología de Inspección Basada en Riesgo:

**Tabla 2.** Muestra las responsabilidades de un equipo multidisciplinario para IBR. Fuente: Práctica recomendada API 580, Tercera Edición, Febrero 2016.

	<b>Ingeniero en IBR:</b> Responsable por reunir al equipo evaluador, recolectar toda la data y llevar a cabo el análisis de IBR.
	<b>Inspección:</b> Recolectar la data sobre la condición e historial de los equipos en estudio y proporcionar predicción de la condición actual.
	<b>Corrosión y Materiales:</b> Evaluar lasos de corrosión, tipos de mecanismos de deterioro y su severidad, así como y donde mitigar, monitorear e inspeccionar.
	<b>Operaciones:</b> Custodiar las instalaciones y equipos que deben estar siendo operados dentro de los parámetros establecidos en las ventanas operativas de proceso.
	<b>Procesos:</b> Describir la composición y variabilidad de todos los fluidos de procesos, así como su potencial inflamabilidad y toxicidad.
	<b>Mantenimiento:</b> Verificar que los equipos instalados, reparados, reemplazados hayan sido incluidos en la base de datos de la condición de los equipos suministrada por inspección.
	<b>Gerencia:</b> Responsable por la toma de decisiones sobre la gestión del riesgo. Establecer los criterios de aceptación del riesgo y proporcionar recursos para la implementación de IBR.
	<b>SIHAO:</b> Proporcionar información y regulaciones sobre los sistemas de seguridad y ambiente.

## 2.9 Mecanismos de deterioro

Mecanismos de daños (también conocidos como mecanismos de degradación) es un término general que se refiere a cualquier causa de problemas o fallas dentro del equipo de proceso. Estos pueden variar desde corrosión hasta grietas, daños por calor y todo lo demás.

Al evaluar los mecanismos de daño, se debe tener en cuenta el estado actual del equipo, así como cualquier daño potencial que el mecanismo pueda causar más adelante. La susceptibilidad del equipo a un mecanismo de daño particular se ve afectada por una serie de variables, incluidos los materiales de construcción, los fluidos de proceso, las condiciones de operación, el entorno externo, etc.

Una revisión exhaustiva de los mecanismos de daños es esencial para crear una estrategia de inspección efectiva. Una vez que se entienden los mecanismos y la morfología del daño, los estrategias de inspección pueden usar esta información para seleccionar métodos de inspección con la mayor probabilidad de detectar, caracterizar y medir

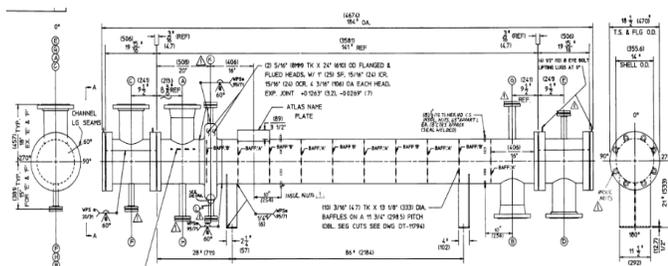
el daño potencial. Además, los intervalos de inspección se pueden establecer utilizando códigos y estándares de la industria como API 510, 570, 653, API RP 579 para la aptitud para el servicio, y API 580 y 581 para la inspección basada en el riesgo. (Fuente: <https://inspectioneering.com>).

### 3 Caso de Estudio Basado en Métodos y Normas Vigentes.

El objetivo de este artículo técnico es la de dar a conocer la aplicabilidad de la metodología de inspección basada en riesgo API 581 a intercambiadores de calor en la industria petroquímica. A continuación se mostrará un caso específico de estudio aplicado a un activo físico instalado en una planta de procesamiento de Cloro-Soda.

El método industrial de producción que cubre los requerimientos de estas plantas de Cloro Soda es el de electrólisis (membrana de intercambio iónico) del cloruro sodio e hidróxido de sodio. Para procesar en cantidad, calidad y costos estos valiosos productos químicos, donde la variable temperatura juega un rol importante debido a que se debe mantener un rango óptimo de ella, tanto para la salmuera que alimenta las celdas, como la soda cáustica que se recircula y entra a los electrolizadores. Según lo anteriormente expuesto se recomienda que los electrolizadores de membrana sean operados con lazos de recirculación para la soda cáustica y la salmuera con un intercambiador de calor. Esto permitirá optimizar la temperatura de las celdas y enfriar los electrolizadores en el caso que se detenga la planta y así evitar la producción de soda fuera de especificación. Operando con grandes volúmenes de soda, la planta se hace menos sensible a pequeñas perturbaciones, como por ejemplo: variaciones en la alimentación de agua desmineralizada.

Los tipos de intercambiadores de calor utilizados para este proceso químico son los de tipo carcasa y tubo, (ver figura 4). Estos intercambiadores tienen ambos extremos del cabezal de tubos sujetos a la carcasa. Así como también la utilización de una junta de expansión debido al diferencial de la carcasa y de los tubos. Esta expansión se debe a la operación del equipo a diferentes temperaturas y a la utilización de diferentes materiales.



**Figura 4.** Característica del intercambiador de calor caso de estudio. Fuente: El autor.

Durante más de 20 años de servicio, el intercambiador de calor **HE-E101A** ha sido sometido a un ambiente de trabajo externo considerablemente agresivo debido a que este equipo se encuentra cercano a diferentes sistemas de procesos que por su contexto operacional, emanan vapores, como por ejemplo: salmuera, ácido clorhídrico y soda cáustica. Así como también la planta de cloro soda se encuentra cercana a un lago donde esto puede ocasionar un incremento de cloruros en el ambiente.

De lo anteriormente expuesto se puede inferir que la combinación de las condiciones de procesos y materiales existentes de construcción para cada componente del equipo debe ser evaluado para identificar los activos y creíbles mecanismos de daños. A continuación, se mostrará evidencia fotográfica de la condición externa del intercambiador de calor bajo evaluación.



**Fotografías 1, 2 y 3.** Corrosión bajo aislamiento (CUI) en la superficie externa del intercambiador de calor. Fuente: El autor.



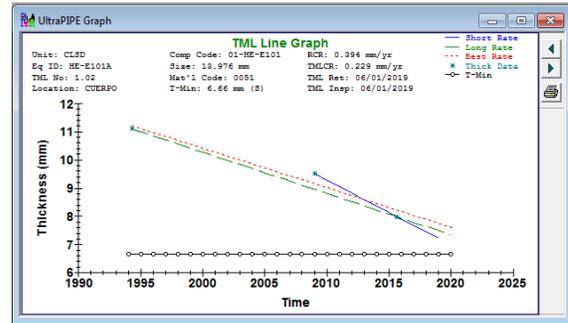


**Fotografías 4, 5, 6 y 7.** Corrosión atmosférica en componentes del intercambiador de calor. Fuente: El autor.

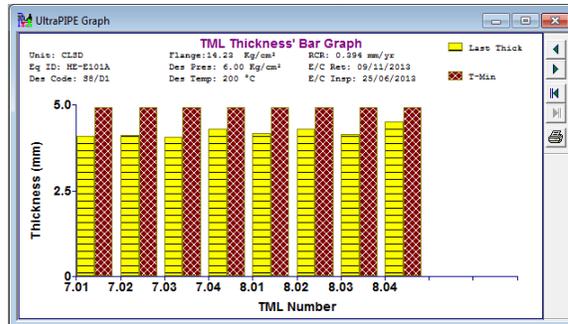
Para los mecanismos de daños mencionados anteriormente, la velocidad de progresión del deterioro pudo ser estimada para este tipo de equipo de proceso de planta. Esto quiere decir que para nuestro caso de estudio, la velocidad de deterioro fue expresada en términos de velocidad de corrosión por adelgazamiento. Asimismo existe la creíble posibilidad de la susceptibilidad de la corrosión bajo tensión donde la velocidad de deterioro es desconocida o inmedible. La susceptibilidad es a menudo designada como alta, media o baja basada sobre las condiciones ambientales y la combinación de los materiales de construcción.

El historial de inspección es la mejor información debido a que pudimos conocer la experiencia operacional del equipo y las condiciones que conllevaron a la velocidad de deterioro observada a ser realísticamente esperada a ocurrir en el equipo bajo consideración. Otra fuente de información incluyó la base de datos de la experiencia con similares equipos de planta y la opinión de expertos.

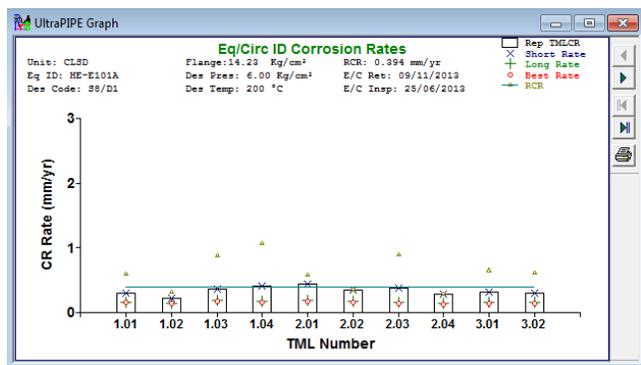
Para nuestro caso de estudio existe un historial de inspecciones mediante el ensayo no destructivo NDE llamado ultrasonido. A continuación, se muestran las gráficas del análisis de la corrosión monitoreada a través del software Ultrapipe. Es importante mencionar que la base de datos del software fue alimentada con las inspecciones realizadas al intercambiador en paradas programadas de planta.



**Gráfica 1.** Pronóstico del espesor de pared para 20 años del intercambiador de calor. Fuente: Ultra pipe for corrosion monitoring.



**Gráfica 2.** Disminución de los espesores por debajo del espesor mínimo (T min) en los componentes (boquillas). Fuente: Ultra pipe for corrosion monitoring.

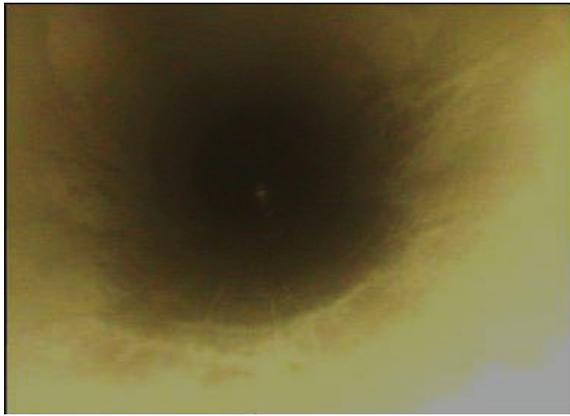


**Gráfica 3.** Comportamiento de la velocidad de corrosión por ubicación de medición de espesor (TML). Fuente: Ultra pipe for corrosion monitoring.

Las gráficas anteriores muestran el resultado del proceso de deterioro al cual ha sido sometida la pared externa y conexiones principales del intercambiador de calor HE-E101A debido a los mecanismos de daño que suelen ser incrementales, acumulativos y, en algunos casos, irreversibles. Contrario a la condición mostrada de la parte externa del intercambiador, el haz tubular ha tenido un comportamiento al servicio con una muy baja cantidad de fallas por tubos como se mostrará a continuación.



**Fotografía 8.** Vista frontal del haz tubular donde se identifica colocación de un tapón por falla en uno de los tubos. Fuente: El autor.



**Fotografía 9.** Vista interna (inspección boroscópica) de uno de los tubos realizada posterior a la limpieza con agua a alta presión. Fuente: El autor.

Los estadísticos siempre prefieren grandes muestras de datos, pero los ingenieros se ven obligados a hacer análisis con muestras muy pequeñas, incluso de una a tres fallas. Cuando el resultado de una falla involucra seguridad, daños ambientales, interrupción del negocio, optimización de los recursos de la compañía o costos extremos, es inapropiado solicitar más fallas. La principal ventaja del análisis de la evaluación que se mostrará a continuación, revelará que los objetivos de ingeniería a menudo se pueden cumplir incluso con muestras extremadamente pequeñas. Por supuesto, las muestras pequeñas siempre implican grandes incertidumbres. Para evaluar estas pequeñas incertidumbres muestrales, los límites de confianza jugaron un rol importante.

Para estimar el riesgo relacionado a la falla de haces tubulares es recomendable evaluarlos mediante la metodología Inspección Basada en Riesgo API 581.

El riesgo es un término de naturaleza probabilística, que se define como la **“probable ocurrencia de una falla o evento no deseado”**. En este simple pero poderoso concepto coexiste la posibilidad de que un evento o aseveración se haga realidad o se satisfaga, con las consecuencias de que ello ocurra.

$$R(t) = P_f(t) C_f \quad \text{Ecuación 1}$$

**Donde:**

$R(t)$ : Es el riesgo como una función de tiempo  $m^2/\text{año}$  ( $ft^2/\text{año}$ ) o  $\$/\text{año}$ .

$P_f(t)$ : Es la probabilidad de falla como una función de tiempo. Fallas /año.

$C_f$ : Es la consecuencia de falla  $m^2$  ( $ft^2$ ) o  $\$$ .

El análisis de esta ecuación permite entender el estudio y la toma de decisiones. A través de este indicador, pueden compararse situaciones y escenarios que bajo una perspectiva cotidiana resultarían disímiles, pero bajo ciertas circunstancias deben evaluarse y considerarlas en un proceso de toma de decisiones. Por ejemplo, podría utilizarse para comprender entre diferentes acciones de mantenimiento a equipos estáticos, caracterizados por presentar una frecuencias de fallas bajas pero con consecuencias tradicionalmente muy altas.

#### **Cálculo de la probabilidad de falla.**

Ecuación para el cálculo de la probabilidad de falla en haces tubulares.

$$P_f^{tube} = 1 - R(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad \text{Ecuación 2}$$

**Donde:**

$R(t)$ : Es el riesgo como una función de tiempo, ( $m^2/\text{año}$ ), ( $ft^2/\text{año}$ ) o ( $\$/\text{año}$ ).

$t$ : Es el tiempo en años.

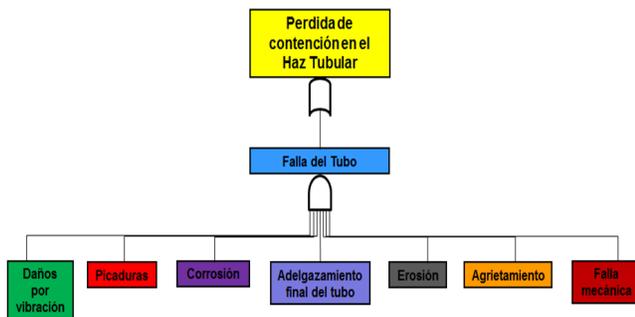
$\eta$ : Es el parámetro de característica de vida de Weibull en años.

$\beta$ : Es el parámetro de forma (shape) de Weibull.

En API 581 2016 tercera edición, sección 8.3.3. indica que para realizar una evaluación se debería contar con información proveniente de una biblioteca de confiabilidad de haces de intercambiadores de calor o base de datos instaurada por el propietario o usuario de la instalación. A continuación se describen los aspectos a lograr para realizar una adecuada evaluación.

- a) **General:** Una base de datos o biblioteca de Weibull es extremadamente importante para la evaluación de los riesgos asociados con la falla de haces tubulares. Ciertos detalles del intercambiador son requeridos para ser reunidos por cada haz que ingresa a la base de datos de confiabilidad creada.

- b) **Análisis de Weibayes:** Si la suposición es hecha de que haces similarmente diseñados y en similares servicios tendrán el mismo mecanismo de falla, un enfoque Weibayes puede ser utilizado. Este enfoque asume que los parámetros beta ( $\beta$ ) y eta ( $\eta$ ) de la curva de Weibull para el conjunto de eventos de similares haces será idéntico al haz que está siendo evaluado. El enfoque Weibayes también permite un análisis estadístico preciso de fallas sin tener una larga cantidad de data para el haz específico que está siendo evaluado.
- c) **Desarrollar criterios de coincidencia o conjunto de eventos "Cut-Set":** Antes de indicar el significado de cut-set es importante mencionar y conceptualizar lo siguiente:
- d) **Árbol de fallas:** Es un diagrama lógico que exhibe la interrelación entre un evento de un sistema crítico y sus causas.
- **Análisis del árbol de fallas:** Es el análisis cualitativo y cuantitativo que puede ser llevado a cabo sobre las bases de un árbol de fallas.
  - **Cut-Set:** En un árbol de fallas se establece a un cut-set como un conjunto de eventos básicos quienes simultáneamente ocurren asegurando que el evento TOP ocurra. Es importante notar que hay diferentes tipos de mecanismos de falla que un haz de intercambiador de calor puede experimentar.



**Figura 5.** Ejemplo de un evento Top para un haz tubular relacionado a alguno de los posibles eventos (mecanismos de fallas) mostrado en la figura. Fuente: El autor.

- e) **Prueba de bondad de ajuste:** Si un diagrama de Weibull es creado a partir de un conjunto de eventos demasiado extenso y sobre la base de datos de una biblioteca de confiabilidad y si los datos no están correctamente diagramados. Entonces la probable razón de esto, es que múltiples mecanismos de fallas están siendo diagramados y una lista más específica de criterios coincidentes es requerida para aislar las fallas para un mecanismo. Una prueba de bondad de ajuste debería ser usado para determinar si o no el subconjunto de datos es incorrecto. Una vez esto es

logrado, hay confianza agregada en la distribución Weibull y el conjunto de eventos es aplicable a él específico haz tubular del intercambiador de calor que está siendo evaluado.

- f) **Determinación de los parámetros de la curva de Weibull desde datos coincidentes:** Después que haces similares han sido combinados desde la base de datos y diagramados sobre Weibull así como también una prueba de ajuste de bondad ha sido aplicada, entonces los parámetros beta ( $\beta$ ) y eta ( $\eta$ ) serán obtenidos en conformidad con el Weibull Handbook.

### Caso real aplicado a un activo físico instalado en la industria petroquímica. Cálculo de la probabilidad de falla utilizando Weibayes' con base de datos de fallas.

Para calcular la probabilidad de falla como una función del tiempo en servicio para un haz de intercambiador de calor, una base de datos de confiabilidad y/o inspección fue investigada y donde se encontró una combinación de haces tubulares de igual característica y servicio:

**Tabla 2.** Característica de los haces tubulares a ser evaluados. (Fuente; Propia)

Características de los Haces Tubulares	
Fluido lado Tubo	Soda Caustica
Fluido lado Carcasa	Vapor o Agua de Enfriamiento
Temperatura de operación	90 °C a 130° C
Presión	6 Kg/cm2
Tipo TEMA	AEL
Orientación del intercambiador	Horizontal
Tipo de intercambiador	(Vapor o Liquido) / Liquido
Material de los Tubos	Ni-200 / SB-163 SMLS
Placa Tubular	Ni-200 / SB-162
Diametro del tubo	Ø 3/4"
Cantidad de tubos	120

Para estimar o calcular la probabilidad de falla de un haz tubular, éste puede ser realizado utilizando el método que mejor se ajuste a la base de datos disponible para el momento de ejecutar la evaluación. Es importante indicar que la práctica recomendada, API 581 Inspección Basada en Riesgo, 3 tercera edición. Parte 1. Metodología de la planificación de la inspección, más específicamente en la sección 8: Haz de tubos del intercambiador de calor, muestra que hay cuatro (4) métodos para calcular la probabilidad de falla de un haz tubular.

## **Metodología de inspección basada en riesgo (Referencia API 581 2016 Parte 1. Metodología de planificación de inspección)**

La aplicación de los principios de riesgo a la inspección de haces tubulares del intercambiador permite tomar decisiones basadas en las consecuencias de la falla del haz, incluidos los costos asociados con la pérdida de producción y los costos de impacto ambiental, los costos de reemplazo y mantenimiento asociados con el reemplazo del haz.

Para facilitar una predicción más precisa del rendimiento futuro del haz, la experiencia combinada de otros haces tubulares de intercambiadores de calor de diseño y servicio similar pueden combinarse y analizarse estadísticamente. Con este método, es crítico que el usuario (departamento de confiabilidad, integridad mecánica, inspección de equipos estáticos, corrosión y materiales, custodia de la instalación) o llámese como se llame dentro de una organización quien es responsable por llevar la estadística de falla de los equipos, mantenga una base de datos de fallas real de los haces de intercambiador de calor.

De lo anteriormente descrito podríamos agregar que no solo es importante llevar una base de datos de fallas de los haces tubulares de intercambiador de calor. Es más importante determinar la efectividad de inspecciones pasadas que hayan ejecutado el departamento de inspección mediante la combinación de métodos de examen no destructivo (NDE) como visual, ultrasónico (UT), radiográfico, etc. Registrar la falla de uno o más tubos de un haz tubular son necesarios, ya que indicar la frecuencia, cobertura, ubicación y efectividad para localizar, caracterizar y determinar el tamaño y velocidad del deterioro, es sumamente importante para después identificar los mecanismos de daños creíbles y probables y posteriormente determinar la efectividad en la búsqueda de los mismos. La reducción de la incertidumbre sobre el estado del daño de un componente es una función de la efectividad de la inspección para detectar, caracterizar y cuantificar el tipo y la extensión del daño.

**Análisis para evaluar la probabilidad de falla en haces tubulares con o sin fallas. Para este caso de estudio en particular hemos seleccionado el método 4 “API 581 Sección 8”. Haces tubulares de intercambiadores de calor” debido a que el mismo se ajusta a la base de datos disponible para realizar la evaluación de un Haz Tubular.**

Es conocido que los equipos estáticos tienden a una frecuencia de falla baja pero con consecuencias tradicionalmente muy altas. Qué hacer cuando existe una frecuencia de falla muy baja? Por ejemplo; para pequeñas muestras (entre 1 y 3) o cero fallas. Existe un método de análisis que puede ser útil para realizar evaluaciones bajo las características mencionadas con anterioridad. Ese método es llamado Weibull ya que tiene un gran beneficio

y puede ser útil para evaluaciones con extremadamente muestras pequeñas de fallas y conjunto de datos que tienen mayores deficiencias, el cual puede ser llamado “dirty data” Cada industria tiene este tipo de información, aunque esta situación puede mejorar donde las gerencias se han dado cuenta de la efectividad en los resultados al adquirir alta calidad de datos de información.

Un análisis Weibayes es un método para construir una distribución de Weibull basada sobre un conocido o asumido valor del parámetro de forma ( $\beta$ ), el parámetro ( $\beta$ ) de Weibull es usado cuando hay ciertas deficiencias en la información (data) por ejemplo, en el histórico de fallas, experiencia previa o conocimiento ingenieril de la física de la falla.; cuando no hay fallas o pocas fallas, un análisis Weibayes es significativamente más preciso que Weibull, ya que puede ser derivada usando el Método de Máxima Probabilidad (MLE) para determinar la característica de vida (n). Esto es útil para tratar conjunto de datos que pueden tener interrupciones.

Una interrupción puede ser definida como una unidad que no ha fallado por un modo de falla o no fallar del todo. Para citar un ejemplo: Un perno que falla en la cabeza en una prueba de esfuerzo es una interrupción.

La ventaja de utilizar el análisis de Weibayes es que se pueden tomar decisiones acertadas de ingeniería con significativamente menos puntos de datos de falla como se necesitaría con otras distribuciones estadísticas. El enfoque de Weibayes se utiliza ya que este método incorpora la experiencia pasada de otros haces similares (biblioteca de Weibull o base de datos) con los datos específicos disponibles para el haz tubular que se está evaluando.

### **Situación típica con falla:**

- Con pequeñas muestras Weibayes es más preciso que Weibull si hay conocimiento previo de beta ( $\beta$ ).
- Pruebas de sustentación pueden ser diseñadas con los más pequeños tamaños de muestras posibles si Weibayes es empleado.
- Las pruebas de muerte súbita son también buenos candidatos de Weibayes.
- Los tiempos de operación de las unidades y los números de fallas son conocidos, pero las fallas no son identificadas. Reparaciones generales puede generar este tipo de información.

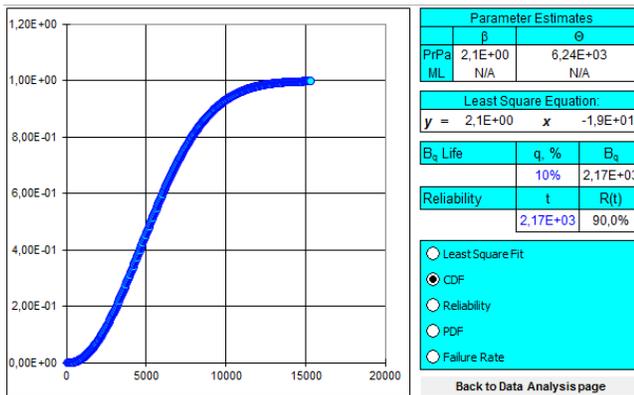
Para el caso de estudio hemos obtenido un valor del parámetro Beta ( $\beta$ ) mediante una prueba de ajuste de bondad RARE. Los datos de tiempos para fallas (TPF) para realizar la evaluación fueron tomados del comportamiento en servicio de los haces tubulares compatibles al intercambiador **HE-E101-B/C** mostrados en la Tabla 3. Por motivos de confidencialidad se mostrarán las siguientes

gráficas realizadas sin mostrar los datos de TPF.

**Tabla 3.** Combinación de haces tubulares tomada desde la base de datos. Fuente: El autor.

Tag del Haz	Duración en servicio (años)	Falla reportada
HE-E101-A	25	NO
HE-E101-B	17	SI
HE-E101-C	9	NO

Finalizada la caracterización de la variable a través del RARE (Distribution Estimation), los resultados indican que la distribución Weibull es la distribución que mejor representa a los datos.



**Gráfica 4.** Caracterización de la variable aleatoria. Fuente: Reliability engineering & risk analysis 1999 by Modarres, Kaminskiy & Krivtsov RARE.

Una vez obtenido el valor del parámetro y los datos suministrados en la Tabla 3 para los haces tubulares compatibles o coincidentes se procedió a estimar la Probabilidad de Falla (POF) para el haz tubular HE-E101-B que ha presentado historial de fallas.

#### **Cálculo de la probabilidad de falla POF a través de la "Sección 8. Haces tubulares de intercambiadores de calor" (Referencia API 581 2016 Parte 1. Metodología de planificación de inspección)**

Utilización del Método 4. El cual especifica que una vez acumulado suficiente historial de inspección, la estadística para el haz podría ser determinado. El parámetro Eta ( $\eta$ ) o también conocido como característica de vida puede ser recalculado utilizando la siguiente ecuación:

$$\eta = \left( \sum_{i=1}^N \frac{t_{dur,i}^{\beta}}{r} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad \text{Ecuación 3}$$

#### **Dónde:**

N: Es el número de haces a ser evaluados.

$t_{dur,i}^{\beta}$ : Es el tiempo en servicio en años para cada haz.

r: Es el número de fallas de los haces de tubos.

$\beta$ : Es el parámetro Beta de Weibull.

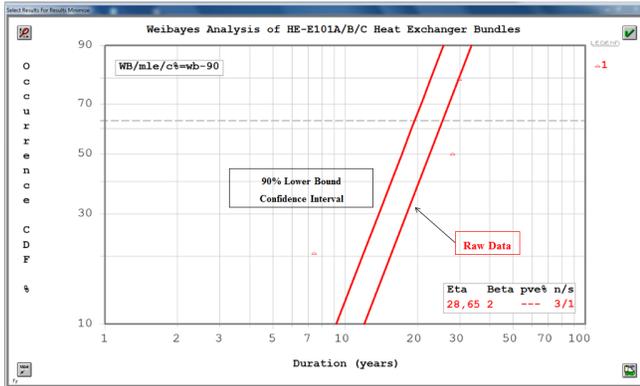
#### **Simulación de los datos de la Tabla 3. Utilizando el software SuperSMITH de Weibull.**

Para simular los datos de la Tabla 3 con el propósito de conocer un valor inicial del parámetro Eta ( $\eta$ ). Fue necesario utilizar el software SuperSMITH ya que el mismo se considera como el avance técnico más significativo. Este software se considera amigable y fácil de usar. El software ha hecho la aplicación mucho más fácil, eficiente y divertida.

Esta referencia puede parecer inapropiada, pero la dependencia del software se requiere. Ya que si el evaluador lo desea, puede evitar casi todos los cálculos y trazados manuales utilizando SuperSMITH, pero en la humilde opinión de los autores de este artículo, se recomienda realizar los primeros cálculos de forma manual ya que esto le proporcionará al evaluador un mayor entendimiento de las suposiciones necesarias para estimar los parámetros Beta ( $\beta$ ) y Eta ( $\eta$ ) de Weibull.

#### **Simulación del parámetro Eta ( $\eta$ ) con un intervalo de confianza de límite inferior (LBC) del 90%.**

Esta simulación indica un valor inicial del parámetro Eta ( $\eta$ ) así como un valor pronosticado de una inspección recomendada en años. Es importante mencionar que la mayoría de los estadísticos utilizarán límites de confianza en datos de esta naturaleza para dar cuenta de la distribución estadística en los datos. Se recomendó un intervalo de confianza de límite inferior (LBC) del 90%. Esto representa el conjunto de haces tubulares coincidentes en la base de datos de confiabilidad.



**Gráfica 5.** Muestra el efecto directo que la incertidumbre de la inspección tiene sobre el riesgo calculado y el plan de inspección posterior. Fuente: DEMO SúperSMITH WEIBUL software by Fulton Findings.

Para citar un ejemplo sobre cómo se debe calcular el riesgo en cualquier punto del tiempo. La Gráfica proporciona la curva POF para el caso de estudio utilizando los haces de intercambiadores de calor correspondientes de la base de datos. Con los parámetros de Weibull definidos, el POF en función del tiempo se determina para el caso de estudio usando la ecuación 2.

$$P_f^{tube} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{28,65}\right)^2\right]$$

Una vez que el haz tubular ha acumulado al menos dos ciclos de vida con datos de inspección, se puede realizar un análisis de Weibayes manteniendo el parámetro Beta ( $\beta$ ) igual al determinado a partir de los criterios de haces tubulares coincidentes. El parámetro Eta ( $\eta$ ) de vida característica se puede volver a recalcular utilizando la ecuación 3.

$$\eta = 32,34 \text{ años}$$

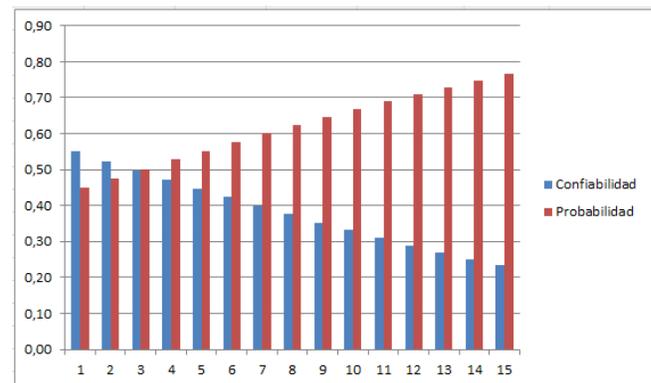
Para obtener el valor de la probabilidad de falla del haz tubular mediante la ecuación 1, se utilizó el valor recalculado del parámetro Eta ( $\eta$ ).

$$P_f^{tube} = 0,45 \frac{\text{fallas}}{\text{año}}$$

### Estimación de la confiabilidad del haz yubular para los próximos 20 años, partiendo del cálculo anteriormente realizado de la probabilidad de falla.

**Tabla 4.** Estimación de la Probabilidad Vs Confiabilidad una vez obtenido el valor inicial de POF. Fuente: El autor.

Probabilidad Vs Confiabilidad		
Años	Probabilidad	Confiabilidad
0	0,45	0,55
1	0,48	0,52
2	0,50	0,50
3	0,53	0,47
4	0,55	0,45
5	0,58	0,42
6	0,60	0,40
7	0,62	0,38
8	0,65	0,35
9	0,67	0,33
10	0,69	0,31
11	0,71	0,29
12	0,73	0,27
13	0,75	0,25
14	0,77	0,23
15	0,78	0,22



**Gráfica 6.** Muestra la probabilidad de falla Vs la confiabilidad proyectada para 15 años. Fuente: El autor.

### Reducción de la incertidumbre a través de la inspección. Podríamos hacernos una pregunta. ¿Cómo introducir incertidumbre?

Bueno, si no hay un gran muestreo de datos de inspección para el haz, entonces existe un grado de incertidumbre asociado con respecto a si el conjunto coincidente de haces tubulares de la base de datos de fallas representa con precisión el haz que se está evaluando. Para tener en cuenta las imprecisiones y los sesgos inherentes a la base de datos de fallas, se introduce incertidumbre adicional en las estadísticas. Se utiliza un valor predeterminado para una incertidumbre adicional del 50%.

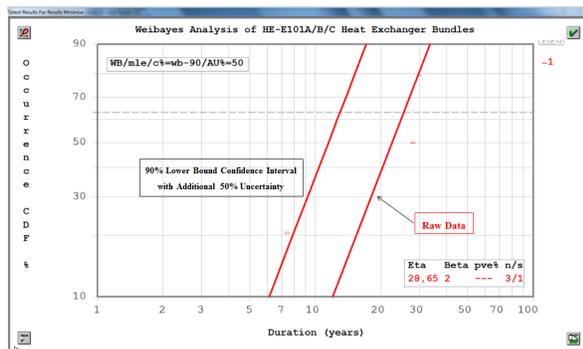
## Gestión del riesgo mediante la reducción de la incertidumbre a través de la inspección

El riesgo puede gestionarse mediante inspección. Obviamente, la inspección en sí no detiene ni mitiga los mecanismos de daño ni reduce el riesgo, pero la información obtenida a través de una inspección efectiva puede cuantificar mejor el riesgo real. Las actividades de inspección no evitan la falla inminente del equipo a menos que la inspección precipite las actividades de mitigación de riesgos que cambian la probabilidad de falla POF.

La inspección sirve para identificar, monitorear y medir los mecanismos de daño. Es una aportación invaluable en la predicción de cuándo el daño alcanzará un punto crítico. La correcta aplicación de las inspecciones mejorará la capacidad del usuario para predecir los mecanismos de daño y las tasas de deterioro. Cuanto mejor sea la previsibilidad, menos incertidumbre habrá sobre cuándo puede ocurrir una falla. La mitigación (reparación, reemplazo, cambios, etc.) se puede planificar e implementar antes de la fecha de falla prevista. La reducción de la incertidumbre y el aumento de la previsibilidad a través de la inspección se traduce directamente en una mejor estimación de la probabilidad de falla y, por lo tanto, en una reducción del riesgo calculado. Sin embargo, los usuarios deben ser diligentes para garantizar que las alternativas de inspección temporal, en lugar de reducciones de riesgo más permanentes, sean realmente efectivas.

La mitigación de riesgos (por la reducción de la incertidumbre) lograda mediante la inspección supone que las organizaciones actuarán de manera oportuna sobre los resultados de la inspección. La mitigación del riesgo no se logra si los datos de inspección que se recopilan no se analizan y actúan adecuadamente cuando es necesario. La calidad de los datos de inspección y el análisis o interpretación afectarán en gran medida el nivel de mitigación de riesgos. Por lo tanto, los métodos de inspección adecuados y las herramientas de análisis de datos son fundamentales.

Simulación donde se introduce una adición de la incertidumbre del 50%.



**Gráfica 7.** Muestra la curva del caso de estudio desplazada hacia la izquierda como resultado de la adición de la incertidumbre del 50%. Fuente: DEMO SuperSMITH WEIBUL software by Fulton Findings.

Si el haz tubular no tiene registro de inspección y no existe conocimiento de la condición del mismo, la curva de incertidumbre del 50% se usa para predecir el POF como una función del tiempo. El riesgo calculado para un haz tubular sin ningún conocimiento de inspección será mayor que para un haz tubular que tiene registros de inspección. Aunque la acción de inspección no reduce el riesgo en sí misma, esto está de acuerdo con los principios de RBI que establecen que cuanto más conocimiento se obtenga para un componente de equipo, menos incertidumbre existe, lo que resulta en una reducción del riesgo calculado.

En la Gráfica 7, se visualiza que la inspección recomendada sería 13.7 años. Esto se compara con un valor pronosticado de 19.8 años mostrado en la Gráfica 5, donde se usaron los datos sin procesar (90% LBC) que representan el conjunto de haces tubulares coincidentes en la base de datos de confiabilidad. Esto muestra el efecto directo que la incertidumbre de la inspección tiene sobre el riesgo calculado y el plan de inspección posterior.

### Cálculo de las consecuencias de la Falla

Método de cálculo: La falla del haz tubular es definida como una fuga del tubo. Las consecuencias financieras son determinadas basadas en la criticidad del haz, el cual incluye costos asociados con pérdida de oportunidad debido a tiempos debajo de producción, costos por impacto ambiental, costos asociados con mantenimiento y reemplazo del haz tubular. Las consecuencias de un paro no planificado debido a fuga del tubo del haz tubular es determinada usando la ecuación siguiente:

$$C_f^{tube} = Cost_{prod} + Cost_{amb} + Cost_{bundle} + Cost_{mant}$$

La producción de la unidad o costos de la pérdida de producción, es determinada usando la siguiente ecuación:

$$Cost_{prod} = Unid_{prod} \cdot \left( \frac{Rate_{red}}{100} \right) \cdot D_{sl}$$

Donde:

$Unid_{prod}$ : Es el margen de producción diaria en la unidad (\$/día).

$Rate_{red}$ : Es la reducción de la tasa de producción en una unidad como resultado de un haz tubular estando fuera de servicio (%).

$D_{sl}$ : Es el número de días requerido para detener la unidad para reparar un haz tubular durante un paro no planificado (días).

$$Cost_{prod} = 59.000 \text{ \$/día}$$

El costo al impacto ambiental se estimó considerando daños a las áreas ambientales cercanas al intercambiador o que el producto liberado, debido a la pérdida de contención interna, conlleve a la contaminación con el medio calentador (vapor) o enfriador (agua de enfriamiento) y este a su vez fuera enviado a la zona de desecho de productos químicos de la planta y que no pudiese ser neutralizado correctamente.

$$Cost_{amb} = 1.000 \text{ \$}$$

La siguiente ecuación puede ser usada para estimar los costos de reemplazo del haz tubular.

$$Cost_{bundle} = \frac{22000 \cdot \left( \frac{\pi D_{shell}^2}{4} \right) \cdot L_{tube} \cdot M_f}{C_1}$$

Donde:

$D_{shell}$ : Es el diámetro interno del cuerpo en el intercambiador de calor. mm (inch).

$L_{tube}$ : Es la longitud del haz tubular, m (ft).

$M_f$ : Es el factor de costo del material.

$C_1$ : Factor de conversión.

Es importante destacar que para este caso de estudio en particular se realizó el cálculo de  $Cost_{bundle}$ , considerando la falla funcional o falla del tubo en el intercambiador de calor que pudiera conllevar a una pérdida de contención del mismo o equipo auxiliar. Estos típicamente supondrían una fuga desde un lugar de alta presión a uno de baja presión del intercambiador y abrir una posterior contaminación al sitio de baja presión. Fallas en tubos de intercambiadores de calor pueden resultar en una contaminación del sistema de agua enfriamiento o vapor con materiales tóxicos y consecuentemente obtener pérdida de contención con consecuencias a la seguridad, salud e impacto ambiental. Ahora bien, para establecer el cálculo total del haz tubular se tiene que considerar la totalidad de los tubos así como las placas tubulares.

$$Cost_{bundle} = 187.000 \text{ \$/tube}$$

Se calculó los Costos de mantenimiento considerando la mano de obra que intervendría al momento de fallar alguno de los tubos del haz tubular; este recurso pudiera estar distribuido de la siguiente forma: técnicos mecánicos, grupo de soldadura, montacargas, máquinas de soldadura, operadores, entre otros.

$$Cost_{mant} = 3.650 \text{ \$}$$

### Costo total de las consecuencias de fallas

$$C_f^{tube} = 59.000 + 1000 + 187.000 + 3.650 \text{ \$}$$

$$C_f^{tube} = 250.650 \text{ \$}$$

### Administración del Riesgo mediante la limitación de cualquier consecuencia negativa o reducción en probabilidad de un particular evento.

Las evaluaciones previas realizadas al haz tubular del intercambiador de calor **HE-E101-A** indican que sería posible realizar alguna actividad de mitigación del riesgo al equipo, como por ejemplo: modificar a través de un rediseño, reemplazo general o revaloración de toda la sección externa del equipo, con el propósito de mantener el haz tubular en continuo servicio.

Hay metodologías que apoyan los procesos de toma de decisiones para evitar tomar decisiones arbitrarias o inconsistentes, sin base en la información disponible y que no cumplan con los objetivos medulares del negocio. Resultan particularmente útiles para decidir en escenarios con intereses en conflicto, como el escenario "operación - mantenimiento", en el cual el operador requiere que el equipo o proceso opere en forma continua para garantizar máxima producción, y simultáneamente, el mantenedor requiere que el proceso se detenga con cierta frecuencia para poder mantener y ganar confiabilidad en el mismo.

Recordemos que cuando el deterioro de un equipo ha alcanzado un punto en el que el riesgo de falla no se puede manejar a un nivel aceptable, el reemplazo / reparación es a menudo la única forma de mitigar el riesgo.

En opinión de los autores de este artículo, la toma de decisiones en la alta dirección de una organización se fundamenta no solo en que la alternativa propuesta sea técnicamente factible, sino también debe ser económicamente rentable y presupuestariamente viable para garantizar que las inversiones sean oportunas para maximizar la rentabilidad del negocio. Por lo anteriormente expuesto fue necesario agregar una evaluación económica para soportar la decisión eficaz para mitigar el riesgo relativo relacionado a los componentes externos del intercambiador de calor HE-E101-A.

**Como gestionar el riesgo:** En función de la clasificación de los elementos, se podría iniciar un proceso de gestión de los riesgos. Por ejemplo; Para aquellos riesgos que se juzgan aceptables, no se requiere mitigación y no se requieren acciones adicionales pero para los riesgos considerados inaceptables y, por lo tanto, que requieren

mitigación de riesgos, existen varias categorías de mitigación que deberían ser considerados, como por ejemplo:

- **Mitigación de probabilidad:** ¿se pueden tomar medidas para disminuir la POF, como los cambios en el material de construcción, cambios operativos o rediseño de equipos? Ahora se pueden tomar decisiones de gestión de riesgos sobre qué medidas de mitigación tomar.

#### **Modificación, rediseño y revaloración de equipos**

La modificación y el rediseño de los equipos, utilizando un proceso riguroso de MOC, pueden proporcionar mitigación de POF. Ejemplos incluyen lo siguiente:

- Cambio de metalurgia.
- Adición de revestimientos.
- Eliminación de las piernas muertas.
- Mayor tolerancia a la corrosión.
- Cambios físicos que ayudarán a controlar / minimizar el deterioro.
- Mejoras de aislamiento.
- Cambios en el diseño del punto de inyección.
- Cambio de tamaño del dispositivo de alivio.

#### **4 Evaluación económica del haz tubular del intercambiador de calor HE-E101-A.**

La decisión de reemplazar o continuar manteniendo un determinado equipo representa uno de los elementos fundamentales de la estrategia de desarrollo de una industria o empresa. Un reemplazo postergado más tiempo del razonable puede elevar los costos de producción debido a una serie de problemas fáciles de identificar. Un reemplazo prematuro puede ocasionar el desvío de recursos que pudieran tener otras prioridades para la empresa, además de los costos de oportunidad que implican no trabajar con adecuadas estructuras y óptimos costos y riesgos. El estudio de las inversiones de modernización por la vía del reemplazo es el más simple de realizar, la metodología a aplicar en este artículo, es el análisis económico del costo de ciclo de vida, la cual se basa en estimar o pronosticar todos los posibles "flujos de caja" durante toda la vida útil de un activo, sistema o proceso; incluyendo todas las fases desde el diseño, procura, construcción, operación, mantenimiento hasta su desincorporación y en la conversión de estos flujos de caja proyectados o futuros, a un valor económicamente comparable considerando el valor del dinero en el tiempo

para equipo con vida diferente.

#### **Suposiciones para la aplicación del modelo**

- La inflación se considera a través de la tasa real de interés (Tasa de descuento) de la empresa.
- Los costos de operación y mantenimiento del equipo por unidad de tiempo se incrementan con el tiempo y son considerados al final de cada año.
- El reemplazo es por un equipo idéntico al instalado.
- El valor de salvamento o reventa decrece con el tiempo.
- El análisis se realizará para un modo de falla predominante en función de las penalizaciones al momento de ocurrir la pérdida de la función.

***Como puede observarse, los costos de operación y mantenimiento del equipo actual van aumentando a medida que aumenta el número de periodos "n" para reemplazar el equipo, mientras que los costos de operación y mantenimiento del equipo nuevo van disminuyendo puesto que opera menos tiempo.***

Como puede observarse en la siguiente tabla, la vida útil económica del equipo nuevo obtenida con la aplicación del modelo matemático para un periodo indefinido arrojó un resultado igual a 6 años, mientras que la vida remanente para el equipo actual es 20 años, es decir, el tiempo óptimo para reemplazar el activo actual está en el futuro. La recomendación es mantener el equipo instalado más tiempo en operación de tal manera de maximizar la rentabilidad del negocio. Realizar el reemplazo del activo antes de este tiempo estaríamos incurriendo en un desembolso de dinero el cual podría ser aplicado o direccionado a otras oportunidad de inversión de capital en la organización. Este cálculo matemático considerando las evaluaciones financieras soportan los resultados obtenidos en los cálculos mostrados en las primeras líneas de este artículo.

**Tabla 5.** Resultados obtenidos con el programa computacional AMT – Life Expectancy. Fuente: El autor.

**AMT - Life Expectancy**  
**Resultados Período Indefinido**  
Copyright 2017, Edgar Fuenmayor, Ing. MSc. CMRP

Primer Ciclo de Vida	1	Año(s)
Calcular cada:	1	Año(s)

Punto del Primer Reemplazo	0
Calcular cada:	1

Equipo Nuevo		
Impacto Total al Negocio		
Ciclo de Vida (Año(s))	VPN (USD)	CAE (USD/Año)
1	1565103	187812
2	425410	51049
3	231291	27755
4	173449	20814
5	155122	18615
6	152250	18270
7	156179	18741
8	163289	19595
9	172060	20647
10	181823	21819
11	192213	23066
12	202975	24357
13	213907	25669
14	224851	26982
15	235678	28281
16	246287	29554
17	256600	30792
18	266561	31987
19	276124	33135
20	285262	34231
21	293956	35275
22	302196	36264
23	309979	37198
24	317309	38077

Ciclo de Vida Optimo para el Equipo Nuevo	6
---	---

Equipo Actual		
CCV Total del Reemplazo		
Punto de Reemplazo (Año(s))	Prima del Valor Presente (USD)	Valor Presente Total (USD)
0	28592	531456
1	248815	494379
2	215782	461346
3	186378	431942
4	160231	405795
5	137009	382573
6	116413	361977
7	98176	343740
8	82059	327623
9	67850	313414
10	55359	300923
11	44421	289985
12	34890	280454
13	26640	272204
14	19569	265133
15	13595	259159
16	8664	254228
17	4756	250320
18	1904	247468
19	226	245790
20	0	245564
21	1861	247425
22	7371	252935
23	21336	266800
24	67979	313543

No hay asignados Costos Regulares para estos intervalos de calculo

No hay asignados Costos Regulares para estos intervalos de calculo



**Fotografías 13 y 14.** Intercambiador de calor HE-E101-A instalado en su área de trabajo y aislado térmicamente. Fuente: El autor.

**Actualización del intervalo de inspección del intercambiador de calor una vez sometido a REEMPLAZO DE TODOS LOS COMPONENTES EXTERNOS.**

Una inspección no solo reduce la incertidumbre en los datos, sino que también proporciona conocimiento de la actual condición del haz tubular. Se puede determinar que el haz está en óptimas condiciones y que la probabilidad de falla POF es demasiado conservador. Por el contrario, también se puede determinar que el haz está en peor condición de lo que se ha predicho usando la información de un haz tubular en un servicio similar.

Donde la corrosión general es el mecanismo de control de daños en el haz, el promedio medido de los datos de espesor del tubo pueden usarse para predecir la fecha futura de inspección del haz tubular. Por otro mecanismo de daño como vibración, adelgazamiento del extremo del tubo, etc. o donde no existen datos medidos de espesor.

Cualquiera que sea el método utilizado para calcular una fecha futura basada en un registro de inspección, el pronóstico de los datos puede ser usado para modificar la curva POF base.

Fecha de inspección basada en datos medidos de espesor

La tasa de adelgazamiento del haz de tubos se puede determinar utilizando el espesor de pared promedio suministrada y el espesor de pared medido en la última inspección.

**A continuación se mostrará evidencia fotográfica de los resultados obtenidos al aplicar la acción de mitigación: REEMPLAZO DE TODOS LOS COMPONENTES EXTERNOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR HE-E101-A.**



**Fotografías 9 y 10.** Reemplazo total de los componentes externos del intercambiador de calor HE-E101-A conservando el mismo haz tubular. Fuente: El autor.



**Fotografías 11 y 12.** Intercambiador de calor HE-E101-A sometido a prueba hidrostática conservando el mismo haz tubular. Fuente: El autor.

La tasa de adelgazamiento del haz de tubos se calcula utilizando la siguiente ecuación

$$t_{rate} = \frac{t_{orig} - t_{insp}}{t_{dur}}$$

Donde:

$t_{orig}$  : Espesor promedio de la pared del tubo proporcionado.

$t_{insp}$  : Espesor promedio medido de la pared del tubo.

$t_{dur}$  : Duración del paquete o el tiempo en servicio.

$$t_{rate} = 0,0610 \text{ m / año}$$

La vida útil prevista del haz tubular ajustado para inspección, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$PBL_{adj} = \frac{RWT_f \cdot t_{orig}}{t_{rate}}$$

Donde:

$RWT_f$  : Punto de falla definido como una fracción del espesor de pared restante.

$$PBL_{adj} = 10 \text{ años}$$

A este ritmo, el espesor promedio de la pared alcanzaría el 50% del espesor original o el resto espesor de pared  $RWT_f$  en 10 años.

Ajuste a la curva de tasa de falla basada en la condición real del haz tubular

$$\eta_{mod} = \left( \frac{1}{r} \sum_{i=1}^N t_i^\beta \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

$$\eta_{mod} = 23 \text{ años}$$

El intervalo de inspección recomendado en el POF máximo aceptable del 50%

$$t_{int} = \eta_{mod} \left( -h \left[ 1 - P_{f_{max}}^{tube} \right] \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

$$t_{int} = 7,5 \text{ años}$$

## 5 Conclusiones

1. Para efectos de evaluaciones como la realizada en este artículo es estrictamente importante contar con un sistema de gerencia del dato, ya que resulta muy complicado reducir la incertidumbre con muy o poca información (conjunto de datos o base de datos) disponible por las organizaciones.
2. La información obtenida de la inspecciones del haz tubular, fue utilizada no solo para cuantificar la actual o real condición del equipo (espesor de pared restante, velocidad de corrosión o estimado de la vida remanente) sino que también pudo ser usada en la toma de decisiones acertadas respecto a mitigar el riesgo relativo relacionado a la posible pérdida de contención de tubos o carcasa externa y hacer ajustes a las curvas de tasa de POF.
3. Se redujo la incertidumbre respecto a la actual o real condición del equipo esto quiere decir que la curva graficada de POF mediante SSW (Datos confidenciales) se movió hacia la derecha y el POF disminuye. De esta manera, el conocimiento de inspección adquirido durante la intervención (Parada Mayor) del intercambiador de calor reduce el POF y el cálculo del riesgo.
4. La vida remanente económica del intercambiador actual se pudo calcular por conocer un reemplazo posible.
5. La vida útil económica del intercambiador depende de la diferencia de desempeños entre el activo actual y el posible reemplazo y del costo del reemplazo y de su deterioro en el tiempo.
6. El desempeño del activo actual y el posible reemplazo se evaluó en términos de costos y riesgos.
7. Como la opción ganadora es mantener el equipo actual se debe realizar nuevamente el análisis en el próximo mantenimiento mayor para verificar si sigue siendo la mejor alternativa, o existe otra alternativa en el mercado con un CAE menor que la opción actual.
8. Si la inflación es constante por unidad de tiempo no debemos preocuparnos por su efecto.

## 6 Recomendaciones

1. Mantener el intercambiador de calor HE-E101-A por más tiempo en operación para maximizar la rentabilidad del negocio.
2. Reducir la incertidumbre sobre el actual o real estado del daño del haz tubular HE-E101-A o componente asociados mediante la selección de inspecciones

efectivas para detectar, caracterizar y cuantificar el tipo y la extensión de posibles nuevos mecanismos de deterioro.

3. Ejecutar actividades de inspección del haz tubular HE-E101-A para actualizar la base de datos recolectados con el propósito de cuantificar la actual o real condición del equipo (espesor de pared restante, velocidad de corrosión o estimado de la vida remanente).
4. Adiestrar al personal de inspección y confiabilidad de equipos estáticos de la organización en la implementación de la metodología de Inspección Basada en Riesgo API 580 / 581 para planificar un adecuado plan de inspección con el propósito de conocer; Qué inspeccionar, Cómo inspeccionar (técnica), Dónde inspeccionar (ubicación), Cuánto inspeccionar (cobertura) y Cuándo inspeccionar.
5. Seleccionar las mejores alternativas en base a conocimiento previo a través de evaluaciones y resultados técnicos, con el propósito de optimizar los recursos asignados a la intervención de equipos estáticos de la organización y no tomarlas en base a solo conocimiento empírico y / o reactivo.

#### Referencias y Lecturas Complementarias

6. Risk Based Inspection API Recommended Practice 580 Third Edition, February 2016.
7. Risk Based Inspection Methodology API Recommended Practice 581 Third Edition, April 2016.
8. The New Weibull Handbook, Fifth Edition by Dr. Robert B. Abernethy 2004.
9. Alloy Selection for Caustic Soda Service by C.M. Schillmoller. NIDI Technical Series N° 10019.
10. TEMA Standards of Tubular Exchanger Manufacture Association. Eight Edition.
11. Ultrarape de Siemens for corrosion monitoring and remaining life.
12. ISO - 55000 Asset Management - Overview, Principles and Terminology, 2014.
13. John Woodhouse.: 'Asset Management Decision-Making: The SALVO Process', Strategic Assets: Life Cycle Value Optimization, United Kingdom, TWPL. 2014.
14. Edgar Fuenmayor. Análisis de Reemplazo de un Activo Basado en Costos de Ciclo de Vida. Revista Confiabilidad Industrial N° 11. Venezuela. 2011. [www.confabilidad.com.ve](http://www.confabilidad.com.ve)
15. UNE - EN 60300 - 3 - 3 Cálculo del Costo del Ciclo de Vida. 2009.



# DIAGNÓSTIC ASISTID DEL PROGRAMA DE LUBRICACIÓN



**Tú equipo al frente del diagnóstico con el apoyo y la metodología ASCEND™ de Noria**

# PREDICTIVA 21

Revista Digital de Mantenimiento,  
Confiabilidad y Gestión de  
Activos



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