

Integridad Tecnológica - El estudio de la disponibilidad, confiabilidad y riesgo en la gestión de tecnología industrial

Esta introducción nos permitirá conocer los principales conceptos relacionados con la materia y fundamentalmente describir el marco de incumbencia de estos conocimientos para que sean aplicables en entornos industriales de proceso, generación de energía y manufactura, transporte de personas y materiales, como son los barcos, aviones, camiones y trenes, y también los edificios modernos que cada vez tienen tecnologías más complejas y riesgosas con similitud a las de ciertas industrias.

Haciendo un poco de historia vemos que durante el siglo veinte se consiguieron mejoras significativas en las áreas de gestión de tecnología, procesos y personas. Esta evolución se concretó por medio del uso y desarrollo de herramientas que fueron útiles a los propósitos de aumentar la productividad de bienes y servicios, bajar la tasa de accidentes mayores y de seguridad personal, mejorar la calidad de lo producido así como también aumentar la confiabilidad de la tecnología y por ende su disponibilidad. En resumen productividad con calidad, seguridad y predictibilidad de abastecimiento fueron los objetivos que se persiguieron en la generación de bienes y servicios. De esta manera los mercados internacionales pudieron pagar precios competitivos por materiales de calidad que serían abastecidos en tiempo y forma. Veamos a continuación algunas de las principales herramientas utilizadas con estos fines.

- Gestión de personas: Se profundizó en el estudio de la dinámica de grupo las técnicas de gestión y de liderazgo de seres humanos. Se identificó maneras de motivar y formas sutiles de incentivos para mejorar el desempeño de los empleados.
- Evaluación previa al reclutamiento e inducción de nuevo personal: Se sistematizó la evaluación de antecedentes, experiencia, formación, educación y actitud de los postulantes a posiciones de trabajo así como también se avanzó sobre prácticas de inducción de personal nuevo.
- Especialización de personal técnico en técnicas de mantenimiento correctivo cada vez más eficientes y con herramientas más específicas.
- Creación de leyes en los países desarrollados que protegieron a las personas en referencia a la seguridad, lo que permitió mejorar los

indicadores de accidentes sufridos por el personal en el desempeño de sus tareas.

- Creación de controles financieros y de ética internos a las empresas.
- Mejora en la seguridad de las tecnologías de control y seguridad de proceso. Se reemplazaron personas por tecnología.
- Análisis tipo RCM adoptado por la aviación comercial que permitió el estudio de las distintas estrategias de mantenimiento en función del patrón de fallas de la tecnología en cuestión.
- Desarrollo de planes balanceados de inspecciones preventivas y predictivas con tecnología cada vez más efectiva, poniendo el énfasis en diagnósticos tecnológicos basados en condición por sobre los cambios y reparaciones exclusivamente programados por fechas u horas de uso.
- Implementación de sistemas de permisos de trabajo que mejoraron el desempeño de hombres y procedimientos en términos de accidentes durante la ejecución de trabajos riesgosos.
- Desarrollo de estándares y procedimientos internacionales que mejoraron y difundieron las mejores prácticas conocidas. Entre las principales instituciones que han contribuido en este sentido encontramos el IEC, API, ASME, BS y ANSI.
- Desarrollo de métricas, indicadores y tableros de control reactivos que mejoraron el control de la seguridad y de los procesos productivos en general.
- Implementación de sistemas de productividad, calidad, seguridad y protección del medio ambiente. Entre los más conocidos se pueden nombrar ISO 9000, 14000, 18000 y TQM. Los mismos permitieron desplazar el énfasis puesto en la gestión de personas hacia la gestión por sistemas influyendo así en algunos rasgos culturales de las organizaciones.
- Integración de personal operativo a tareas técnicas por medio de planes y filosofías adaptadas de Japón y conocidas como TPM. Esto estimuló el compromiso y la eficiencia de los sectores de producción y mantenimiento.
- Distribución de sistemas de calificación y certificación de oficios, procedimientos de trabajo y empresas contratistas.

- Énfasis en el desempeño seguro de los individuos por medio de la observación y gestión de los aspectos conductuales.
- Desarrollo de conciencia en los gerentes y supervisores en cuanto a desarrollar estilos de liderazgo situacionales.
- Desarrollo de algunas métricas proactivas que impactaron positivamente en áreas de seguridad.
- Comienzo de gestión de los proyectos de diseño y construcción siguiendo metodologías estructuradas influenciadas por las culturas Americanas y/o Europeas.
- Implementación de de herramientas del tipo HAZOP y FMEA para la gestión de procesos complejos o riesgosos.
- Desarrollo de una visión estratégica de la gestión de empresas en los altos directivos de las organizaciones.

Por medio de estas herramientas se consiguen mejoras en distintos indicadores, por ejemplo, el de accidentes mayores y el de predictibilidad productiva, que en una gran cantidad de empresas líderes, se logró bajar un orden de magnitud en cincuenta años. Durante los últimos años estas mejoras han entrado en una meseta y para poder salir de este estancamiento en los resultados las nuevas herramientas propuestas por las instituciones normativas globales y empresas líderes son:

- CONFIABILIDAD TECNOLÓGICA Y HUMANA CUANTITATIVA
- GESTIÓN DEL RIESGO CUANTITATIVO
- INTEGRIDAD OPERACIONAL

Vemos también como la gestión tradicional de equipos y personas migra hacia una gestión en base de procedimientos, riesgo y confiabilidad de equipos y humanos. Los antiguos enfoques del API 51, 653, 570, 510 e IEC 61508 actualmente se complementan con los API 770, 581, 579 e IEC 615011 introduciendo conceptos de RIESGOS Y CONFIABILIDAD física, funcional y humana. Estas ciencias de la confiabilidad tecnológica y humana pueden desarrollarse desde enfoques cualitativos y cuantitativos. Nuestro libro analizará ambos enfoques y todas las herramientas disponibles para modelar, cuantificar, prevenir y mitigar fallas tecnológicas. Nos centraremos fundamentalmente en la ingeniería de la confiabilidad, que es la disciplina técnica probabilística que nos permite cuantificar el comportamiento a la falla / error de tecnología y seres humanos. El autor aclara que al final de este libro se referencia una gran parte de los

documentos, códigos y leyes nombrados y a nombrarse. (2; 4; 5; 6; 8; 9; 13; 14; 15; 18; 19; 22; 23)

Entre las principales aplicaciones de la confiabilidad en ámbitos industriales encontramos:

- Factibilidad de inversiones
- Mantenimiento e inspección industrial
- Diseño de nuevas facilidades industriales
- Planes de inspección y mantenimiento (físicos y funcionales)
- Seguridad industrial
- Estudio de los impactos ambientales
- Disponibilidad tecnológica y gestión del error humano

Los conocimientos adquiridos en confiabilidad pueden aplicarse de forma aislada o transformarse en procedimientos industriales y a su vez estos procedimientos ser administrados por medio de sistemas gerenciales. Si bien la mejor forma de aplicar estos conocimientos, como se dijo, es de forma sistémica y bajo gestión, el solo hecho de obtener conocimiento en estas materias nos permitirá una mejor toma de decisiones en la administración de nuestra tecnología y seres humanos. Los principales elementos de un sistema de gestión son:

- Desarrollo de políticas con visión y misión
- Objetivos claros, entendibles y medibles
- Procedimientos que definan quién hace una tarea, cómo la hace y con qué
- Definición de las responsabilidades del sistema y de los procedimientos
- Verificación de estos procedimientos
- Medición de los objetivos y actualización de un tablero de control
- Administración de los registros generados y gestión de la documentación y la capacitación
- Auditorías internas y externas
- Mejora continua y realimentación

Veamos brevemente las antiguas herramientas que complementan la confiabilidad tecnológica. La más antigua de las herramientas de gestión tecnológica es el mantenimiento a rotura. En una administración moderna de la tecnología debemos determinar cuáles equipos, elementos o componentes que por su relación costo de la rotura / beneficio de su prevención o predicción clasifiquen como elementos susceptibles a ser trabajados a la rotura. Es decir, aún en el caso de trabajar a la rotura si la ecuación costo-beneficio lo permite se puede gestionar de forma eficiente nuestros activos. Una implementación de las más difundidas ha sido la de generar rutas de inspección correctiva. Algunos ejemplos de elementos industriales que se pueden mantener correctivamente son:

- Dispositivos de comando eléctricos de bajo riesgo
- Iluminación
- Cambio de juntas de bridas
- Hormigón
- Diques de contención
- Pintura industrial
- Herramientas industriales

Continuemos analizando como llegamos a la confiabilidad tecnológica en el último siglo. Un tipo de herramientas útiles a nuestros fines son las del tipo RCM que nos permiten obtener de forma sistemática los modos, mecanismos de falla, criticidades y tareas asociadas como estrategias preventivas para maximizar la confiabilidad tecnológica. Otras importantes herramientas son FMEA/FMECA y API 580 que nos posibilitarán también en forma sistemática para desarrollar un programa de tareas de mantenimiento. Este tipo de análisis junto con la aplicación de RCM serán las bases de las estrategias de mantenimiento. Las frecuencias de inspección y mantenimiento han evolucionado desde la adaptación de las recomendadas por el fabricante o asumidas subjetivamente por hombres experimentados a las calculadas por conceptos cuantitativos de confiabilidad tecnológica siendo ésta una de sus principales aplicaciones.

Las técnicas preventivas y predictivas complementan también las herramientas de confiabilidad tecnológica. Las preventivas son técnicas que se mejoran sustancialmente cuando se trabaja en base a confiabilidad, dado que permite en forma cuantitativa y probabilística identificar la frecuencia óptima de mantenimiento para una determinada tecnología. El mantenimiento predictivo está dentro de la gama de las herramientas que nos permiten mantener sin

frecuencia fija y solo bajo condición, siendo las mismas también complementarias de las herramientas basadas en confiabilidad.

El TPM sigue considerándose como una herramienta indispensable para la gestión moderna de equipos industriales y se lo considera también como complemento a la confiabilidad tecnológica y humana.

A lo largo de este libro también consideraremos los roles que juegan las herramientas de confiabilidad en las distintas etapas de implementación de un proyecto de diseño, construcción o mantenimiento mayor de una tecnología productiva. Dado que no hay forma más efectiva de que un determinado proceso industrial sea confiable se debe trabajar sobre este durante las etapas tempranas de diseño y construcción, buscando lograr un diseño que genere pocas fallas tecnológicas y que minimice las posibilidades del error humano. Como se dijo algunas de las principales herramientas que analizaremos y que nos ayudarán para tal fin son FMEA, HAZOP, Redundancias activas y pasivas, RCM y Mantenibilidad.

El análisis cuantitativo del riesgo industrial se deriva de la confiabilidad tecnológica y permite agregar al modelo de frecuencias cuantitativas las consecuencias de cada modo de falla o componente de riesgo. En otras palabras nos permite agregar un elemento que pondera no solo la frecuencia con que se desencadena una falla si no también su consecuencia. En un nivel introductorio vamos a analizar las distintas causas u orígenes del riesgo, los distintos efectos y principales herramientas.

Los tipos de riesgos más usuales a nivel industrial son:

- Los riesgos de indisponibilidad de protecciones del proceso frente al descontrol del mismo
- Los riesgos que generan los mecanismos de falla tecnológica considerando la susceptibilidad de ser identificados
- Los riesgo ambientales y los riesgos humanos

También a un nivel introductorio veremos algunos elementos de la confiabilidad humana que nos permitirán entender la relación del error humano con la disponibilidad y confiabilidad de nuestros procesos industriales. A esta altura de nuestro análisis podemos ensayar una definición de confiabilidad como “la ciencia que estudia las fallas tecnológicas y humanas planteando estrategias para prevenirlas y mitigarlas”. Las fallas que son de nuestro interés son aquellas que provocan problemas sobre la productividad, calidad y seguridad de los procesos industriales. La confiabilidad humana y el análisis de riesgos trabajan

eliminando las debilidades a nivel de actitudes, actos y hábitos, genera barreras tecnológicas y de gestión y estudia las tecnologías eliminando las fuentes de riesgo humano. Por último se calculan las tasas de falla humana para cada escenario de interés, permitiendo cuantificar la confiabilidad e indisponibilidad humana en su tarea.

En el desarrollo de la teoría del riesgo, confiabilidad e integridad desarrollaremos un enfoque predominantemente probabilístico con poco énfasis en el determinismo. A manera de ejemplo si consideramos la energía absorbida en un ensayo de cálculo de resiliencia de un material dado en función de la temperatura para cada punto corresponden una dispersión de probables valores a utilizar. Ahora si nosotros quisiéramos ajustar en forma determinista este fenómeno nos obliga a tomar grandes márgenes de seguridad que en gran cantidad de procesos industriales pueden ser del orden de cuatro a siete veces los valores nominales de diseño. Los enfoques probabilísticos nos permiten mejorar drásticamente este problema de incertidumbre.

Principalmente nuestros desarrollos de cálculos de confiabilidad serán dentro de la zona de vida útil o de tasa de falla constante y los representaremos con distribuciones exponenciales. Para el caso de equipos que presenten variaciones de la tasa de falla en el tiempo usaremos otras distribuciones probabilísticas (por ejemplo Weibull). Es importante destacar que el tipo de curva determinista que siga la tasa de falla en el tiempo condicionará las estrategias de mantenimiento. Por ejemplo en un equipo que tenga una tasa constante durante toda su vida útil no serán efectivas las estrategias de mantenimiento preventivo dado que su rotura será totalmente aleatoria. Estos tipos de razonamientos nos ayudarán a establecer las filosofías de mantenimiento.

Una consideración profunda del tema deberá abarcar los siguientes tópicos que son desarrollados ampliamente en la literatura dada como referencia al final del artículo:

- Principales herramientas de la confiabilidad y el riesgo
- Modelos y variables matemáticas
- Descripción del tipo de tasas de falla tecnológicas y sus principales aplicaciones
- Cálculo simplificado de la confiabilidad de un equipo o ser humano usando una distribución exponencial de falla
- Cálculo de la indisponibilidad de un equipo
- Los modelos de indisponibilidad de una cantidad de equipos sobre un total
- El modelo probabilístico y el diagrama de bloque
- Redundancia activa y pasiva
- Cálculo de la tasa de falla y confiabilidad de sistemas por medio de los árboles de falla
- Relacionando las fallas de la tecnología con el riesgo por medio del uso de la herramienta árboles de eventos
- Utilizando Markov para mejorar los cálculos de confiabilidad de sistemas redundantes
- Cálculo de la confiabilidad por medio de las distribuciones de Weibull
- Desarrollo de escenarios de confiabilidad y riesgo
- Descripción de un modelo sistémico de confiabilidad tecnológica
- Evolucionando de la confiabilidad y el riesgo a la integridad
- Modelos de administración de equipos críticos por medio del uso de parámetros de confiabilidad cuantitativa
- Introducción al riesgo industrial
- El riesgo del control y la seguridad del proceso
- El riesgo ambiental
- La integridad tecnológica y el ser humano
- La herramienta FMEA como base de un plan de mantenimiento

- HAZOP
- Matrices y mapas de riesgo
- Métodos creativos y desestructurados
- El efecto dominó en el diseño de las facilidades
- La integridad y la gestión de los proyectos y los cambios
- Cuantificación de la variable humana
- Mejoras a la confiabilidad de tecnología existente
- Códigos internacionales de la confiabilidad, integridad y riesgos tecnológicos, ambientales y humanos
- La herramienta más importante del RCM
- La inspección y el mantenimiento basados en riesgo
- La integridad según el concepto ASME
- El concepto de las capas de protección (LOPA)
- Aplicación de la integridad a equipos estáticos
- Aplicación de la integridad a equipos rotantes
- Gestionando tecnología, entorno y personas por conceptos de integridad
- Negligencia, dolo y error
- Mantenibilidad
- Gestionando datos

Referencias: Libros, documentos y estándares

- Kapur K.C., Reliability in Engineering Design, Wiley, 1977
- API RP 580 "Risk-Based Inspection". Ed. 2001 y "Fitness-For-Service" - RP 579, American Petroleum Institute, API, Recommended Practice, First Edition, January 2000
- C.R. Sundararajan, Reliability Engineering, VNR, 1991
- ASME B31.8S Managing System Integrity of Gas Pipelines, 2004
- API Human Factors task force, Human Factors Tool for Existing Operations, API, 2006
- "Risk-based Methods For Equipment Life Management" – ASME CRTD Vol.41 2003
- Héctor Ecay, Accidentes y Riesgos Sociales, HEE Consultores, 2009
- IEC 615011 partes 1 al 3 IEC 2003 – 61508 Functional Safety partes 1 al 7 - IEC 2002
- OSHA Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals Standard, CFR Part 1910.119
- Héctor Ecay, Confiabilidad Humana – El estudio del comportamiento y error humano en ambientes competitivos, HEE Consultores 2009
- US Department of Transportation, Human Reliability Analysis, Federal Railroad Administration, 2003
- Héctor Ecay, Integridad de Equipos estáticos y rotantes, curso, HEE Consultores, 2006
- "Risk-Based Inspection" American Petroleum Institute, API 581, Recommended Practice, First Edition, May 2000
- "Management of Process Hazards", API RP 750
- API committee on supervisory development, How can you improve in communicating?, API
- John Uff, Construction Law, Sweet & Maxwell, 2002
- Héctor Ecay, Prevención de Accidentes Industriales Mayores – Curso , HEE Consultores 2007
- "Evaluation Criteria For Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes", SAE JA- 1011 (Aug 1999).
- "Potential Failure Mode and Effects analysis – FMEA" SAE J-1739.

- Resolución 785/2005 "Programa nacional de control de pérdidas de tanques aéreos de almacenamiento de hidrocarburos y sus derivados"
- Francesco Carrara, Teoría de la tentativa y de la complicidad o del grado en la fuerza física del delito
- BS 5760, Reliability of systems, equipment and components, BSI 1994
- ANSI 99-001, Project Management, ANSI 1999
- Vincenzo Manzini, Tratado de Derecho Procesal Penal
- Hernando Grisanti Aveledo, Lecciones de derecho penal
- <http://www.patientsafety.gov/SafetyTopics/HFMEA/HFMEAIntro.pdf>
- <http://www.weibull.com/basics/fault-tree/andgate.htm>
- http://www.reliasoft.com/BlockSim/fti/fti_features2.htm
- www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=441172
- www.openfta.com
- <http://www.ftasoftware.com/>
- <http://www.itemuk.com/faulttree.html>

Autor: Héctor Ecay