

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA LA DETERMINACIÓN DE RIESGOS BASADOS EN API 580/581

DEVELOPMENT A SOFTWARE TOOL FOR DETERMINATION OF RISK-BASED API 580/581

John H. Ramírez¹

(1) Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Departamento de Metalurgia,
Av. Central del Norte 39-115, Tunja – Colombia
(e-mail: hamilton0487@gmail.com)

Recibido: 09/07/2017 - Evaluado: 28/08/2017 - Aceptado: 16/11/2017

RESUMEN

Este trabajo describe el desarrollo del software, RISK I 1.0, el cual brinda una alternativa para la determinación de riesgos en la industria petrolera Colombiana. Esta herramienta, permitirá acceder a una aplicación para la determinación del riesgo basado en API 580/581-2016. Su utilización facilitara la gestión de integridad de activos estáticos. Además, permitirá, dentro del sistema de gestión de integridad, mantener un inventario de equipos a inspeccionar ordenado y de fácil acceso, permitiéndole al inspector, evaluar y conocer de manera instantánea el nivel de riesgo, el histórico y las condiciones operacionales de cada activo. La determinación del riesgo, evaluará los diferentes mecanismos de daño, obteniendo la probabilidad y la consecuencia de falla del activo. Estos resultados permitirán establecer el programa de inspección. Adicionalmente, permitirá ejecutar de manera individual el modelo de consecuencias Nivel 1 y los mecanismos de daño, permitiendo soportar diferentes análisis de riesgo necesarios en las plantas.

ABSTRACT

This paper describes the software development, RISK I 1.0, which provides an alternative for the determination of risks in the Colombian oil industry. This tool will access an application for risk assessment based on API 580 / 581-2016. Its use will facilitate the management of the integrity of static assets. In addition, within the integrity management system, maintain an inventory of orderly and easily accessible inspection equipment, allow the inspector to evaluate and instantly know the level of risk, the history and operational conditions of each asset. The assessment of the risk, evaluate the different mechanisms of damage, obtain the probability and the consequence of failure of the asset. These results will allow establishing the inspection program. Additionally, it will allow executing individually run the Level 1 Consequences model and damage mechanisms, allowing different analysis of risk needs in plants.

Palabras clave: inspección basada en riesgo, probabilidad, consecuencias, daño
Keywords: risk based inspection, probability, consequences, damage

INTRODUCCIÓN

La inspección interna de los recipientes a presión fue la primera herramienta de gestión de la integridad. En Europa occidental, desde mediados del siglo XIX, se establecieron requisitos legales que exigían la supervisión de la seguridad técnica de las calderas de vapor con el fin de reducir el número de accidentes. La ley nombró a las autoridades estatutarias, organizaciones independientes o semi-independientes, para ejecutar esta supervisión. En los Países Bajos, por ejemplo, el "Dienst Stoomwezen"; (Düv), posteriormente cambiado a TÜV, que ocupó un lugar destacado para garantizar la seguridad de las calderas de vapor y, en el siglo XX, de otros recipientes a presión. Y el intervalo de inspección fue prescrito por la ley. Por los años noventa, sin embargo, era obvio para todos que la uniformidad de los requisitos no era racional. Primero, porque el progreso técnico y la ciencia hizo el fenómeno de la degradación cada vez más rara y predecible, ya que las largas paradas necesarias para realizar las inspecciones internas eran cada vez más perjudiciales para la operación comercial. Alrededor de ese tiempo se diseñó una nueva metodología para dar prioridad a la inspección -creo que fue por Tischuk- y este método fue presentado a las autoridades estatutarias como una racional Base para un intervalo de inspección legal más flexible. Este método fue el inicio del método de inspección basada en el riesgo (Helle, 2014).

El proceso de uso de la metodología de inspección basada en riesgo (RBI), fue iniciada en mayo de 1993 por un grupo de expertos patrocinado por la industria, con el fin de desarrollar métodos prácticos para implementar el RBI, la metodología API RBI enfoca los esfuerzos de inspección en equipos de proceso con el mayor riesgo. Este grupo de patrocinadores fue organizado y administrado por API e incluyó a los siguientes miembros en el inicio del proyecto: Amoco, ARCO, Ashland, BP, Chevron, CITGO, Conoco, Dow Chemical, DNO Heather, DSM Services, Equistar Exxon, Fina, Koch, Marathon, Mobil, Petro-Canadá, Phillips, Saudi Aramco, Shell, Sun, Texaco y UNOCAL. Un documento inicial fue publicado en 1996 y revisado en 2002; en el 2009 se publicó la segunda edición y en el año 2016 se presentó la tercera edición de la Practica Recomendada RBI API 580/581.

La gestión de integridad de equipos estáticos es un enfoque basado en el riesgo que permite priorizar y planificar la inspección, predominantemente en las industrias de petróleo y gas. Este tipo de planificación analiza la probabilidad de falla y las consecuencias de la misma, bajo determinados mecanismos de daño, y a partir de los resultados prioriza y desarrolla el plan de inspección.

La inspección basada en el riesgo (RBI) es una metodología y un proceso de análisis que, a diferencia de la inspección basada en condiciones, requiere una evaluación cualitativa o cuantitativa de la probabilidad de fallo (PoF) y la consecuencia del fallo asociada con cada equipo y circuitos de tuberías, en un sistema de proceso (Zhaoyang *et al.*, 2015). Un programa RBI correctamente implementado categoriza las piezas individuales de equipo por su riesgo y prioriza los esfuerzos de inspección basados en esta jerarquización.

La gestión de integridad para la industria petrolera Colombiana basada en el riesgo, siguiendo los lineamientos de la Practica Recomendada API 580/581-2016, es la técnica más adecuada para desarrollar cualquier estrategia de inspección y mantenimiento. Para ejecutar este modelo de gestión es necesario contar con sistemas y herramientas que permitan gestionar toda la información requerida y/o generada en cualquier proceso de inspección y mantenimiento que se ejecute en una planta petroquímica.

Actualmente existen herramientas a nivel mundial para la determinación del riesgo en equipos estáticos de las plantas en la industria petrolera, la mayoría de ellas extranjeras. En Colombia empresas del área de integridad de activos han desarrollado herramientas internas para ejecución de la inspección basada en riesgo, pero estas herramientas no han sido desarrolladas en Matlab.

La falta de herramientas, de bajo costo, para el análisis de la probabilidad de falla y las consecuencias de la misma, basadas en la Práctica Recomendada API 580/581-2016, representa una necesidad inmediata para la

industria de petróleo y gas Colombiana. Para esta industria resulta necesario determinar el riesgo para cada equipo, clasificar las amenazas para la integridad, priorizar el plan de inspección y optimizar.

El objeto del presente trabajo es diseñar un algoritmo para la programación de la herramienta informática RISK I 1.0, que permita la determinación del riesgo basados en API 580/581 2016, utilizando Matlab.

RISK I 1.0 ayudará a las empresas en la estrategia de gestión de integridad determinando el riesgo, priorizando los equipos, seleccionando las tareas y las técnicas de mantenimiento e inspección más rentables y apropiadas; además se optimizarán los recursos y costos.

METODOLOGÍA

Para el diseño del software se implementó la interface GUIDE de Matlab (Matrix Laboratory). Matlab es una herramienta de software matemático el cual ofrece un entorno de programación con un lenguaje de cálculo técnico que es utilizada ampliamente por ingenieros y científicos de todo el mundo para analizar y diseñar diferentes sistemas y productos; GUIDE es un entorno de programación visual disponible en Matlab para realizar y ejecutar programas que necesitan un continuo ingreso de datos durante la ejecución del programa, tiene todas las características básicas de todos los programas visuales como Visual Basic o Visual C++.

Para el diseño y desarrollo de la interfaz GUIDE, se crea y escribe el código de MATLAB que define todas las variables y propiedades de cada uno de los componentes y casilleros del software, basado en la metodología cuantitativa de inspección basada en riesgo (API 580/581-2016); que toman la información de entrada, realizan los cálculos y presentan los resultados en ventanas interactivas. El código se escribe siguiendo los mecanismos de daño principales presentados en la Fig. 1 (Interfaz Principal), para el cálculo de la probabilidad y siguiendo el Procedimiento de Cálculo de Consecuencias Nivel 1 presentado en la Fig. 2. Las etapas contempladas en las dos figuras descritas representan la metodología implementada

DAMAGE FACTORS TO EVALUATE

RISK CALCULATION

CALCULATE 0 DF for general and localized thinning

CALCULATE 0 DF of internal inorganic, organic and strip linings for all component types

CALCULATE 0 Scc Damage Factor - Sulfide Stress Cracking

CALCULATE 0 DF for HIC/SOHIC cracking in H2S environments

CALCULATE 0 DF Scc Damage Factor - Alkaline Carbonate Stress Corrosion Cracking

CALCULATE 0 DF for polythionic acid cracking in austenitic stainless steel and nonferrous alloy components

CALCULATE 0 DF Scc Damage Factor - Chloride Stress Corrosion Cracking

CALCULATE 0 DF for hydrogen stress cracking (HSC) in HF environments

CALCULATE 0 DF for HIC/SOHIC cracking in HF environments

CALCULATE 0 DF for external corrosion on ferritic components

CALCULATE 0 DF for CUI on insulated ferritic components

CALCULATE 0 DF for sigma phase embrittlement

CALCULATE 0 DF for 885 °F embrittlement

CALCULATE 0 DF for mechanical fatigue

CALCULATE 0 DF for caustic cracking

CALCULATE 0 DF for amine cracking

CALCULATE 0 DF for brittle fracture of carbon steel and low alloy compo...

CALCULATE 0 DF for low alloy steel embrittlement of Cr-Mo low alloy comp...

CALCULATE 0 DF for high temperature hydrogen attack

CALCULATE 0 DF for external CLSCC on austenitic stainless steel compone...

CALCULATE 0 DF for CUI CLSCC on austenitic stainless steel insulated compo...

Type of corrosion evaluated? Local

CALCULATE TOTAL FACTOR DAMAGE

CALCULATION OF CONSEQUENCES

COMPONENT DAMAGE AND PERSONNEL INJURY CONSEQUENCE AREAS

DETERMINE TOXIC CONSEQUENCE

FINANCIAL CONSEQUENCE

DETERMINE NON-FLAMMABLE NON-TOXIC CONSEQUENCE

SUBMIT RISK MATRIX

Area-Based

Financial-Based

Fig. 1: Interfaz Principal.

Interfaces de trabajo del software

La interfaz GUIDE de MATLAB permite realizar tareas de forma interactiva a través de controles, tales como botones, casillas de selección, menús desplegados y barras de desplazamiento entre otros; los cuales ayudan a una mejor interacción entre el entorno gráfico desarrollado (GUIDE) y el usuario.

La herramienta informática RISK I 1.0, se concibe bajo dos secciones principales montadas en la interfaz principal (Ver Fig. 1); la primera corresponde a la evaluación de los factores de daño (DAMAGE FACTORS TO EVALUATE) que el usuario podrá seleccionar para evaluar cualquier activo estático y la segunda que permite el cálculo de las diferentes categorías de consecuencias (CALCULATION OF CONSEQUENCES) concebidas en el API 580/581(2016).

En la evaluación de los factores de daño (sección 1) el usuario obtendrá el valor de la probabilidad de falla del activo estático bajo los mecanismos de daño seleccionados y evaluados.

En el cálculo de las consecuencias (sección 2) el usuario podrá calcular las consecuencias inflamables por daño a equipos y personas, financieras, tóxicas y no-tóxicas y no-inflamables.

Finalmente calculara el riesgo del activo estático evaluado basado en el área de impacto y las consecuencias financieras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Interfaz Principal

Cálculo de la Probabilidad, Sección 1:

A través de la interfaz de probabilidad (Ver Fig. 5), el usuario determina los tres factores necesarios y establecidos por API 580/581 (2016), para el cálculo de la probabilidad, que son: Frecuencia de Falla Genérica (g_{ff}), Factor de Daño ($D_f(t)$) y el Factor del Sistema de Gerenciamiento ($F_{MS}=1$).

El factor de daño total ajusta la frecuencia de falla genérica basado en los mecanismos de daño a los que el componente está sujeto, y considera la susceptibilidad al mecanismo de daño y/o la velocidad con la que el daño se acumula (API 571, 2011).

Así la probabilidad de falla total en función del tiempo se calcula mediante la siguiente ecuación (API 581, 2016):

$$P_f(t) = g_{ff} * D_f(t) * F_{MS} \quad (1)$$

Cálculo de la Consecuencia Nivel 1, Sección 2:

A través de la interfaz de consecuencias (Ver Fig. 5), el usuario determina las consecuencias que representan los efectos de una pérdida de la contención de los fluidos peligrosos de equipos de proceso a presión. Estas consecuencias están orientadas a daños en equipos circundantes, lesiones graves al personal, pérdidas de producción e impactos ambientales indeseables.

El cálculo de consecuencia Nivel 1 considera las consecuencias de liberación para una o dos fases de manera independiente, teniendo en cuenta características del fluido como: Inflamabilidad, Explosividad, Toxicidad, No-Inflamable y No-Tóxico y 4 diferentes tamaños de orificios de liberación: pequeño (0.25 pulgadas, 1 pulgadas, 4 pulgadas y ruptura total). En la Fig. 2 se presenta el diagrama de flujo con el cual se determinan las consecuencias.

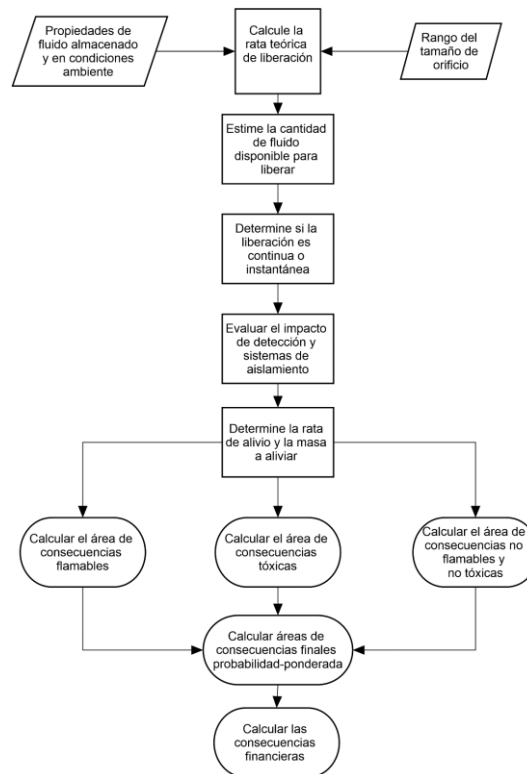


Fig. 2: Procedimiento de Cálculo de Consecuencias Nivel 1 (API 581, 2016).

Interfaz Secundaria

Factores de Daño:

Teniendo en cuenta la evaluación de criterios establecidos en la norma API 580/581 (2016), para cada uno de los 21 mecanismos de daño asociados a un componente de un equipo (Fig. 1), una vez el usuario seleccione alguno de ellos en la interface principal, se despliega la interface secundaria (Fig. 3) donde se deberán seleccionar e introducir la información necesaria para calcular y determinar la susceptibilidad del activo estático evaluado al factor de daño específico.

La información requerida para evaluar cada uno de los factores de daño a través de las interfaces secundarias serán el resultado de los estudios de composición química realizados a los fluidos de proceso, condiciones de operación, históricos de inspección y manteniendo entre otros.

Consecuencias:

Para el análisis de consecuencia se establecen las propiedades del fluido del proceso y se asocian a las tablas establecidas en la norma API 580/581 (2016), para de esta forma hacer un modelamiento de la metodología (Fig. 2) según las propiedades de inflamabilidad, explosividad y toxicidad de un fluido específico. Para este caso se desplegará una interfaz secundaria (Fig. 4) donde el usuario seleccionará el fluido representativo para el modelamiento.

En el modelo de consecuencias presentado, el usuario podrá especificar o no, las propiedades del fluido representativo seleccionado (Ver Fig. 4). Aquí el usuario, si no cuenta con información específica a cerca del fluido contenido en el activo estático, tiene la facilidad de usar las propiedades por defecto establecidas en tablas por la norma API 580/581 (2016).

THINNING DAMAGE FACTOR

DESIGN DATA REQUIRED

Tag Installation date Date RBI Study

Type of Equipment Diameter Length (ft)

Material Corrosion Allowance Minimum Thickness (in)

Tensile Strength (psi)

Yield Strength (psi)

Weld Joint Efficiency

Condition of Operation

Pressure Temperature (°F)

BASIC DATA REQUIRED

Number of Inspections Effectiveness A Trust in Information ?

Number of Inspections Effectiveness B Inspection Date

Number of Inspections Effectiveness C

Number of Inspections Effectiveness D Measured Thickness

Tabla de Efectividad

Corrosion Rate

Metal Base Corrosion Rate (Cr,bm) mpy

Equipo con Recubrimiento

Rata de Corrosión (Cr,cm) mpy

CALCULATIONS

F OM

Thinning

On-Line Monitoring

F OM ---

Adjustment Factors

F IP

Contains an injection/mix F IP ---

F DL

Contains Dead Legs F DL ---

D thin f Load

Fig. 3 Interfaz Secundaria de Factor de Daño de Adelgazamiento General.

Resultado:

El resultado del valor del riesgo del equipo estático evaluado se presenta en forma gráfica (Ver. Fig. 5) equivalente para los valores establecidos en la norma. Adicionalmente el resultado también se presenta en la interfaz principal (Ver. Fig. 1)

CONSEQUENCE OF FAILURE LEVEL 1

TYPE FLUID

Select Representative Operating temperature °F Flow rate ft/s

See Reference Table

Operating Pressure Psig Viscosity Cp

EQUIPMENT

Type of Equipment

Determine the fluid phase

Phase of Fluid at Normal Operating (Storage)

Phase of Fluid at Ambient (after release) Conditions

PROPERTIES

Properties by Default. Enter Properties.

Stored Liquid

Stored Liquid?

Liquid lb/ft³

Auto-ignition °F

Normal Boiling °F

Stored Vapor or Gas

Stored Vapor or Gas?

Molecular Weight lb/lbmol

Auto-ignition °F

Normal Boiling °F

Calculate Specific Heat J/Kmol-K

Calculate Constant K

CALCULATE NEXT CLOSE

Fig. 4: Interfaz Secundaria de Consecuencia Nivel I.

Las pruebas de validación de los cálculos ejecutados en la herramienta informática se realizaron con información que solo tenían como objetivo obtener la veracidad de dichos cálculos establecidos en la norma API 580/581 (2016), en cada uno de sus componentes, de probabilidad y consecuencia.

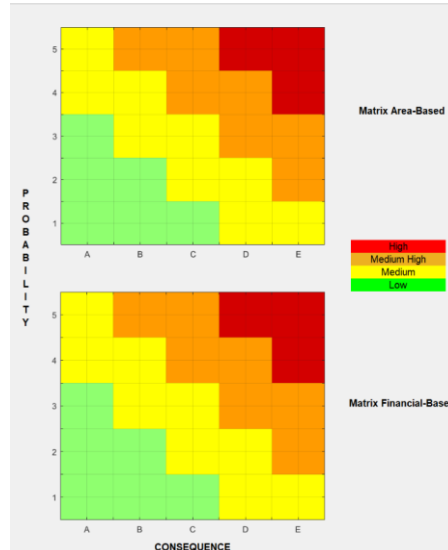


Fig. 5: Matriz de Riesgo.

CONCLUSIONES

El desarrollo de la herramienta informática se logró satisfactoriamente cumpliendo a cabalidad el alcance y los objetivos definidos, dado que el software implementado completó adecuadamente las pruebas realizadas, en la evaluación de los diferentes factores de daño propuestos en la norma y el modelo de consecuencias de una potencial pérdida de contención de un activo estático.

Gracias a la realización de este proyecto y teniendo en cuenta que existen en el mercado diversos software que ofrecen los mismos o mejores aplicaciones para el análisis de riesgo; se consiguió elaborar una herramienta que facilitara la gestión de integridad en la industria de petróleo y gas en Colombia y con ella empezar la transición de un mantenimiento reactivo a uno proactivo.

A partir del desarrollo de esta herramienta informática se logra poner en conocimiento una metodología de inspección basada en riesgo bajo el procedimiento de la norma API 580/581-2016 y junto a ella lograr una gestión de integridad que ayude al mejoramiento de una planta y el buen manejo económico con respecto a paradas inesperadas. Es por esto que la realización de este tipo de proyectos contribuye a la gestión de integridad en la industria de petroquímica Colombiana.

El software desarrollado y presentado en este trabajo puede mejorarse en muchos aspectos, tales como el funcionamiento y las facilidades en que el usuario tenga para el manejo y almacenamiento de los datos, en donde la especificación de un plan de inspección se pueda lograr.

AGRADECIMIENTOS

A los docentes de Posgrado de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

REFERENCIAS

1. API-American Petroleum Institute Recommended Practice 580 (2016). *Risk-Based Inspection* (3 ed.). Washington.
2. API-American Petroleum Institute Recommended Practice 581 (2016). *Risk Based Inspection Technology* (3 ed). Washington.
3. American Petroleum Institute Recommended Practice 571 (2011). *Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry* (2 ed). Washington.
4. Helle, H.P.E. (2014). *Integrity Management Beyond RBI*. ICPVT-13 Corrosion Control.Nu, Mauvestraat 5, 2596XN Den Haag, Netherlands Recuperado de <http://www.corrosioncontrol.nu/Publications/BeyondRBI.pdf>.
5. Zhaoyang, T., Jianfeng, L., Zongzhi, W., Jianhu, Z., & Weifeng, H. (2015). An evaluation of maintenance strategy using risk based inspection. *Safety Science*, 49, (6) 852-860.