

**PLAN DE GESTIÓN BASADO EN METODOLOGÍAS DE ESTIMACIÓN DE
RIESGO EN EQUIPOS ESTÁTICOS DE UNA REFINERÍA**

RAMÓN EDUARDO REY VALDIVIESO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBURO
BUCARAMANGA**

2016

**PLAN DE GESTIÓN BASADO EN METODOLOGÍAS DE ESTIMACIÓN DE
RIESGO EN EQUIPOS ESTÁTICOS DE UNA REFINERÍA**

RAMÓN EDUARDO REY VALDIVIESO

**Monografía de grado presentado como requisito para optar al título de
Especialista en Gerencia de Hidrocarburos**

Directora:

KATHY MARGARITA DAZA

Ingeniera Industrial

Magíster en Gestión en la industria de los Hidrocarburo

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBURO
BUCARAMANGA**

2016

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1. EQUIPOS ESTÁTICOS Y RIESGOS ASOCIADOS AL NEGOCIO DE REFINACIÓN..... | 12 |
| 1.1 REFINERÍA..... | 13 |
| 1.1.1 Tipos de Refinería..... | 13 |
| 1.1.2 Unidades de una Refinería | 15 |
| 1.1.3 Tipos de Equipos de una Refinería..... | 17 |
| 1.1.3.4 Equipos Estáticos | 18 |
| 1.2 TIPOS DE RIESGOS DE UNA REFINERÍA | 19 |
| 1.2.1 Mecanismos de daños de Equipos estáticos de una Refinería..... | 21 |
| 2. DOCUMENTACIÓN DE LAS DIFERENTES METODOLOGÍAS PARA VALORAR EL RIESGO EN EQUIPOS ESTÁTICOS EN UNA REFINERÍA. | 27 |
| 2.1 HERRAMIENTAS CUALITATIVAS PARA IDENTIFICAR PELIGROS..... | 28 |
| 2.2 HERRAMIENTAS CUANTITATIVAS PARA IDENTIFICAR PELIGROS | 29 |
| 2.3 ANÁLISIS DE RIESGO..... | 30 |
| 2.3.1 Probabilidad de Falla | 31 |
| 2.3.2 Consecuencia de Falla | 32 |
| 2.3.3 Calculo del riesgo | 34 |
| 3. GESTIÓN DE ACTIVOS Y MANEJO DEL RIESGO | 35 |
| 3.1 GESTIÓN DE ACTIVOS SEGÙN PAS-55 | 35 |
| 3.1.1 Política, estrategia, objetivos y planes. | 37 |
| 3.1.2 Controles y Facilitadores..... | 38 |
| 3.1.3 La Identificación y evaluación del riesgo..... | 38 |
| 3.1.4 Implementación de planes | 40 |
| 3.1.5 Desempeño y mejora | 41 |
| 3.1.6 Revisión | 41 |
| 3.2 ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO SEGÙN API 760..... | 42 |

| | |
|--|----|
| 4. GENERACIÓN DE UNA METODOLOGIA DE GESTIÓN BASADA EN RIESGO PARA EQUIPOS ESTÁTICOS DE UNA REFINERÍA | 48 |
| 4.1 EVALUACION DE LA APLICABILIDAD DEL PLAN DE MANEJO DE ACTIVOS INDUSTRIALES ESTATICOS DE UNA REFINERIA | 48 |
| 4.1.1 Ejemplo de la metodología de manejo de activos: | 54 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 68 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Unidades de procesos de una Refinería de complejidad alta | 16 |
| Figura 2. Categorización de relación de diferentes mecanismos de daño | 24 |
| Figura 3. Matriz de Riesgo | 31 |
| Figura 4. Escenarios accidentales que derivan de la radiación térmica..... | 33 |
| Figura 5. Escenarios que se derivan de sobrepresión. | 33 |
| Figura 6. Escenarios que se derivan de gases | 34 |
| Figura 7. Otras categorías de activos. | 36 |
| Figura 8. Esquema de identificación de riesgos..... | 45 |
| Figura 9. Valoración de aplicabilidad del modelo de gestión de activos | 49 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Índice de complejidad según W.L. Nelson | 14 |
| Tabla 2. Índice de complejidad de una Refinería a nivel mundial | 15 |
| Tabla 3. Factores críticos para identificar algunos mecanismos de daño | 23 |
| Tabla 4. Sistema de aleaciones | 25 |
| Tabla 5. Ejemplos de típicos procesos de refinería, posibles sustancias reguladas y aspectos cubiertos por RMP | 43 |
| Tabla 6. Ejemplo de etapa ciclo de vida de los equipos estáticos | 57 |
| Tabla 7. Ejemplo de costos de mantenimiento de los equipos estáticos | 57 |
| Tabla 8. Identificación y valoración del riesgo por equipos | 61 |
| Tabla 9. Matriz de riesgo de los equipos estáticos de la Refinería "NORMAL": | 63 |
| Tabla 10. Relación Costo, riesgo y desempeño..... | 67 |

RESUMEN

TITULO: PLAN DE GESTIÓN BASADO EN METODOLOGÍAS DE ESTIMACIÓN DE RIESGO EN EQUIPOS ESTÁTICOS DE UNA REFINERÍA*

AUTOR: RAMÓN EDUARDO REY VALDIVIESO**

PALABRAS CLAVES: Gestión, Activos, Riesgo, Equipos Estáticos

DESCRIPCION:

El presente trabajo tiene como objeto dar al profesional que ejerce el rol de administrador o dar a un gerente en la industria de hidrocarburo, una visión global sobre el manejo de activos industriales de una refinería, en este caso en particular los equipos estáticos.

La metodología presentada está basada en los estándares de manejo de activos PAS 55, plan de manejo de riesgo en una refinería API 760 y las herramientas más utilizadas para el diseño, operación y mantenimiento de equipos estáticos.

La monografía resume en una lista de chequeo los aspectos o elementos claves para la gestión de activos, mediante unos pesos o puntajes asignados a una serie de preguntas, el usuario puede valorar el nivel de implementación de la metodología de gestión de activos basados en el riesgo en una refinería, como también si la refinería cuenta o no con un plan de manejo de riesgo.

Adicionalmente, se coloca en blanco y negro el estándar internacional de manejo de activos y se relaciona las diferentes etapas de la implementación de este con las diferentes técnicas de valoración de peligros, riesgos, mantenimiento, confiabilidad y costos que el refinador conoce y usa en el día a día, para que de esta haga de la gerencia un camino más expedito, esto ayuda al negocio a manejar el concepto claro y conciso para tomar las decisiones adecuadas en el marco de los activos industriales.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Directora: Kathy Margarita Daza, Ingeniero Industrial, Magíster en Gestión en la industria de los Hidrocarburo.

ABSTRACT

TITLE: MANAGEMENT PLAN BASED ON ESTIMATED RISK METHODOLOGIES IN STATIC EQUIPMENT A REFINERY^{*}

AUTHOR: REY VALDIVIESO RAMON EDUARDO^{**}

KEYWORDS: Management, Assets, Risk, Static Equipment

DESCRIPTION:

This paper aims to give the professional who plays the role of administrator or give a manager in the hydrocarbon industry, an overview of the management of industrial assets of a refinery in this particular case static equipment.

The methodology presented is based on standards PAS 55 asset management, risk management plan in refinery API 760 and the tools used for the design, operation and maintenance of static equipment.

The monograph summarizes in a checklist aspects or key elements of asset management, by mean of assigning weights or scores to a series of questions, the user can assess the level of implementation of the methodology asset management based on risk in a refinery and if the refinery has or has not a risk management plan.

In addition, It is placed black and white the international standard of asset management and link together the various stages of the implementation of this with the different valuation techniques of hazard, risk, maintenance, reliability and cost the refiner knows and uses every day, so that this makes management a more expeditious way, this helps the business to handle a clear concept and concise to make appropriate decisions within the framework of industrial assets.

* Work degree

** Faculty of Physical and Chemical Engineering. School of Petroleum Engineering. Director: Kathy Margarita Daza, Industrial Engineer, Master in Management in the hydrocarbon industry.

INTRODUCCIÓN

En los primeros capítulos se contextualiza el concepto de Refinería, unidad de proceso, y tipologías de equipos que las comprenden, adicionalmente se hace énfasis en los incidentes de procesos generados por fallas de equipos.

Los equipos estáticos tienen una probabilidad de falla de acuerdo a los mecanismos de daño presente, y por ende representan un riesgo para la operación, ambiente y personas.

Lo que metodología de manejo de activos, abarca es la administración de los equipos desde sus etapas tempranas de vida hasta su desincorporación, soportada en las diferentes herramientas del negocio para evaluar desempeño, condición, costos y riesgo.

La información contenida en esta metodología está dada en forma de ejemplo sobre una situación hipotética para los equipos estáticos de una refinería básica cualquiera, el número de equipos y riesgos valorados son mencionados para ambientar al consultante sobre cómo medir el grado de implementación del plan de gerenciamiento de activos en algunos escenarios, de ninguna manera estos datos son apropiados para aplicar en un ejercicio real específico. Adicionalmente con el uso de la metodología planteada el consultante podrá valorar cómo y en qué etapa de la vida útil de sus equipos estáticos, la refinería tiene implementado un programa de gestión de activos.

Al final se encuentra una lista de chequeo con una serie de preguntas que abarcan todos los elementos necesarios para gestionar los equipos estáticos en base a riesgo.

1. EQUIPOS ESTÁTICOS Y RIESGOS ASOCIADOS AL NEGOCIO DE REFINACIÓN

La industria de los hidrocarburos se divide en tres negocios, los cuales responden al orden en la cadena de producción, el primer negocio es el de exploración y producción que por su nombre en Ingles se conoce como *UP-STREAM* y es la primera etapa, donde se identifica los bloques potenciales, se exploran o perforan y se extrae la materia prima, el “Crudo” ,la siguiente etapa es el transporte que por sus siglas en ingles se conoce como *MIDDLE-STREAM*, y comprende de transportar el “crudo” desde los campos de producción a las refinerías de petróleo por medio terrestre, marítimo o por tubo y el ultimo que es el *DOWN-STREAM* o negocio de refinación, es este está contemplado el transporte y la comercialización de los productos, dentro del anterior contexto podemos concluir que cada unidad de negocio puede tener un manejo estratégico y táctico diferente, dependiendo de los riesgos asociados, adicionalmente los activos, instalaciones, procesos, estructuras, normativas y legislaciones pueden también variar.

Por tal motivo para conocer el “como” de un plan de manejo de activos debemos conocer los riesgos propios del negocio de la refinación, y por tal razón es necesario contextualizar los conceptos básicos de una refinería, su clasificación, complejidad, productos, unidades que la comprenden, tipos de equipos estáticos, especialidades, peligros asociados al proceso, posibles fallas, entre otros para así, conocer el riesgo que está presente en la industria de la refinación.

1.1 REFINERÍA

Una refinería de petróleo es un complejo industrial, el cual depende de una materia prima, para transformarla en una serie de productos, la refinería “carga” crudo para obtener una serie de sub-productos y productos que cumplen unas especificaciones establecidas, los productos de mayor relevancia para una refinería son los combustibles, sin embargo en ese proceso se obtiene otros “cortes” que a su vez son “cargas” para otras unidades, como las petroquímicas, las cuales ofrecen al mercado otros insumos necesarios para fabricar productos de consumo final y abastecer un mercado local regional y nacional, mercados como el automotriz, transporte, belleza, textil, vial, entre otros.

1.1.1 Tipos de Refinería. A nivel mundial existen varios tipos de refinerías, la diferencia de un tipo y otro son las de unidades de proceso que la comprende y su capacidad de conversión, la conversión es la transformación de la materia prima a productos valiosos.

Las refinería de menor grado de complejidad se conocen como las *Topping*, las cuales se caracterizan por tener una torre (equipos estático) llamada columna de destilación, estas son las refinerías simples, dependiendo del tipo de crudo que se cargue se pueden tener procesos químicos adicionales o secundarios, los cuales trabajan sobre las cadenas de los hidrocarburos, estos procesos pueden ser el craqueo o rompimiento de cadenas de hidrocarburos, o también tratamientos para la eliminación de azufre.

El nivel de complejidad de cada refinería básicamente se centra en el poder de conversión secundaria que tiene, este grado de complejidad se puede medir con el índice de Nelson, este índice fue desarrollado por W.L. Nelson en 1960. A

continuación se muestra una tabla donde se resume el índice de complejidad dado a cada proceso de refinación:

Tabla 1. Índice de complejidad según W.L. Nelson

| GENERALIDADES DEL ÍNDICE DE COMPLEJIDAD DE UNA REFINERÍA | |
|--|--------|
| Proceso de Refinación | Índice |
| Destilación atmosférica | 1 |
| Destilación al vacío | 2 |
| Procesos térmicos | 5 |
| Rompimiento térmico | 2,75 |
| Viscoreducción | 2,75 |
| Retardamiento | 6 |
| Coquización, otro | 6 |
| Rompimiento Catalítico | 6 |
| Reformado Catalítico | 5 |
| Hidro rompimiento Catalítico | 6 |
| Hidrorefinado Catalítico | 3 |
| Hidrotratamiento Catalítico | 2 |
| Proliferación/Alquilación | 10 |
| Isomerización/Aromáticos | 15 |
| Lubricantes | 10 |
| Lubricantes | 10 |
| Asfaltos | 1,5 |
| Hidrogeno | 1 |
| Oxigenantes | 10 |

Fuente: Revista *Oil&Gas Journal* (en línea). Consultado el 4 de julio 2015 en <http://www.ogj.com/articles/print/volume-94/issue-12/in-this-issue/general-interest/refining-report-complexity-index-indicates-refinery-capability-value.html>

Tabla 2. Índice de complejidad de una Refinería a nivel mundial

| WORLDWIDE REFINERY COMPLEXITY | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Region | No. of refineries | Distillation capacity, b/cd | Catalytic cracking, b/cd | Catalytic reforming, b/cd | Nelson complexity index | Equivalent distillation capacity | Average refinery size, b/cd | Average EDC, 1,000 b/cd |
| Middle East | 49 | 6,147,420 | 309,440 | 635,973 | 4.2 | 25,747,457 | 125,458 | 525 |
| Latin America | 80 | 6,384,930 | 1,319,854 | 402,360 | 4.7 | 30,079,429 | 79,812 | 376 |
| Africa | 44 | 2,806,971 | 173,580 | 331,348 | 3.3 | 9,245,757 | 63,795 | 210 |
| Europe | 116 | 14,511,763 | 2,215,010 | 2,275,858 | 6.5 | 94,280,399 | 125,101 | 813 |
| Asia | 135 | 14,675,291 | 2,209,105 | 1,654,269 | 4.9 | 71,467,873 | 108,706 | 529 |
| C.I.S. | 56 | 10,080,951 | 526,571 | 1,247,587 | 3.8 | 38,353,278 | 179,660 | 685 |
| Other | 32 | 2,671,694 | 321,334 | 366,504 | 5.3 | 14,283,870 | 83,490 | 446 |
| Canada | 23 | 1,848,450 | 379,000 | 349,500 | 7.1 | 13,204,820 | 80,367 | 574 |
| U.S. | 169 | 15,354,140 | 5,283,450 | 3,623,193 | 9.5 | 145,732,015 | 90,853 | 862 |
| World total | 705 | 74,451,610 | 12,737,144 | 10,886,592 | 5.9 | 442,394,898 | 105,605 | 628 |

*Source: Oil & Gas Journal (see bibliography)

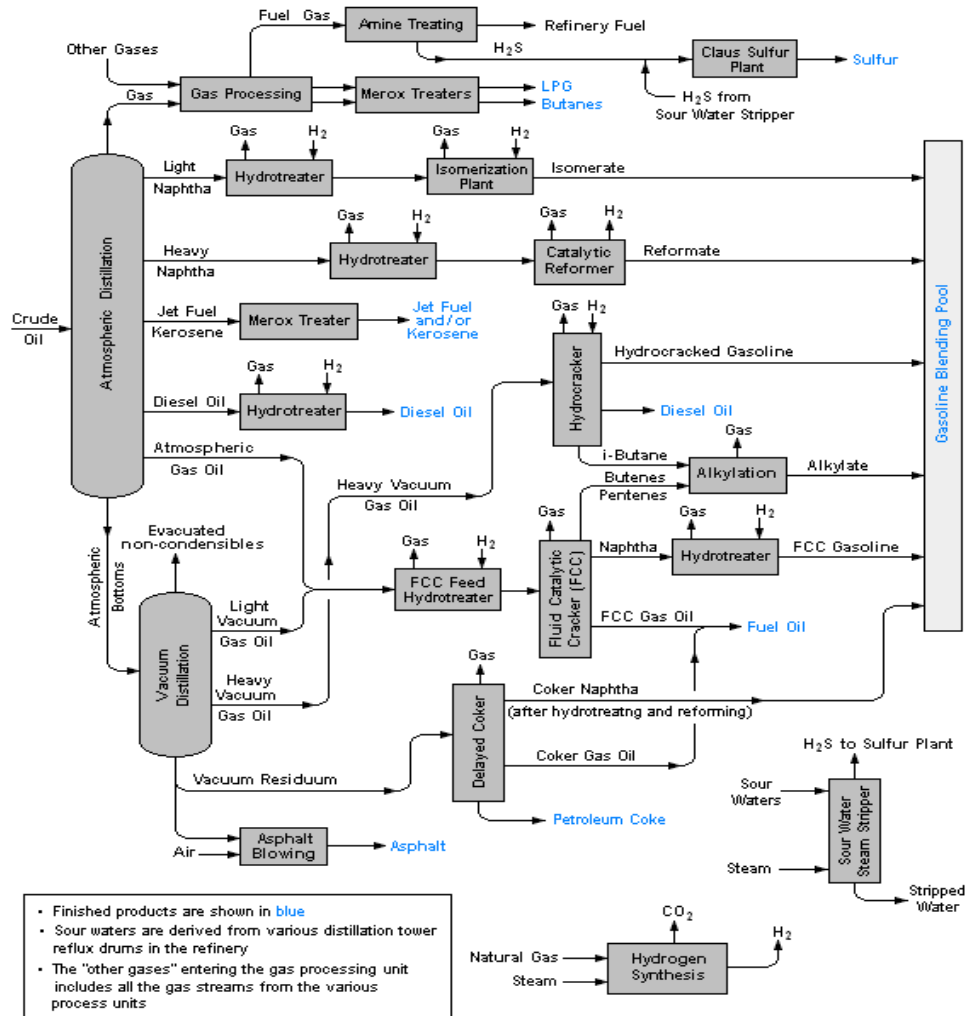
Fuente: Revista *Oil&Gas Journal* (en línea). Consultado el 4 de julio 2015 en <http://www.ogj.com/articles/print/volume-94/issue-12/in-this-issue/general-interest/refining-report-complexity-index-indicates-refinery-capability-value.html>

1.1.2 Unidades de una Refinería. Conocido el grado de complejidad de la refinería se debe conocer específicamente las unidades de proceso que la conforman, estas unidades son las encargadas de convertir la materia prima en sub-productos y productos finales, las refinerías de mayor complejidad pueden tener las siguientes unidades:

- Destilación (Unidades Atmosféricas y de vacío)
- Conversión (Craqueo catalítico, craqueo con hidrogeno)
- Mejoramiento (Isomerización, Alquilación, hidrotratamiento)
- Mezclado
- Tratamientos de efluentes (Aguas Acidas, Aminas)
- Servicios auxiliares

A continuación se presenta un gráfico resumen de la correlación del proceso de conversión y las unidades de una refinería:

Figura 1. Unidades de procesos de una Refinería de complejidad alta



Fuente: Wikipedia "Oil Refinery" (en línea) en Wikipedia la enciclopedia libre, 2016 consulta Enero 25 de 2016. Disponible en https://en.wikipedia.org/wiki/Oil_refinery#

Cada unidad está formada por familias de activos, estas especialidades de equipos son: rotativos, equipos estáticos (almacenamiento, tubería, vasijas a presión, entre otros), estructuras civiles, sistemas de control y emergencia, alarmas, vías y/o alimentación energética entre otros.

1.1.3 Tipos de Equipos de una Refinería. Podemos clasificar los equipos utilizados en las diferentes unidades de una refinería como:

1.1.3.1 Equipos Eléctricos

- Transformadores
- Actuadores
- Cables de poder y control
- Unidades de respaldo
- Cable eléctrico para calentar

1.1.3.2 Equipos de control.

- Válvula de control/de corte
- Cheques
- Válvulas de seguridad y/o alivio de presión
- Medidores de temperatura, nivel, presión
- Controladores de velocidad
- Medidores de Flujo
- Detectores de gas y de llama
- Analizadores
- Sistemas de alarma

1.1.3.3 Equipos Rotativos.

- Bombas centrífugas.
- Bombas de desplazamiento positivo.
- Compresores centrífugos.
- Compresores reciprocantes.

- Turbinas de vapor.
- Ventiladores.
- Sistemas de aire acondicionado y refrigeración.

1.1.3.4 Equipos Estáticos. Las tuberías o recipientes sometidos o no a presión son utilizados en la industria para almacenar, contener o transportar fluidos bajo unas condiciones específicas de operación, para entender las diferentes tipologías de equipos estáticos podemos clasificarlos de la siguiente manera:

Tubería. Son tubos o cilindros de pared delgada diseñados para contener fluidos a un rango de presión y temperatura específica, la tubería es usada para transportar los fluidos de una unidad a otra, de un equipo a otro, para recibir o sacar los productos del complejo de refinación, las tuberías utilizadas en una planta o refinería se conocen comúnmente como tubería de proceso y están construidas por diferentes métodos y de diferentes materiales, el material más común es el acero al carbono, se hace claridad que los sistemas de tubería se diseñan de diferentes diámetros y diferentes tipos, tales como tubería roscada, de socket y tubería para soldar

Recipientes a Presión. Normalmente se les conoce a los recipientes de este tipo a los equipos que diseñados para trabajar a presiones mayores de 15 psi y que no están sometidos a fuego directo. Los diferentes equipos a presión que encontramos en una refinería son:

- Tratadores
- Separadores
- Filtros
- Intercambiadores de Calor casco/tubos
- Aero enfriadores
- Eyectores

- Reactores
- Torres
- Coalescedores
- Tambores

Hornos. Los hornos se clasifican según el diseño de su caja y el arreglo de los tubos.

Calderas. Son de tipos de tubos con agua o de tubos de fuego

Tanques de Almacenamiento. Estos equipos cumplen la función de almacenar, productos, sub-productos o fluidos necesarios para los procesos intermedios de una refinería, los tanques utilizados para almacenar fluidos intermedios no son de grandes capacidades, los tanques para almacenamiento de productos pueden llegar al orden de 200.000 a 1000000 de barriles, dependiendo del fluido que almacenan pueden ser construidos de diferentes tipos de techo (Geodésico, flotante, cónico, entre otros) y se clasifican en dos tipos:

- Tanques atmosféricos
- Tanques de baja presión (menor a 15 psi)

1.2 TIPOS DE RIESGOS DE UNA REFINERÍA

El riesgo es la combinación de la probabilidad y la consecuencia, probabilidad que algún evento ocurra durante un periodo de tiempo de interés y las consecuencias que generen los peligros liberados, la complejidad de analizar el riesgo está en función del número de factores que lo afecten y el gran espectro de métodos disponibles para evaluarlo.

Los riesgos que podemos identificar en una refinería y que normalmente están expuestos la industria del petróleo y gas son:

- Riesgo a las personas
- Riesgo de daño ecológico
- Riesgo de daños materiales
- Riesgo a pérdidas económicas al negocio

Para evaluar el riesgo en los equipos estáticos en una refinería se puede seguir la metodología establecida por el instituto americano de petróleos en su práctica recomendada API 580/ API 581, metodologías que citan una progresión lógica para el análisis, la cual se resumen de la siguiente manera:

- Recolectar y validar la información necesaria para el estudio
- Identificar los mecanismos de daño relacionados y modo de daño de los equipos estáticos.
- Determinación de velocidades de corrosión y susceptibilidad al daño
- Determinar la probabilidad de daño
- Determinar el modo de falla creíble
- Identificar los escenarios de consecuencia posibles creíbles que resulten del modo de falla determinado.
- Determinar la probabilidad de cada consecuencia
- Determinar el riesgo, incluyendo el análisis de sensibilidad. (Ref. 580)

La materialización de un riesgo puede traducirse en el incidente de seguridad de procesos el cual es la alineación de una serie de fallas y no de un único evento.

1.2.1 Mecanismos de daños de Equipos estáticos de una Refinería. Los equipos estáticos son susceptibles a varios tipos de daño por varios mecanismos mecánico, metalúrgicos o corrosivos, los tipos de daño y mecanismos más comunes en recipientes a presión son los siguientes:

Perdida de material general o localizada

- Sulfatación
- Oxidación
- Corrosión inducida microbiológicamente
- Corrosión por ácido naftenico
- Erosión/Corrosión-Erosión
- Corrosión Galvánica

Agrietamiento superficial

- Fatiga
- Agrietamiento por esfuerzos por corrosión caustica
- Agrietamiento por esfuerzos por corrosión Sulfhídrica

Agrietamiento sub-superficial

- Agrietamiento inducido por Hidrogeno

Cambios Metalúrgicos

- Grafitización
- Fragilización por temperado. (*Temper embrittlement.*)

Ampollamiento

- Ampollamiento por Hidrogeno

Cambios Dimensionales

- Rotura por esfuerzos y por cargas a razón del tiempo y temperatura (*Creep*)
- Térmicos

Cambios en las propiedades del material

- Fractura frágil

Los mecanismos de daño generan en los equipos estáticos degradación en el material, manifestándose por medio de pérdida de espesor de pared (agujero) o por una fisura, lo anterior lo conocemos como el modo de falla, estos dos (2) modos de falla se pueden ampliar con la siguiente descripción: los mecanismos de daño por corrosión generalizada y localizada que son los que se manifiestan por medio de un agujero en la pared del equipo o tubería, el otro modo de falla se manifiesta por los por un agrietamiento del material, lo anterior origina pérdidas de contención del fluido y puede acarrear consecuencias al medio ambiente, personas o a los activos.

Ósea, que los agujeros podemos relacionarlos con mecanismos de daño de corrosión y la ruptura con mecanismos de daño tales como: cambios metalográficos, cambios de propiedades de material, ampollamiento, cambios dimensionales, normalmente en la industria se presentan en una gran mayoría las pérdidas de contención por mecanismos de corrosión.

El material de construcción, el fluido, el diseño, el proceso de fabricación y las condiciones de operación son factores que pueden activar un mecanismo de daño en un equipo estático. A continuación se presenta una guía con algunos mecanismos de daño que se presentan en refinación, tenemos que saber que el mecanismo de daño depende de las anteriores premisas¹. En la tabla 3 se realiza un resumen con algunos mecanismos de daño y los factores críticos según el

¹ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Pressure Vessel Inspection Code: Maintenance Inspection, Rating, Repair, and Alteration, API 510, USA 2009

estándar API 571², por cada mecanismo relacionado en la tabla se marca con una “X” el factor crítico que puede influir para que esté se active, la figura 2 muestra una correlación grafica con los cuatro factores predominantes en la activación de un mecanismo de degradación una falla (Temperatura, erosión, corrosión y esfuerzos):

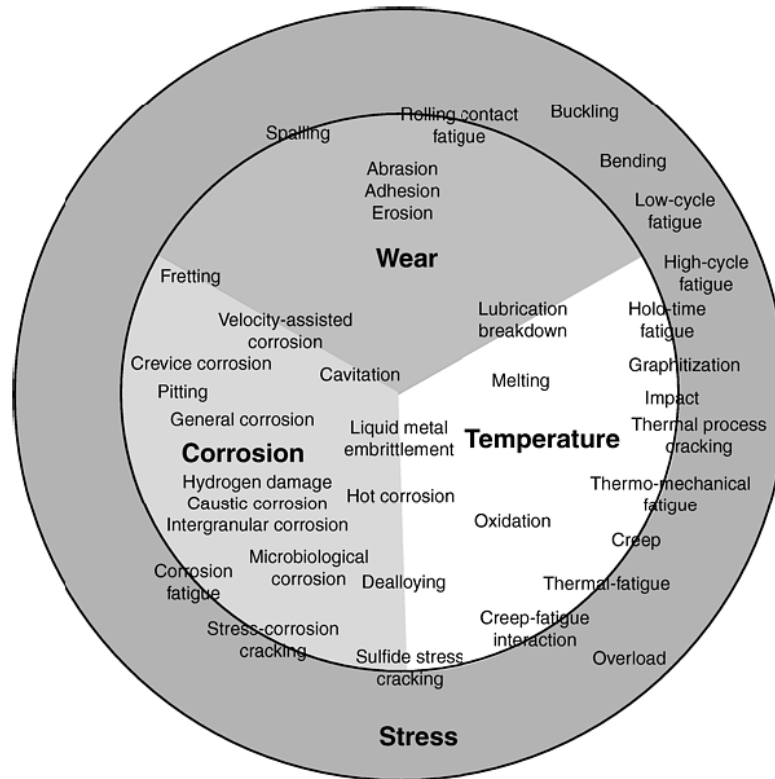
Tabla 3. Factores críticos para identificar ciertos mecanismos de daño

| MECANISMO DE DAÑO | FACTORES CRÍTICOS | | | | | | | | |
|--|-------------------|---------|------------------|----|-----------------|-----------|-----------|----------|--------|
| | Temperatura | | Comp. del Fluido | Ph | Celda Galvánica | Velocidad | Esfuerzos | Historia | Diseño |
| | < 450 °F | > 450°F | | | | | | | |
| Sulfidación | | X | X | X | | | | | |
| Oxidación | | X | | | | | | | |
| Corrosión inducida microbiológicamente | X | | X | | | X | | | X |
| Corrosión por ácido naftenico | X | | X | X | | | | | |
| Erosión/Corrosión-Erosión | X | | | X | | X | | | X |
| Fatiga | | | | | | | X | X | X |
| SCC por cloruros | X | X | X | X | | | X | | |
| Agrietamiento inducido por Hidrogeno | X | X | X | | | | X | | |
| Grafitización | | X | | | | | X | X | |
| SCC por corrosión Sulfhídrica | X | | X | X | | | X | | X |
| Corrosión Galvánica | | | | | X | | | | |
| Fragilizacion por temperado | | X | | | | | | X | |
| Ampollamiento por Hidrogeno | X | X | X | X | | | X | | |
| Rotura por esfuerzos y Creep* | | X | | | | | X | | |
| Fatiga Térmica | | | | | | | X | | X |
| Fractura frágil | X | | | | | | X | | X |

*Fragilizacion por cargas dependientes del tiempo y temperatura

² AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry, API 571, USA 2011.

Figura 2. Categorización de relación de diferentes mecanismos de daño



Fuentes: AMERICAN SOCIETY OF METALS (ASM) Metals handbook Volume 11. Pág. 744

Cabe resaltar que la correlación del tipo de fluido contenido, tratado o transportado en un equipo estático y el material con el cual haya sido construido puede activar el mecanismo de daño y por consiguiente llevar a una pérdida de contención, por tal razón se muestra en la tabla 4 la relación de los materiales y fluidos más comunes de la industria de la refinación para relacionar la susceptibilidad de daño en un equipo estático.

En resumen existen mecanismos de daño que dependen únicamente de un factor y otros que dependen de la existencia de más de un factor y dependiendo de los niveles, rangos o concentraciones presentes de cada factor, adicionalmente cada material puede ser susceptible o no a un fluido determinado.

Tabla 4. Sistema de aleaciones

| Ambiente | Sistema de Aleaciones | | | | | | |
|--|-----------------------|------------------|---------------------|----------------------|--------------------|--------|--------------|
| | Aluminio | Acero al carbono | Aleaciones de Cobre | Aleaciones de Níquel | Aceros Inoxidables | | |
| | | | | | Austenítico | Dúplex | Martensítico |
| Aminas, acuoso | | X | X | | | | |
| Armonía, anhídrido | | X | | | | | |
| Armonía, acuoso | | | X | | | | |
| Bromo | | | | | | | |
| Carbonatos, acuoso | | X | | | | | |
| Monóxido Carbón, Dióxido de Carbón, Mezcla de agua | | X | | | | | |
| Cloruros, acuoso | X | | | X | X | X | |
| Cloruros, concentrados, ebullición | | | | X | X | X | |
| Cloruros, secos, alta temperatura | | | | X | | | |
| Solventes clorificantes | | | | | | | |
| Cianuros, acuosos acidificados | | X | | | | | |
| Fluoruros, acuosos | | | | X | | | |
| Ácido Hidroclorídrico | | | | | | | |
| Ácido Hidrofluorico | | | | X | | | |
| Hidróxidos, acuosos | | X | | | X | X | X |
| Hidróxidos, concentrados, alta temperatura | | | | X | X | X | X |
| Metanol más haluros | | | | | | | |
| Nitratos, acuosos | | X | X | | | | X |
| Ácido Nítrico, concentrado | | | | | | | |
| Ácido Nítrico, fuming | | | | | | | |

| Ambiente | Sistema de Aleaciones | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|----------------------|--------------------|--------|--------------|
| | Aluminio | Acero al carbono | Aleaciones de Cobre | Aleaciones de Níquel | Aceros Inoxidables | | |
| | | | | | Austenítico | Dúplex | Martensítico |
| Nitritos, acuoso | | | X | | | | |
| Tetroxido de Nitrógeno | | | | | | | |
| Ácidos Polytionicos | | | | X | X | | |
| Vapor | | | X | | | | |
| Sulfuros más Cloruros, acuoso | | | | | X | X | X |
| Acido sulfuroso | | | | | X | | |
| Agua, alta pureza, altas temperaturas | X | | | X | | | |

Fuentes: AMERICAN SOCIETY OF METALS (ASM) Metals handbook Volume 13

Un ejemplo puede ser: un recipiente que almacene un fluido que su composición química contiene cloruros, de la tabla 4 podemos evidenciar que si el recipiente es de acero inoxidable puede existir la probabilidad de ocurrencia de una falla, adicionalmente tomando referencia la figura 2, tenemos que los factores que tienen relevancia adicional al cloruro y del material, son los esfuerzos, y ampliando con la tabla 3, obtenemos la generalidad de los factores adicionales, factores como la temperatura (temperaturas menores de 140° F es menos probable) y un factor de pH (pH > 2 es más probable).

2. DOCUMENTACIÓN DE LAS DIFERENTES METODOLOGÍAS PARA VALORAR EL RIESGO EN EQUIPOS ESTÁTICOS EN UNA REFINERÍA.

Muchos de los daños a la salud, vidas humanas, ambiente y pérdidas materiales en una refinería se deben a la ocurrencia de incidentes, resultantes de la liberación repentina de corrientes de proceso, a altas presiones, altas temperaturas, gases tóxicos, los cuales pueden traer consecuencias. Las liberaciones de fluido causadas por fallas de equipos y tuberías de proceso puede generar, explosiones, incendios, nubes toxicas o eventos de alta presión que pueden ser peligrosas para las personas en un área extensa³.

Por tal razón en la industria de la refinación se han implementado diversas metodologías de análisis de peligros de procesos, el diseño intrínsecamente seguro⁵ es una de las mejores prácticas en la industria y busca diseñar plantas fáciles de usar que pueden soportar el error humano y fallas en los equipos sin graves efectos sobre la seguridad, el medio ambiente, productividad, y la eficiencia en lugar de agregar al equipo controles de peligros o proteger a las personas de sus consecuencias, otras se listan a continuación⁴:

- What-if, que pasa si?
- Lista de Chequeo
- What-if/lista de chequeo
- Peligros y estudio de operatividad (HAZOP)
- Modo de falla y análisis efecto (FMEA)
- Análisis de árbol de falla (FTA)
- Una metodología equivalente apropiada

³ Perry, Robert H. et al, Perry's Chemical Engineer's Handbook, Seventh edition, The Mc Graw-Hill, 1999, Cap 26.

⁴ OSHA reglas de administración de seguridad de procesos⁵Dowell, 1994, pp 30-34, citado por Perry's 1999 pp 26-7

Los procedimientos para identificar los peligros en los procesos de refinación pueden ser cualitativos o cuantitativos, procesos sistemáticos dirigidos por personal de experiencia y apoyado por un grupo interdisciplinario.

2.1 HERRAMIENTAS CUALITATIVAS PARA IDENTIFICAR PELIGROS:

Lista de Chequeo: una forma simple para aplicar la experiencia en el diseño o diferentes situaciones para que en el futuro no sean repetidos los errores, es una forma general.

What if?: se aplica en cada etapa del proceso, es una serie de preguntas de “¿qué pasa si?” falla un componente o se comete un error en un proceso.

FMEA: Análisis de efectos y modos de Falla, es un estudio sistemático para identificar los modos de falla y sus consecuencias, normalmente se lleva a cabo por personal con experiencia en análisis de riesgo y puede ir acompañado de un árbol de falla.

Diagrama Causa-Consecuencia: Identifica las causas y las consecuencias de determinados escenarios.

Revisión de Facilidades: Ayuda a detectar y prevenir problemas de seguridad en las plantas, puede estar comprendido de inspecciones rutinarias, revisiones pre-arranque entre otros.

HAZOP: Knowlton, 1989; Lees, 1980; CPQRA, 1989, pp. 419–422, Por sus siglas en Ingles “estudios de peligros y operatividad”, se trata de un ejercicio formal y sistemático donde se identifican peligros y desviaciones de diseño y de

operatividad que pueden generar daños a las personas, ambiente y plantas de proceso, el objetivo principal del estudio es identificar y no analizar, o cuantificar los peligros en un proceso, y el resultado es una serie de recomendaciones para prevenir los problemas.

2.2 HERRAMIENTAS CUANTITATIVAS PARA IDENTIFICAR PELIGROS

Índice Cuantitativo de Explosión y Fuego (*Quantitative Fire and Explosion Index F&EI*): *Dow Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide, 1994; Lees, 1980, pp.149–160*, Se utiliza para evaluar el potencial de peligros de incendio y explosiones, el objeto principal es cuantificar el potencial de daños de un evento de incendio y explosión. Enfocado principalmente al potencial daño a la propiedad y a la interrupción del negocio.

Índice de exposición química (*Chemical Exposure Index CEI*): Mide el peligro relacionado con el daño a las personas por liberación de sustancias químicas, el índice relaciona los valores establecidos por la Asociación Americana de Higiene Industrial con las guías de planes de respuesta a emergencia (ERPG), el cual estima rangos de concentración química.

Los peligros son las condiciones como tal que pueden desencadenar un accidente, por esto no se deben confundir con el riesgo, para el riesgo también existen metodologías de estimación en la industria, algunas herramientas cuantitativas de Análisis de Riesgo son:

QRA: Por sus siglas en ingles significan análisis de cuantificación de riesgo, utiliza para identificar otros peligros, para cuantificar, analizar, evaluar, controlar y métodos de administrar los incidentes generados de estos peligros y para evaluar la reducción del riesgo y generar estrategias de control.

El QRA es generalmente comprimido en cinco tareas:

- Identificación de sistemas
- Identificación de peligros
- Evaluación de probabilidades
- Análisis de consecuencias
- Resultados de riesgos

Análisis de árbol de eventos²: Delinea una secuencia desde el evento iniciador y las combinaciones de sistemas de sucesos y fallas.

Análisis de árbol de falla: Describe o dibuja las opciones en el cual las fallas del sistema representado en el árbol de eventos pueden ocurrir.

2.3 ANÁLISIS DE RIESGO

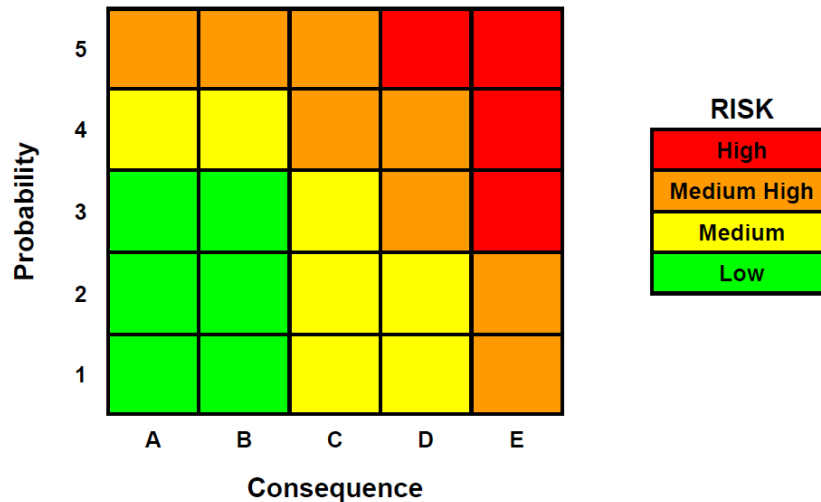
El riesgo es el producto de la probabilidad de falla y la consecuencia del evento⁵.

La probabilidad de falla está relacionada con el modo de falla del equipo, el modo de falla se relaciona al mecanismo de daño del que el equipo es susceptible de acuerdo al servicio, ventanas operativas y materiales con el que es construido.

⁵ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE Recommended Practice Risk-Based Inspection, API 580 Second edition, 2009.

La Matriz de riesgo presentada en la siguiente figura muestra una forma efectiva para clasificar los activos en los diferentes niveles de riesgo, la cual ofrece una manera simple y eficaz para ser interpretada⁶.

Figura 3. Matriz de Riesgo



Fuente: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE API 581 PP. 1-22

2.3.1 Probabilidad de Falla. Mecanismos y Modos de Falla⁷: Los mecanismos de falla son procesos que inducen micro o macro cambios en el material en el tiempo, los cuales son perjudiciales para su condición y sus propiedades mecánicas, a su vez el modo de falla es la manifestación del mecanismo afectando la propiedad de contención del fluido dentro de las paredes del equipo estático, en general los siguientes tipos de daños son encontrados en los equipos estáticos de la industria petroquímica mencionados en el capítulo anterior y que ahora se relacionan con el modo de falla:

⁶ AMERICAN PETROLEUM RECOMMENDED PRACTICE, Risk-Based Inspection Technology, API 581 Second edition, 2008.

⁷ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE RECOMMENDED, Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refinery Industry, API 571 Second edition, 2011.

- Fallas metalúrgicas y mecánicas
- Perdida de espesor uniforme o localizada
- Corrosión a alta temperatura
- Agrietamiento asistido por ambiente

Los modos de falla asociados a los anteriores tipos de daño pueden ser³:

- Fuga por agujero (pinhole)
- Fuga pequeña a moderada
- Fuga mayor
- Ruptura dúctil
- Fractura frágil

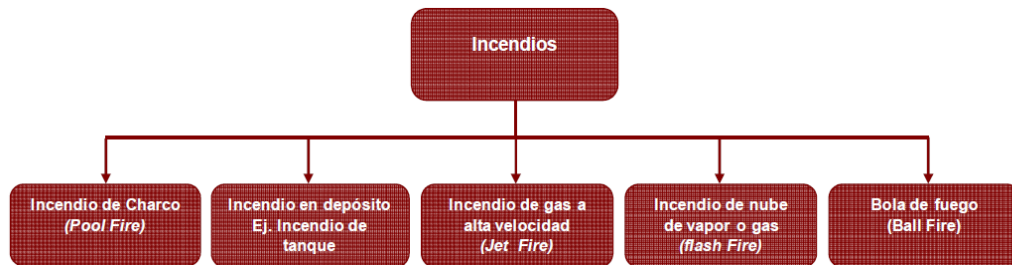
Probabilidad de Falla: Es la condición que un evento suceda en un determinado tiempo, la probabilidad de falla está asociada a la ocurrencia de una pérdida de contención en un equipo estático por la activación de un mecanismo de daño asociado al proceso y al activo.

2.3.2 Consecuencia de Falla: Se evalúa con base al resultado que ocurre debido al mecanismo de falla típicamente relacionado al equipo, y es típicamente categorizada de la siguiente manera:

- Impactos a la salud y seguridad
- Impactos ambientales
- Impactos económicos

2.3.2.1 Escenarios Peligrosos: Los escenarios accidentales que generan el impacto se pueden relacionar con el efecto físico que ocasionan, los incendios pueden clasificarse de la siguiente manera⁸:

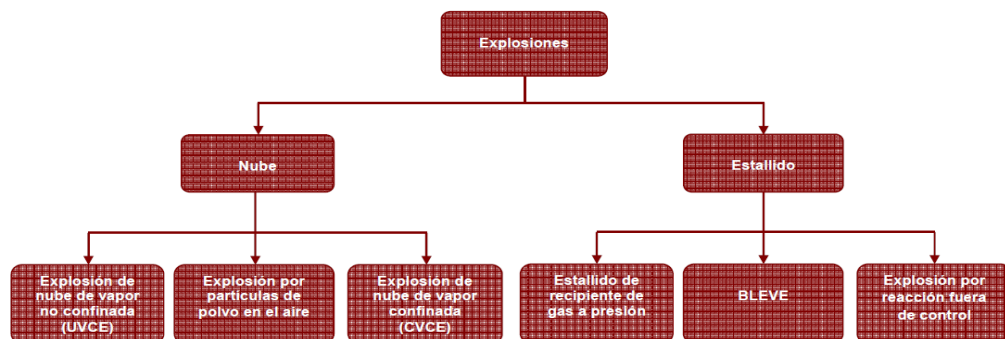
Figura 4. Escenarios accidentales que derivan de la radiación térmica



Fuente: Extraída de la guía Análisis de riesgos de Procesos ARPEL

A continuación se muestra los escenarios derivados de accidentes por sobre presión:

Figura 5. Escenarios que se derivan de sobre presión.

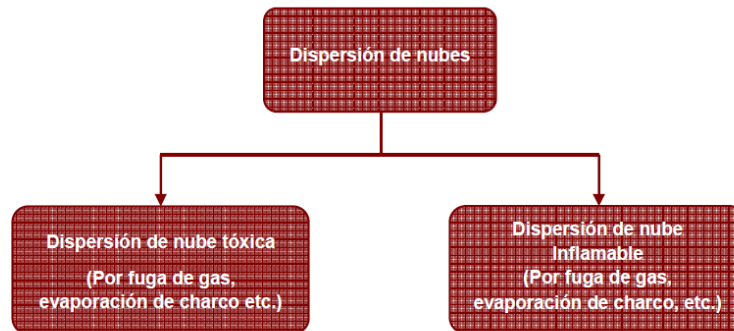


Fuente: Extraída de la guía Análisis de riesgos de Procesos ARPEL

⁸ ASOCIACIÓN REGIONAL DE EMPRESAS DEL SECTOR PETRÓLEO, GAS Y BIOCMBUSTIBLE EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE (ARPEL), Guía Análisis de riesgos de Procesos, MP01-2015 PP 14 (Diapositivas). Marzo 2015.

Adicionalmente a los escenarios generados por fuego y explosión, se relacionan a continuación los escenarios probables de la dispersión de un producto toxico:

Figura 6. Escenarios que se derivan de gases



Extraída de la guía Análisis de riesgos de Procesos ARPEL

2.3.3 Calculo del riesgo. La práctica recomendada del Instituto Americano de Petróleos American *API RP 580*, Inspección basada en riesgo, segunda edición, 2009, PP. 29, determina el cálculo del riesgo de la siguiente manera

- Riesgo es igual al producto de la probabilidad por la consecuencia
- Se calcula el riesgo de cada consecuencia
- Riesgo de la consecuencia especifica = probabilidad de la consecuencia especifica por la Consecuencia especifica.
- Para calcular el riesgo total se multiplica la probabilidad de pérdida de contención por el riesgo de la consecuencia especifica.

3. GESTIÓN DE ACTIVOS Y MANEJO DEL RIESGO

El riesgo en una refinería puede identificarse y valorarse de acuerdo a lo descrito en los capítulos anteriores, ahora ya conocido el riesgo; ¿qué debo hacer?, ¿cómo lo manejo?, ¿qué nivel de riesgo se puede tolerar?, ¿cómo lo puedo administrar? Una refinería puede, o no tener identificado todos sus riesgos, puede, o no estar administrándolo y menos gestionándolo con base a sus activos físicos, por estas razones se crea esta metodología, la cual ayudara identificar si en una refinería se está identificando, administrando y gestionando el riesgo con base a una política de gestión de activos, la metodología de evaluación está basada en un estándar de manejo de activos para la industria en general y un estándar para la administración del riesgo en una la industria de refinación.

A continuación se presenta una vista general siguiendo de los aspectos relevantes de cada uno de los estándares guía:

3.1 GESTIÓN DE ACTIVOS SEGÙN PAS-55⁹

El estándar PAS 55 es una guía de gestión de activos para aplicación a cualquier sector industrial, donde los activos físicos son la clave de cualquier negocio, tomando en cuenta todo el ciclo de vida, desde el diseño, la incorporación, operación, mantenimiento y la des-incorporación.

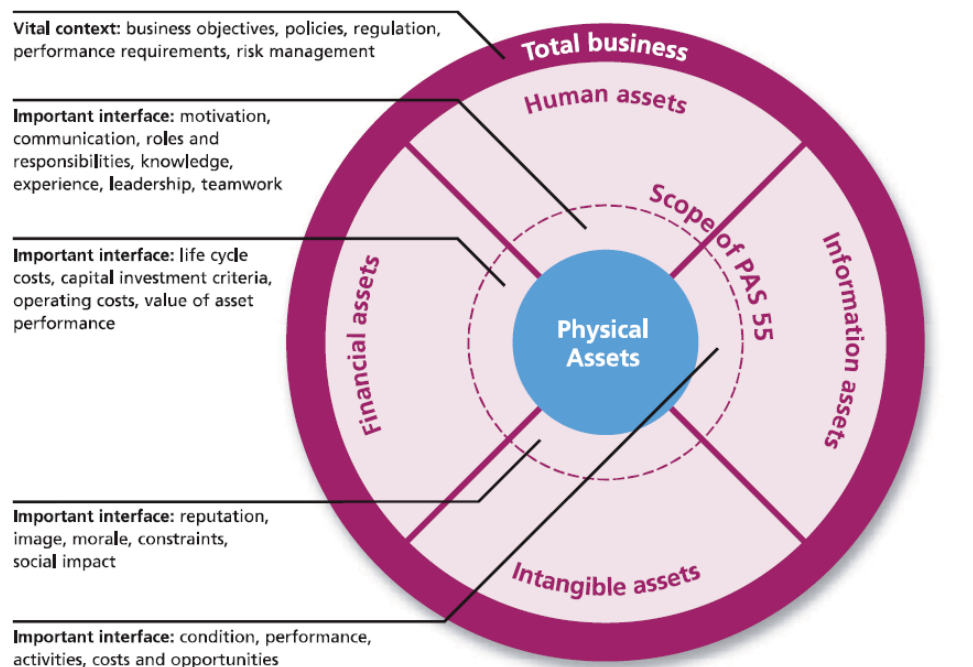
Esta metodología tiene una óptica global de la organización y sus activos, el conocimiento de los activos y el estado general de estos, juegan un papel importante en la estructura organizacional de la empresa, la metodología esta

⁹ BRITISH STANDARDS (BS) Asset Management Part 2 Guidelines for the applications of PAS 55-1, 2008.

cimentada en los diferentes niveles estratégicos, tácticos y operacionales como herramientas administrativas para control y manejo de los activos y el riesgo.

El concepto principal de la metodología abarca el “todo” de la estrategia del manejo de los activos de una empresa y de un negocio, donde lo más importante es su buen desempeño. Cabe resaltar que normalmente no se asocian los costos totales del desempeño de un activo, por esto es importante la gráfica siguiente, referenciada en este estándar, que coloca al usuario en la globalidad del manejo de otros activos (no físicos) y lo importantes que llegan a ser en una organización.

Figura 7. Otras categorías de activos.



Fuentes: *Asset Management Part 2* PASS-55

El gráfico anterior muestra factores que debemos tener en cuenta para una valoración de riesgo adecuada en nuestra organización, de acá lo importante de fusionar los diferentes enfoques de cada metodología, dado que algunos se

enfocan en probabilidad de falla, para unos la consecuencia como segundo plano, otros al contrario, en primer plano la consecuencia, otros el estado actual del activo, unos le dan más fuerza al histórico del activo, en fin de esta forma obtenemos varios puntos de vista y podremos manejar todo un sistema de activos en una organización.

Los diferentes activos físicos en una refinería contribuyen a las metas globales del negocio, aportando a cada unidad productiva, cada activo ofrece diferentes oportunidades para inversión, diferentes desempeños y de igual forma una variedad de riesgos.

3.1.1 Política, estrategia, objetivos y planes. La cultura empresarial de una organización es la base de partida para iniciar con una política de manejo de activos, ej. Políticas propias de manejo de activos, estrategias, objetivos enfocados a resultados del desempeño de los equipos, planes de manejo de riesgo, procesos de optimización y planes de contingencia.

Para establecer objetivos para el manejo de activos, se pueden usar modelos probabilísticos, como una de las formas más confiables de obtener el valor esperado para el negocio. Con los modelos probabilísticos se obtiene un grado alto de confiabilidad, otras maneras de establecer objetivos son los métodos de comparación o de mejoramiento continuo.

Los planes de manejo de activos involucran todo el ciclo de vida del equipo, por esto es fundamental que al trazar estos planes, la organización cuente con la información de los equipos, ej. Históricos de fallas, desempeños, valor del ciclo de vida, costos por unidades o equipos, integración de las estrategias de mantenimiento, tiempos de paradas e impactos al negocio y optimización de recursos, los mismos planes y las estrategias.

3.1.2 Controles y Facilitadores. Los controles y facilitadores, roles y responsabilidades dentro de la estructura organizacional es otro pilar importante en la metodología para manejo de activos, debemos resaltar que dentro de los activos nos enfocamos en los equipos estáticos de la refinería, en actividades de manejo directo, en actividades contratadas o asociadas.

Las competencias, conocimiento y entrenamiento del personal es un punto clave, igualmente la forma de participación, comunicación y consulta para relacionar el riesgo, sin dejar al lado la manera como lo transmitimos a toda la organización. Por esta razón son importantes los sistemas de documentación y el manejo de la información.

La identificación, los controles, el registro, la divulgación, la criticidad, y el manejo en general del riesgo se resumen a continuación:

3.1.3 La Identificación y evaluación del riesgo. Deberá considerarse como la probabilidad de eventos creíbles y sus consecuencias, y deberá como mínimo cubrir¹⁰:

- a. Riesgos de falla física, tales como fallas funcionales, daños, incidentes, daños por terceros;
- b. Riesgos operacionales, incluyendo el control del activo, factores humanos y otras actividades las cuales afecten su desempeño, condición o seguridad;
- c. Eventos ambientales naturales;
- d. Factores fuera del control de la organización, tales como fallas externas en despacho de materiales y prestación de servicios;
- e. Riesgos de los “*stakeholders*”, tales como fallas en cumplimiento de las regulaciones o riesgos en la imagen de la empresa;
- f. Riesgos con las diferentes etapas o fases del activo.

¹⁰ BRITISH STANDARDS (BS) Asset Management Part 2 Guidelines for the applications of PAS 55-1, 2008.

3.1.3.1 Metodologías para identificación de riesgo⁷: se listan las metodologías más usadas:

- Análisis SWOT (Fortalezas, debilidades, oportunidades, Amenazas)
- Análisis BPEST (Negocios, política, economía, social y tecnología)
- Análisis PESTLE (Política, económica, social, técnica, legal y ambiental)
- HAZOP (Peligros y estudios de operatividad)
- Investigación de incidentes
- Auditoría e inspección

3.1.3.2 Metodologías para analizar el riesgo⁷:

- Análisis de amenazas
- FMEA (modo de falla y análisis de efecto)
- FMECA (modo de falla y análisis de criticidad del efecto)
- RCA (Análisis de causa raíz)
- ETA (Análisis de árbol de eventos)
- FTA (Análisis de árbol de falla)
- Modelamiento de modos de deterioro o desempeño del sistema.

3.1.3.3 Las metodologías para selección de controles son⁷:

- a. RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad)
- b. RBI (Inspección basada en riesgo)
- c. IPF (Función protectora de instrumentación)

Con los resultados de evaluación de riesgo las organizaciones deberán asegurar el uso de esta información para retroalimentar sus planes de manejo de activos, guardando los resultados y evaluaciones para aplicar los controles requeridos en el futuro.

La metodología también incluye el manejo del cambio o de los cambios implementados en los activos, ya sean plantas, equipos, partes o sistemas, estos cambios deberán ser evaluados y deberán ser analizados como entraran en la estrategia de manejo de activos.

3.1.4 Implementación de planes. En esta etapa la metodología se enfoca en implementar el plan en todo el ciclo de vida del activo, el cual se puede definir de la siguiente manera:

- Creación, adquisición o repotenciación de activos
- Activos en servicio
- Mantenimiento de activos
- Des incorporación o disposición final de activos

El plan se enfoca en asegurar todas las actividades requeridas para el manejo del activo, incluido el control operacional y de los procesos que están inmersos estos activos, los activos que se incorporan deben ir alineados a las estrategias de manejo, el plan también involucra las actividades de operación y el mantenimiento, adicionalmente se pueden manejar dentro de este plan otros controles para tareas específicas o riesgos obtenidos por terceros, entre otros.

3.1.5 Desempeño y mejora. Se deberá mantener procesos y procedimientos para evaluar y monitorear el desempeño de los activos, como también establecer los KPIs (Key Performance Indicators) este seguimiento se puede realizar de la siguiente manera:

- Monitoreó de condición y desempeño
- Investigación de incidentes, no conformidades y fallas
- Evaluación de cumplimiento
- Acciones de mejora
- Registros

En la investigación de incidentes, fallas y no conformidades podemos tomar acción inmediata para corregir, registrar la no conformidad e investigar la falla, en las acciones de mejora podemos implementar tareas correctivas o preventivas, realizar el análisis del incidente, monitorear, comunicar los resultados y aplicar la mejora continua.

En esta etapa es importante realizar auditorías para establecer la efectividad de los planes, las investigaciones, desempeños de los planes y de los activos, las mismas auditorias, el estado de riesgo se registra de manera adecuada para documentar, realizar comparaciones, medir, dar cumplimientos legales y comunicar los resultados del desempeño de los activos a cada uno de los interesados.

3.1.6 Revisión. Los sistemas, la metodología, las políticas, las estrategias, la operación de los activos deberán revisarse en intervalos apropiados para garantizar su efectividad y desempeño.

Hasta este punto se describe de forma corta y secuencial la metodología de manejo de activos enmarcada en PAS-55, en la cual se destacan varias practicas

utilizadas en la industria del oil & gas, fundamentadas en un marco gerencial y estratégico de una organización, y dado que esta guía nos ofrece lineamientos generales para manejo de activos, en este caso activos físicos como los equipos estáticos, nos complementa la siguiente practica que describiremos a continuación para crear un programa de manejo de riesgo especifico de una Refinería.

3.2 ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO SEGÚN API 760¹¹

La publicación guía API 760 del Instituto Americano del Petróleo que se enfoca al desarrollo de un plan para el manejo de riesgo para una Refinería, es un modelo específico a los procesos, sistemas, activos y riesgos presentes en la refinación de crudo, para desarrollar e implementar el plan específico, para una familia de equipos estáticos es necesario presentar los aspectos más relevantes, los cuales nos darán una visión puntual a las diferentes herramientas que se utilizan para la identificación de peligros y el manejo de riesgo.

La guía se basa en las actividades, procesos, sustancias que intervienen en la operación de una refinería, la cantidad y el tipo de sustancias, flamabilidad y toxicidad son tópicos importantes para definir el riesgo y la consecuencia de sus efectos.

Definidos los procesos y su operación se lista las sustancias presentes, estas sustancias están reguladas bajo OSHA's PSM, la siguiente tabla muestra ejemplos de sustancias reguladas que pueden estar presentes en dos de los diversos procesos que tenemos en una refinería.

¹¹ AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API) Model Risk Management Plan Guidance for Petroleum Refineries, API 760, Third edition February 2001.

Tabla 5. Ejemplos de típicos procesos de refinería, posibles sustancias reguladas y aspectos cubiertos por RMP

| Procesos de Refinería o Categoría de sistemas | Posible sustancia regulada manejada | Temas de alcance y aplicabilidad |
|---|---|--|
| Destilación de crudo atmosférica y al vacío Ejemplo de procesos incluidos: - Unidad de Crudo - Unidad de Vacío - Producción de Asfalto | Potencia de H ₂ S en corrientes de gas Hidrocarburos livianos (metano, etano, propano, etc.) E hidrogeno en corrientes de gas | Los hidrocarburos livianos pueden ser recuperados en otros procesos y las cantidades en estas unidades pueden no cumplir los requerimientos de cantidades límites. H ₂ S puede que no exceda los requerimientos de cantidades límites. |
| Producción o recobro de Hidrogeno Ejemplo de procesos incluidos: - Reformación de vapor de metano - Reformación de vapor Nafta - Criogénico | Es probable que las unidades tengan Hidrocarburos livianos (metano, etano, propano, etc.) como parte de la entrada. El hidrogeno es producido o recobrado como producto. | El hidrogeno esta listado como sustancia flamable. |

Fuente: Tabla 2-1 de la guía API 760.

Después de que se listan las sustancias y se tienen en cuenta los aspectos importantes de flamabilidad y toxicidad se procede a determinar el inventario de sustancias reguladas, para esta actividad se debe tener claro los límites de batería y los límites de cada vasija, de tal forma que en el momento de una liberación de sustancia se pueda calcular el inventario de esta, ya sea como inventario de proceso o inventario por vasija.

Se definen cantidades límites de cada sustancia regulada, consiste en determinar si el proceso contiene una cantidad límite de cada sustancia regulada para continuar a establecer el inventario.

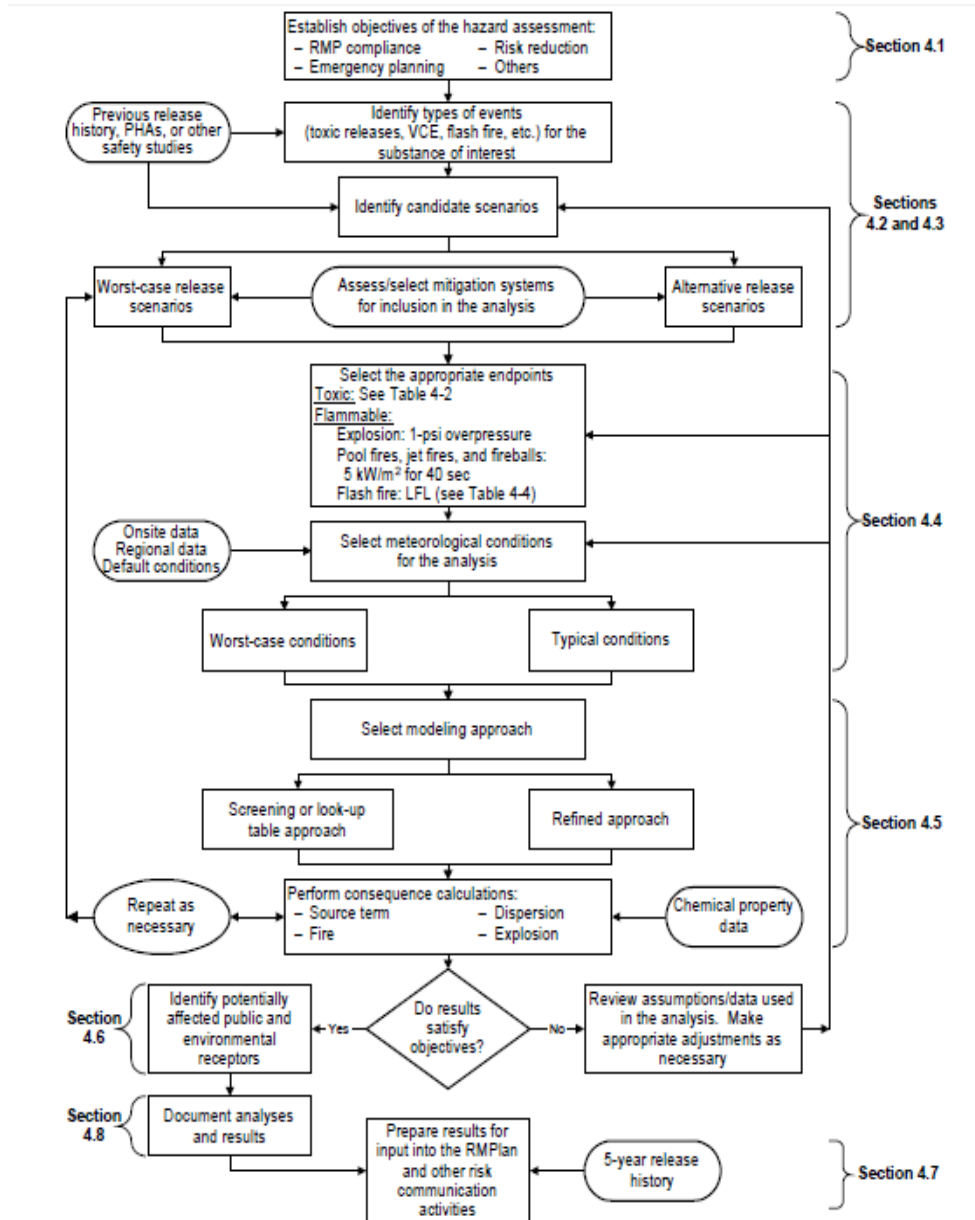
Establecido las cantidades límites se puede optar por un nivel de programa, la metodología establece 3 niveles de programas para manejar el riesgo, el Nivel 1 es el nivel menos detallado que tienen bajo potencial de daño fuera de las instalaciones, el Nivel 3 es un nivel completo que no se catalogan como nivel 1 y son cubiertos por OSHA's PMS regulación o relacionados con uno de los diez códigos NAICS, por lo tanto nivel 2 no está cubierto dentro de los límites del nivel 1 y 3.

Para definir el nivel del programa se evalúa los peligros, se complementa con el análisis de consecuencia fuera de las instalaciones (OCA) y recopilar un histórico de 5 años de incidentes, esta etapa se resume en la figura extraído de la misma metodología.

Un término importante es el "*Endpoints*" que se menciona en la figura 8, los cuales son los máximos niveles de exposición a una concentración tóxica que puede causar problemas a la salud de las personas. También se relaciona los "*Endpoints*" con eventos donde se involucran sustancias inflamables reguladas.

Después de analizar los escenarios más críticos, modelar las afectaciones fuera de los límites de la refinería basados en los *Endpoints* y apoyarse del histórico de 5 años de incidentes viene la aplicación de programas de prevención.

Figura 8. Esquema de identificación de riesgos según API 760



Programas de prevención: los programas de prevención de accidente en este modelo se enfocan en prevenir, controlar y/o mitigar liberaciones accidentales de sustancias reguladas, los pilares fundamentales del programa de prevención son:

- Participación de los empleados
- Información de Seguridad de Procesos (ej. peligros químicos, tecnología de los procesos e información de los equipos).
- Análisis de peligros
- Procedimientos de operación escritos
- Entrenamiento del personal de operaciones
- Involucramiento de contratistas
- Revisiones pre-arranque
- Integridad Mecánica
- Trabajos en caliente (procedimientos y practicas seguras)
- Manejo del cambio
- Investigación de incidentes
- Auditorias

Programa de respuesta a emergencias: este programa incluye el plan de respuesta, procedimientos para el uso, inspección, ensayos y mantenimiento del equipo de respuesta a emergencias, entrenamiento del personal, comunicaciones con comunidades y entidades estatales y de emergencias.

Plan de manejo del riesgo: se desarrolla un resumen del RMP (plan de manejo del riesgo), donde se hace una breve descripción de los aspectos anteriormente mencionados, ej. Fuentes, casos más críticos, liberaciones, histórico 5 años de incidentes, programas de prevención y respuesta. Y se listan los datos elementales para el plan, se establece una matriz de comunicaciones con responsabilidades y roles, y se establece unos intervalos de revisión al plan según su implementación para perfeccionar el plan.

Auditorias: Este tipo de actividades se puede implementar para una facilidad en particular, se realiza a actividades fuera de las instalaciones, a actividades en campo, por primera o tercera parte, se genera unas conclusiones y reportes e implementan acciones de mejora.

En resumen se clasifican las sustancias y procesos de la refinería, se toma un histórico de incidentes y las posibles afectaciones fuera de los límites de la refinería, se escoge un nivel de manejo de riesgo, se evalúan las consecuencias con los escenarios más críticos, se cuantifican los riesgos, se implementa un plan de manejo de riesgo basado en un programa de prevención y un programa de respuesta a emergencias, se comunica el plan y se retroalimenta el con las acciones de revisión y auditorias.

4. GENERACIÓN DE UNA METODOLOGIA DE GESTIÓN BASADA EN RIESGO PARA EQUIPOS ESTÁTICOS DE UNA REFINERÍA

Con base a la estructura dada en los tres capítulos anteriores, donde destacamos los lineamientos de la guía de manejo de activos PAS 55, el plan guía para una metodología de manejo de riesgo de API 760, se crea una metodología de tópicos con aspectos claves formulados como preguntas, para conocer como una refinería maneja sus equipos estáticos, para tal fin se proponen unos pesos a cada área o practica relevante para obtener una valoración. Adicionalmente se recrea un escenario tipo del manejo del riesgo de una familia de equipos estáticos dentro de una unidad de refinación para ambientar la metodología.

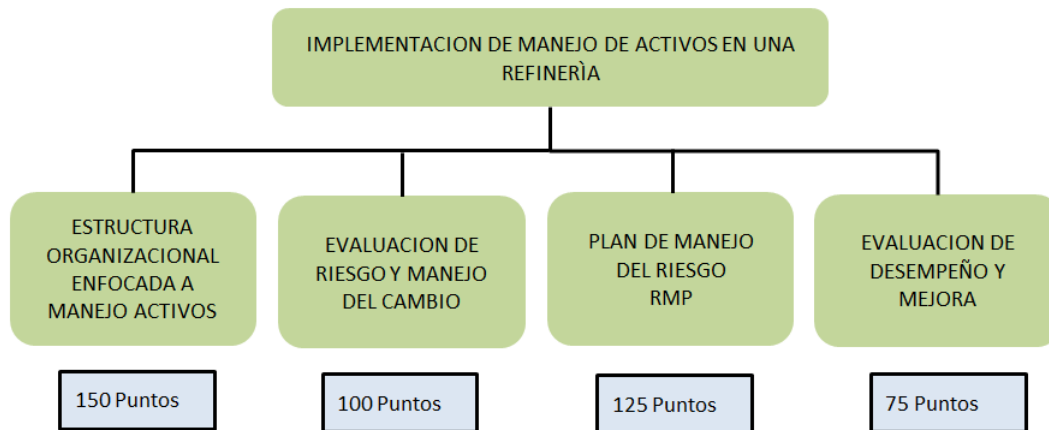
De acuerdo a la valoración obtenida en la aplicación de las preguntas claves de la metodología el interesado puede establecer un plan de manejo de riesgo genérico para sus equipos estáticos.

A continuación se establece la metodología de evaluación de la gestión de activos en una refinería tomando como estructura base el estándar de manejo de activos PAS-55.

4.1 EVALUACION DE LA APLICABILIDAD DEL PLAN DE MANEJO DE ACTIVOS INDUSTRIALES ESTATICOS DE UNA REFINERIA

Valorar si una refinería tiene implementado en sus áreas estratégicas un sistema de manejo de activos de la siguiente manera:

Figura 9. Valoración de aplicabilidad del modelo de gestión de activos



Para ello se presenta a continuación la matriz o lista de chequeo con los criterios más relevantes en la aplicación de la metodología, a cada criterio se le asigna un valor máximo posible y se deja una casilla para asignar el valor de acuerdo a la implementación en cada área de conocimiento.

El bloque de Estructura Organizacional sumara los puntajes de los siguientes elementos:

- Políticas, estrategias, planes y objetivos
- Selección de la etapa del activo
- Áreas de apoyo dentro de la estructura organizacional Jerárquica
- Áreas de conocimiento
- Sistemas de comunicación y consulta
- Gestión de la información

El bloque de evaluación de riesgo sumara los puntajes de:

- Evaluación de riesgo

- Manejo del cambio

Los dos bloques restantes están comprendidos por cada uno de sus criterios y por lo tanto el total de su puntaje equivale a la suma de cada uno de ellos.

Tabla 6. Lista de chequeo para valorar la aplicabilidad de la metodología

| ítem | Elementos para la gestión de activos | Escala medición | Puntaje Obtenido |
|-------------|---|-----------------|------------------|
| 1 | Estructura Organizacional | | |
| 1.1. | Políticas, estrategia, planes y objetivos | | |
| 1.1.1. | ¿La Refinería tiene una política de manejo de activos? | 0-10 | |
| 1.1.2. | ¿La Refinería tiene estrategia para el manejo de activos? | 0-10 | |
| 1.1.3. | ¿La Refinería tiene objetivos para el manejo de activos? | 0-10 | |
| 1.1.4. | ¿La Refinería tiene un plan de manejo de activos? | 0-10 | |
| 1.2. | Selección de la etapa del Activo | | |
| 1.2.1 | ¿Existe Inventario de todos los equipos estáticos de la refinería? | 0-1 | |
| 1.2.2 | ¿Los Equipos estáticos están clasificados por su ciclo de vida? | 0-1 | |
| 1.2.3 | ¿Se conoce los costos de mantenimiento por equipo estático? | 0-2 | |
| 1.2.4 | ¿Se conoce el valor (CAPEX) de cada equipo estático? | 0-2 | |
| 1.2.5 | ¿Se conoce el impacto por falla de cada equipo estático a la operación? | 0-3 | |
| 1.2.6 | ¿Se conoce si hay equipos operando fuera de su ciclo de vida útil? | 0-2 | |
| 1.2.7 | ¿Los equipos que están extendiendo su vida útil tienen plan de reemplazo? | 0-1 | |
| 1.2.8 | ¿Se cuenta con inventario de equipos por desincorporar? | 0-1 | |
| 1.2.9 | ¿Existe un Plan de desincorporación por familias de equipos estáticos? | 0-1 | |
| 1.2.10 | ¿Se asigna un nivel de criticidad a cada equipo estático por impacto al negocio, a las persona y al medio ambiente? | 0-1 | |
| 1.3 | Áreas de apoyo dentro de la estructura organizacional Jerárquica | | |
| 1.3.1 | ¿Adicionalmente a la Gerencia General, existe una Gerencia de activos? | 0-5 | |
| 1.3.2 | ¿Existe un departamento de Ingeniería que trabaje en la incorporación y reemplazo de activos? | 0-2 | |
| 1.3.3 | ¿El departamento de operaciones hace parte de las soluciones y decisiones en el manejo de sus activos? | 0-3 | |
| 1.3.4 | ¿Existe un departamento de mantenimiento enfocado a mejorar el desempeño de los activos y a mantener los indicadores de disponibilidad? | 0-4 | |
| 1.3.5 | ¿Existe un departamento de integridad e inspección que retroalimente a la gerencia de activos del estado actual de los equipos? | 0-4 | |

| ítem | Elementos para la gestión de activos | Escala medición | Puntaje Obtenido |
|------------|---|-----------------|------------------|
| 1.3.6 | ¿La refinería cuenta con algún equipo asesor para trazar su estrategia de gestión de activos? | 0-2 | |
| 1.4 | Áreas de conocimiento | | |
| 1.4.1 | ¿Existen autoridades técnicas para las siguientes áreas de conocimiento: Manejo del riesgo, costos del ciclo de vida de un activo, ingeniería de confiabilidad, optimización, mantenimiento, integridad, inspección, monitoreo de condición, análisis de causa raíz? | 0-8 | |
| 1.4.2 | ¿En la refinería están definidos los roles y responsabilidades de las autoridades técnicas para cada una de las áreas de conocimiento? | 0-6 | |
| 1.4.3 | ¿Existe un plan de entrenamiento y cierre de brechas para el personal que hace parte de cada área de conocimiento de la refinería? | 0-7 | |
| 1.4.4 | ¿Existe en la refinería un rubro para investigación y desarrollo? | 0-4 | |
| 1.5 | Sistemas de comunicación y consulta | | |
| 1.5.1 | ¿La refinería informa el estado de integridad de sus equipos estáticos a los Gerentes, operadores, ingenieros y áreas transversales? | 0-3 | |
| 1.5.2 | ¿Se socializa una matriz, mapa de riesgo del panorama general de criticidad de los equipos estáticos? | 0-4 | |
| 1.5.3 | ¿Los planes de mantenimiento e inspección se consultan, revisan y comunican? | 0-6 | |
| 1.5.4 | ¿Se comunica a toda la organización los indicadores de cumplimiento de desempeño de los equipos estáticos? | 0-4 | |
| 1.5.5 | ¿Se realizan consultas a las autoridades para el manejo del cambio en los equipos estáticos? | 0-3 | |
| 1.6 | Gestión de la información | | |
| 1.6.1 | ¿Existe en la refinería un repositorio único y centralizado para la información de los equipos estáticos? | 0-10 | |
| 1.6.2 | ¿La información de un equipo es de fácil consulta? | 0-3 | |
| 1.6.3 | ¿La información de un equipo es almacenada en todo su ciclo de vida, información de diseño, operación, mantenimiento, historial de falla y reparación, ej. Dosieres de fabricación, dosieres de operación, informes de inspección, análisis de causa raíz de una falla, se actualicen tasa de falla, aumento o disminución de velocidades de corrosión? | 0-7 | |
| 1.6.4 | ¿Los cambios en el diseño, en la operación, y en el proceso son documentados? | 0-5 | |
| 1.6.5 | ¿La actualización del riesgo de los activos es dinámica en el sistema de gestión de información? | 0-5 | |
| a. | Sub total del elemento de Estructura organizacional | 0-150 | |
| 2 | Riesgo | | |
| 2.1 | Evaluación del riesgo | | |

| ítem | Elementos para la gestión de activos | Escala medición | Puntaje Obtenido |
|------------|---|-----------------|------------------|
| 2.1.1 | ¿Existe una Matriz de riesgo para el negocio? | 0-10 | |
| 2.1.2 | ¿El riesgo es identificado y evaluado por medio de una metodología formal o estándar específico para Refinación? | 0-10 | |
| 2.1.3 | ¿Se tiene identificadas las unidades que en caso de un evento, puedan generar afectación fuera del perímetro de la refinería? | 0-5 | |
| 2.1.4 | ¿Hay un histórico con los equipos estáticos que han presentado eventos de falla durante los últimos 5 años? | 0-3 | |
| 2.1.5 | ¿Se clasifica de mayor a menor las unidades y/o equipos de acuerdo al nivel del riesgo o criticidad? | 0-3 | |
| 2.1.6 | ¿La refinería tiene definido el nivel de riesgo aceptable? | 0-3 | |
| 2.1.7 | ¿Se Identifica la criticidad de los equipos estáticos por seguridad de proceso? | 0-4 | |
| 2.1.8 | ¿Se identifica que equipos manejan más riesgo por probabilidad de falla? | 0-5 | |
| 2.1.9 | ¿Se identifica que equipos pueden generar más consecuencias en el caso de un evento? | 0-7 | |
| 2.1.10 | ¿Existen controles o estrategias de mitigación de riesgo? | 0-10 | |
| 2.2 | Manejo del Cambio | | |
| 2.2.1 | ¿La refinería revisa de manera sistemática los planes, procedimientos, estrategias, políticas, roles y responsabilidades de personal? | 0-5 | |
| 2.2.2 | ¿Se evalúa el cambio en el diseño, mantenimiento y operación de los equipos estáticos a la luz del riesgo? | 0-15 | |
| 2.2.3 | ¿La refinería tiene definido los diferentes niveles del cambio y sus aprobadores? | 0-10 | |
| 2.2.4 | ¿Los cambios se registran y documentan debidamente aprobados? | 0-10 | |
| b | Sub total de la identificación del Riesgo | 0-100 | |
| 3 | Planes para el manejo del riesgo RMP | | |
| 3.1 | ¿Existe un programa de manejo del riesgo RMP? | 0-20 | |
| 3.2 | Si existe RMP, ¿hay establecido un control de documentos y procesos administrativos? | 0-10 | |
| 3.3 | ¿Hay un responsable de la implementación del programa de manejo del riesgo? | 0-10 | |
| 3.4 | ¿El RMP se implementa según las políticas, estrategias y objetivos de la organización? | 0-10 | |
| 3.5 | ¿Existe información confiable, recopilada y actualizada para realizar mejoras al plan? | 0-15 | |
| 3.6 | ¿Existen estrategias de adquisición, construcción y montajes de equipos estáticos dentro del RMP? | 0-10 | |
| 3.7 | ¿El RMP tiene incluido controles operacionales? | 0-10 | |

| ítem | Elementos para la gestión de activos | Escala medición | Puntaje Obtenido |
|----------|---|-----------------|------------------|
| 3.8 | ¿La refinería tiene un sistema de administración de mantenimiento? | 0-20 | |
| 3.9 | ¿El RMP incluye estrategias de bodega, repuestos, reposición y disposición final de equipos? | 0-20 | |
| c | Sub total de RPM | 0-125 | |
| 4 | Evaluación de desempeño y mejora | | |
| 4.1 | ¿Existe mecanismos o metodologías para medir el desempeño de los equipos estáticos? | 0-3 | |
| 4.2 | ¿Se pueden monitorear o consultar fácilmente las no conformidades, fallas de control o incidentes correspondientes a cada equipo estático? | 0-3 | |
| 4.3 | ¿Existen indicadores proactivos (<i>leading</i>) e indicadores reactivos (<i>lagging</i>)? | 0-7 | |
| 4.4 | ¿La gerencia de la refinería conoce los indicadores de manejo de activos? | 0-3 | |
| 4.5 | ¿Planes, estrategias, políticas y metas basadas en gestión de activos han sido alcanzados? | 0-7 | |
| 4.6 | ¿Se evalúa el desempeño del plan de manejo de activos y del plan de manejo del riesgo? | 0-5 | |
| 4.7 | ¿Se realizan investigación de incidentes y no conformidades? | 0-5 | |
| 4.8 | ¿Se toman acciones inmediatas a las recomendaciones de los incidentes o no conformidades? | 0-5 | |
| 4.9 | ¿Se realiza evaluaciones de cumplimiento de la implementación de recomendaciones de no conformidades? | 0-2 | |
| 4.10 | ¿Se realiza auditorías a través de todo el programa de manejo del activo? | 0-5 | |
| 4.11 | ¿Se implementan monitoreo gerenciales a la estrategia de gestión de activos? | 0-5 | |
| 4.12 | ¿Las acciones correctivas se quedan en solo resolver el evento, o se replican en otras unidades similares? | 0-5 | |
| 4.13 | ¿Las acciones preventivas son eficaces, evitan las potenciales fallas o eventos, existe una metodología de evidenciarlo? | 0-5 | |
| 4.14 | ¿Se comunican los hallazgos y recomendaciones encontradas de los análisis de causa raíz de fallas, incidentes, no conformidades? | 0-5 | |
| 4.15 | ¿Se adquieren nuevas tecnologías, metodologías, técnicas o prácticas para la administración de los activos o equipos estáticos? | 0-5 | |
| 4.16 | ¿Se realizan revisiones periódicas del sistema de administración del ciclo de la vida de los equipos estáticos? Se revisan políticas, recursos, planes según el aprendizaje constante de la aplicación de las metodologías? | 0-3 | |
| d | Sub total de evaluación de desempeño de la metodología | | |
| | Totalidad de puntaje en la aplicación de la metodología (a+b+c+d) | 0-450 | |

La lista de chequeo valora la implementación de una metodología de gestión de activos.

A continuación se presentan los criterios de evaluación:

- La puntuación total será obtenida de los subtotales de cada bloque (Estructura organizacional, Riesgo, RPM, Desempeño).
- Puntaje en los cuatro bloques demuestra que la metodología de gestión de activos está siendo aplicada.
- La ausencia de puntaje o puntaje muy bajo en el cuarto bloque revela que la aplicación de la metodología es deficiente.
- La ausencia de puntaje en el bloque de Riesgo quiere decir que la metodología está planteada pero no se está ejecutando.
- Puntaje únicamente en el elemento de riesgo demuestra que en la Refinería se identifica los riesgos pero no se administran y mucho menos se gestionan basados en el desempeño de los activos.
- Los resultados en los elementos de riesgo y RMP indican que existe un sistema de administración de riesgo desligado de una metodología de gestión de activos.

4.1.1 Ejemplo de la metodología de manejo de activos:

4.1.1.1 Estructura Organizacional:

Política, estrategia, objetivos y planes

Si no existe una política de manejo de activos, no existen estrategias concretas de manejo de activos y menos objetivos y planes de manejo para los equipos estáticos.

Para establecer las políticas, estrategias, objetivos y planes para el manejo de activos guíese por:

- a. **Política de manejo de activos:** debe ser consistente con la política de negocios, otras políticas y el plan estratégico de la organización, debe ser breve, tener un marco de legalidad, definir la posición de la organización y las intenciones para el manejo de activos, ir alineada con la seguridad y la salud, dar lineamientos a la estrategia objetivos y planes de manejo de activos, documentada y revisada en etapas posteriores.
- b. **Estrategia de manejo de activos:** visión a largo plazo, consistentes con las políticas y planes estratégicos de la organización, teniendo en cuenta el ciclo de vida de los activos identificando sus funciones, desempeño, condición, criticidad y riesgo asociado, debe proveer información, colocar a la vista lo que desea en desempeños y funciones de los activos, no dejar a un lado el costo de la vida útil, manejo de riesgo y sostenibilidad de los activos, establecer formas de medir y reportar el desempeño, realizar *What if?*, análisis de sensibilidad para priorizar recursos.
- c. **Objetivos:** deben salir de la estrategia, ser medibles, alcanzables, específicos, realistas y estar basados en una línea de tiempo, se debe considerar el costo de ser alcanzados y deben ser priorizadas, a su vez deben ser constantemente revisados, estar relacionados al riesgo de los activos. Los objetivos en una refinería están enfocados más a confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, también en capacidad, calidad e impacto ambiental.

Algunos objetivos para gestión de activos pueden ser:

- Disponibilidad operacional
- Costos
- Confiabilidad
- Seguridad de Procesos

- d. **Planes de manejo de manejo de Activos:** debe ser realístico y con viabilidad de ser implementado, debe estar pasado en la política estrategia y objetivos organizacionales y de manejo de los activos, para los equipos estáticos debe

estar relacionado con los mecanismos de daño, el riesgo del equipo, equipos críticos, condición actual e histórico de desempeño, costos, beneficios, programas de reemplazo a largo plazo, oportunidad de optimización y planes de contingencia.

Selección de la etapa del Activo.

La información y clasificación de los equipos estáticos por ciclo de vida es la base para empezar a generar las estrategias y planes en gestión de activos, de esta forma se puede direccionar los recursos y aplicar las metodologías de apoyo para tener una operación segura, a continuación se muestra un ejemplo:

Nombre: Refinería básica

Unidades: Destilación de crudo

Tipos de Equipos Estáticos: Torres, intercambiadores, calentadores y Drums

Número de equipos estáticos: 10

Equipos en Fabricación: 1

Equipos en Operación: 9

Equipos en mantenimiento: 1

Equipos fuera de servicio: 1

Equipos operativos que no han cumplido su vida útil: 8

Equipos que cumplieron actualmente su ciclo de vida, vida remanente 0, pero que siguen operando: 1

Equipos en etapa de fabricación para reemplazar equipos que han cumplido su vida útil: 1

La unidad de destilación de refinería “básica” tiene 10 equipos estáticos, de los cuales 9 están en operación, de los 9 equipos 1 ya cumplió su vida útil, el equipo que ya cumplió su vida útil está en mantenimiento y va a ser reemplazado por un

equipo que está en proceso de fabricación, adicionalmente un equipo está fuera de servicio pero no se han desmantelado.

Tabla 7. Ejemplo de etapa ciclo de vida de los equipos estáticos

| TAG | TIPO | FABRICACIÓN | VIDA REMANENTE | ETAPA CICLO VIDA |
|-----|----------------|-------------|----------------|--------------------|
| T-1 | Torre | 1990 | 2020 | OPERATIVA |
| T-2 | Torre | 1990 | 2020 | OPERATIVA |
| E-1 | Intercambiador | 1992 | 2016 | OPERATIVA |
| E-2 | Intercambiador | 1992 | 2016 | OPERATIVA |
| E-3 | Intercambiador | 1992 | 2016 | OPERATIVA |
| E-4 | Intercambiador | 1992 | 2016 | OPERATIVA |
| E-5 | Intercambiador | 1992 | 2012 | MTTO/INCORPORACIÓN |
| H-1 | Horno | 1990 | 2030 | OPERATIVA |
| D-1 | Tambor | 1990 | 2010 | DESINCORPORACIÓN |
| D-2 | Tambor | 2000 | 2020 | OPERATIVA |
| D-3 | Tambor | 2000 | 2020 | OPERATIVA |

Es importante el conocimiento de los costos de cada equipo durante la vida útil, estos costos, estos costos se asocian al mantenimiento, en el mantenimiento de los equipos esta los programas de inspección, costos operacionales, costos de bodega por los repuestos críticos, entre otros.

Tabla 8. Ejemplo de costos de mantenimiento de los equipos estáticos

| TAG | TIPO | Mantenimiento anual | Vida Útil |
|-----|----------------|---------------------|-----------|
| T-1 | Torre | 5000 | 20000 |
| T-2 | Torre | 5000 | 20000 |
| E-1 | Intercambiador | 2000 | 2000 |
| E-2 | Intercambiador | 2000 | 2000 |
| E-3 | Intercambiador | 2000 | 2000 |

| TAG | TIPO | Mantenimiento anual | Vida Útil |
|-----|----------------|---------------------|------------|
| E-4 | Intercambiador | 2000 | 2000 |
| E-5 | Intercambiador | 2000 | 2000 |
| E-5 | Intercambiador | 2000 | REEMPLAZAR |
| H-1 | Horno | 7000 | 98000 |
| D-1 | Tambor | 1000 | REEMPLAZAR |
| D-2 | Tambor | 1000 | 4000 |
| D-3 | Tambor | 1000 | 4000 |

Estructura Organizacional Jerárquica. La siguiente es normalmente la estructura dentro del negocio de la industria de hidrocarburos para el manejo de sus activos físicos:

- Gerencia General: Estrategias y políticas de la Refinería
- Gerencia de activos: Alinear las estrategias para manejo de equipos estáticos según visión del negocio.
- Departamento de Ingeniería: diseño, soluciones técnicas e incorporación de equipos estáticos por restitución.
- Operaciones: Operación de los procesos en las unidades o plantas
- Mantenimiento: mantenimiento programado, reparaciones, paradas de planta, correctivos, mantenimiento día a día de los equipos estáticos.
- Inspección: planes de inspección, monitoreo de condición, estados de integridad, evaluación de vida remanente de los equipos estáticos.
- Contratistas: Transversal, asociación con terceros para realizar actividades de manejo de activos.

En la estructura organizacional de la refinería “Básica” existen departamentos de apoyo como:

- Departamentos de inspección e integridad.

- Departamento de mantenimiento mayor y rutinario.
- Departamento de ingeniería.
- Gerencia de activos.

Conocimientos claves de personal involucrado en el manejo de Equipos estáticos. Las áreas de conocimiento claves para gestionar los activos o equipos estáticos en una refinería son:

- Manejo de riesgo
- Costos de ciclo de vida de los equipos
- Ingeniería de confiabilidad
- Optimización
- Mantenimiento
- Integridad
- Inspección
- Monitoreo de condición
- Análisis de causa raíz

Sistema de comunicación y consulta. Actualmente se cuentan con diversos canales de comunicación dentro de las organizaciones, la comunicación es un área de mucha importancia para gestión de riesgos en una refinería, comunicando desde la metodología a utilizar como los resultados obtenidos.

A continuación se da un ejemplo de la Refinería “Básica” en cuanto a la comunicación y sus canales:

- El estado de integridad de los equipos estáticos únicamente lo conoce el área de inspección.
- La Organización conoce el estado de los equipos cuando ocurre un evento.

- En la organización existen varios canales de comunicación, pero no se divulga ningún indicador de gestión de activos.
- Existen matrices de riesgo diferentes para cada área y actividad.
- No se conoce donde reposa la información de los equipos estáticos.
- Los cambios no se consultan con una autoridad técnica (no existe para la Refinería “Básica”).
- Los cambios no se actualizan en las bases de datos u hoja de vida de los equipos.

Gestión de la Información. La siguiente información se considera vital para un sistema de administración y gestión de activos:

- Datos básicos (Nombre, ubicación, tipo de equipo, entre otros)
- Datos de diseño, proceso y operación.
- Historial en servicio (Reportes de inspección, velocidades de corrosión, vida útil, monitoreo en operación, entre otras.)
- Historial de fallas y reparaciones (Tasa de falla, Reportes de mantenimiento y reparación).
- Costo e impactos económicos de cada activo
- Manejo del cambio.
- Riesgo

Riesgo

Evaluación del riesgo:

A continuación se muestra un ejemplo de valoración de riesgo de la Refinería “Básica”:

- Metodología para establecer el riesgo en equipos estáticos: RBI (Inspección basada en riesgo).
- Metodología para estimar la consecuencia: QAC, Árbol de eventos
- Métodos utilizados para mitigar el riesgo:
 - ❖ Inspección
 - ❖ Barreras de Mitigación
 - ❖ Cambio de Equipos
 - ❖ Controles Administrativos
- Se relacionan los costos estimados para el manejo del riesgo
 - ❖ Valor de reemplazo de equipo nuevo
 - ❖ Valor de equipo nuevo con mejoramiento metalurgia.
 - ❖ Valor de mantenimiento por equipo
 - ❖ Impacto económico por falla de equipo.

Para la unidad seleccionada de la refinería “Básica” y sus respectivos equipos se tabulan en forma de ejemplo los posibles resultados arrojado de una la evaluación de riesgo realizada para un escenario de operación normal:

Tabla 9. Identificación y valoración del riesgo por equipos

| TAG | PROBABILIDAD FALLA | CONSECUENCIA | RIESGO | CRITICIDAD | | |
|-----|--------------------|--------------|--------|------------|----------------|---------|
| | | | | PERSONAS | MEDIO AMBIENTE | NEGOCIO |
| T-1 | Baja | Alta | Medio | | | X |
| T-2 | Baja | Alta | Medio | | | X |
| E-1 | Media | Media | Medio | | X | |
| E-2 | Media | Media | Medio | | X | |
| E-3 | Alta | Baja | Medio | | | X |
| E-4 | Alta | Baja | Medio | | | X |
| E-5 | Alta | Baja | Medio | | X | |
| E-5 | Alta | Media | Alto | | X | |

| TAG | PROBABILIDAD | CONSECUENCIA | RIESGO | CRITICIDAD | | |
|-----|--------------|--------------|--------|------------|--|---|
| H-1 | Media | Media | Medio | | | X |
| D-1 | Baja | Baja | Bajo | | | |
| D-2 | Baja | Alta | Medio | X | | |
| D-3 | Baja | Alta | Medio | X | | |

Identificación de peligros:

Check list, HAZOP, FMA.

La unidad puede generar consecuencias fuera de la refinería: NO

La unidad ha tenido incidente de proceso durante los últimos 5 años: SI

Equipos con mayor potencial de afectación: D2 y D-3

Ranking de criticidad de equipos estáticos de mayor a menor:

- Tambores con H2S, D-2 y D-3
- El Horno H1
- Torres T1 y T-3
- Intercambiadores E-3 y E-4
- Intercambiadores E-1, E-2 y E-5
- Tambor D-1

Ejemplo de la visualización del riesgo por equipos en la matriz de riesgo:

Tabla 9. Matriz de riesgo de los equipos estáticos de la Refinería “NORMAL”:

| | | | | |
|-----------------------|-------|---------------|-----------------|----------------------|
| Probabilidad de Falla | Alta | E-3, E-4, E-5 | E-5 | |
| | Media | | H-1 E-1, E-2 | |
| | Baja | D-1 | | T-1, T-2 D-2, D-3 |
| | | Baja | Media | Alta |
| | | Consecuencia | | |

| | |
|---|-------------|
| ¿Equipos estáticos con riesgo de falla física, pérdida de contención? | SI |
| Equipos cerca al cumplimiento de su vida útil: | E-1 al E-4 |
| Equipos con vida útil cumplida: | E-5, D-1 |
| Frecuencia de Falla: | Por definir |

Con todos los datos anteriormente mostrados se puede concluir que la refinería “Básica” tiene identificado los riesgos por equipo y tiene datos importantes para implementar una metodología de manejo de riesgo.

Manejo del Cambio

Se muestra un formato ejemplo para proponer un cambio:

| |
|---|
| TAG: E-5 Unidad: Destilación de Crudo Refinería: Básica |
|---|

| Objeto | Problema a solucionar | Propuesta |
|--------------------------------|--|--|
| Cambio de metalurgia de casco. | Afectación del material del casco por H2S húmedo, se requiere cambio de metalurgia para inhibir el mecanismo de daño | Se reemplazara material de casco por material inoxidable. El equipo se diseñara bajo código de fabricación ASME. Y se asegurara la transferencia de calor mediante cálculos térmicos |
| Departamento que propone: | Ingeniería | |
| Revisa: | Líder de integridad de la Refinería | |
| Aprueba: | Líder de confiabilidad/Gerente técnico | |
| Fecha: 21 agosto 1978 | Implementación: 13 septiembre 1979 | |

PLAN DE MANEJO DE RIESGO¹²

A continuación se muestra un esquema práctico para establecer un documento de plan de manejo de riesgo:

¹² AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API) Model Risk Management Plan Guidance for Petroleum Refineries, Annex D API 760, Third edition February 2001.

Identificación de la refinería:

- Locación ciudad, país, dirección correspondencia
- Teléfonos de contacto para plan de emergencia
- Número total de empleados
- Comité de plan de emergencia.
- Responsable del plan.

Escenarios Críticos

- Por toxicidad y flamabilidad
- Velocidades de liberación de fluidos
- Duración del evento más crítico.
- Cantidades liberadas
- Barreras pasivas y activas de mitigación.
- Público afectado con posible liberación.
- Medio ambiente afectado con posible derrame o liberación.

Histórico de eventos de los últimos 5 años.

- Fechas de los eventos,
- Duración de los eventos,
- Cantidad liberada de producto
- Equipo estático que fallaron
- Impactos dentro de la refinería
- Impactos fuera de refinería,
- Daños y evento iniciador.

Programa de prevención.

- Fechas de los análisis de procesos.
- Tipos de análisis de procesos realizados.
- Controles de proceso.
- Sistemas de mitigación en uso.
- Sistemas de detección y monitoreo.
- Revisión de procedimientos.
- Entrenamiento de personal.
- Estrategias de mantenimiento.
- Metodología del manejo del cambio.
- Auditorias, investigación de incidentes. Anexo D de api 760

Ciclo de vida del equipo estático

- Incorporación de equipos o aumento de facilidades estáticas
- Operación de los equipos estáticos
- Mantenimiento de los equipos estáticos
- Desincorporación y disposición final de los equipos estáticos

A continuación se tabula un ejemplo de referencia de la relación entre cada etapa de ciclo de vida de un equipo estático y el costo, riesgo y desempeño:

Tabla 10. Relación Costo, riesgo y desempeño

| Etapa Ciclo de vida | Costos | Riesgos | Desempeño |
|---------------------|--------------------------------|---|--|
| Incorporación | Valor del equipo e instalación | Diseño Entrega a tiempo | Tiempos efectivos de fabricación y montaje |
| Operación | Personal de operación | Perdida de contención Inadecuada operación | Bajas velocidades de deterioro Aumento de vida útil |
| Mantenimiento | Repuestos y reparaciones | Económicos (Lucro cesante) | Materiales durables. Reparaciones permanentes |
| Desincorporación | Desmantelamiento | Financieros, aporte de valor | Rápida y segura desincorporación, no afectación a libros contables |

4.1.4 Evaluación de desempeño y mejora

La refinería “Básica” realiza las siguientes acciones:

- Registra los incidentes.
- Realiza investigación de los incidentes
- Genera no conformidades y fallas de control.
- No realiza auditorías
- No mide el cumplimiento de sus KPIs desde la vista de gerencia de activos.

5. CONCLUSIONES

Una Refinería la componen miles de activos y el gerenciamiento de una refinería se basa en ciento de información, tal como la refinería requiere cada uno de sus equipos concadenados para contener sus fluidos y transformar la materia, el gerente requiere de un enfoque completo y de herramientas que lo ayuden a procesar las toneladas de información y de esta forma generar las estrategias para dar valor al negocio.

Este trabajo abre el camino a más escritos sobre gestión de activos para la industria petroquímica, el enfoque de las metodologías de gestión de activos a las prácticas de un complejo industrial de refinación, el refinador puede complementar estas metodologías con la experiencia práctica en su especialidad, traduciendo las herramientas técnicas en insumos gerenciales.

La gestión de activos se basa en costos, riesgos y desempeño, una refinería tiene activos industriales pero no necesariamente pueden ser gerenciados, porque carece de estrategias o no asimila adecuadamente la información.

La gestión de activos es efectiva si y solo si, existe una política, hay estrategias, se trazan objetivos, se realizan planes y se mide el desempeño.

Identificar el riesgo no ayuda a evitar fallas en los activos industriales, hay que administrar el riesgo, para ello hay que utilizar las herramientas e información del negocio.

La información es la base de la gestión de activos, esta se genera día a día desde la operación de una refinería, con metodologías y herramientas técnicas se obtienen resultados, estos resultados se registran y documentan, paso seguido esta información debe ser transversal a todos los procesos y finalmente comunicarse.

La metodología de evaluación evidencia si en una refinería existe una cultura de gestión de activos basada en los riesgos del negocio, también puede identificar si existe un plan de manejo del riesgo.

Estrategia, procesos, personal, conocimiento, riesgos, autoridades, cambio, costos, planes, desempeño, vida útil, inspección, mantenimiento, operación, evaluación, lección aprendida, investigación, auditoría, investigación, son algunos de los elementos integradores de la gestión de activos, y son las bases con las que se formularon las preguntas de identificación.

BIBLIOGRAFÍA

American Petroleum Institute Recommended 571, Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refinery Industry, Second edition, 2011.

American Petroleum Institute Recommended Practice 580, Risk-Based Inspection, Second edition, 2009.

American Petroleum Recommended Practice 581, Risk-Based Inspection Technology, Second edition, 2008.

Asset Management PAS 55-2, Part 2: Guidelines for the application of PAS 55-1, 2008.

Model Risk Management Plan Guidance for Petroleum Refineries Guidance in Complying with EPA's RMP Rule (40 Code of Federal Regulations, Part 68) API Publication 760, Third Edition, February 2001

Robert H Perry et al, Perry's Chemical Engineer's Handbook, Seventh edition, The Mc Graw-Hill, 1999, Cap 26

The American Society of Mechanical Engineers, Guide to life cycle Management of Pressure Equipment Integrity, ASME PTB-2.2009.