

CAPÍTULO 2

2. PROCEDIMIENTO APLICADO EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS

2.1. Identificación del escenario de análisis

La identificación de los escenarios de análisis para la aplicación de la inspección basada en riesgos es un juego de circunstancias que involucra el deterioro de los equipos a analizar, la posibilidad de que estos fallen, los eventos subsecuentes a la falla y las consecuencias que se podrían tener, como por ejemplo:

- Susceptibilidad de los materiales a la corrosión, a la fatiga por carga cíclica o daños por impacto o falta de mantenimiento
- Eventos subsecuentes como incendios, explosiones o emisión de gases peligrosos

- Consecuencias a la salud y seguridad de los empleados y público en general, daños ambientales y pérdidas económicas de producción y equipos.

Para la identificación del escenario existen diferentes técnicas que ayudan a identificar las fallas y los eventos, tales como:

- Estudio de Operabilidad y Peligrosidad
- Análisis de los modos de fallas y sus efectos
- Análisis de árbol de fallas
- Análisis de árbol de eventos
- Análisis de seguridad humana

Las dos primeras técnicas fueron mencionadas en el capítulo anterior, mientras que el análisis de árbol de fallas es utilizado para la identificación y análisis de los eventos que pueden iniciar un accidente, con lo que se logra determinar la cadena de eventos y circunstancias de una falla. Esta herramienta es muy utilizada para estudiar las rutas de porque un accidente puede ocurrir y es particularmente efectiva para la identificación de escenarios de accidentes. Para su aplicación se requiere de grandes habilidades

y esfuerzos para implementarlo, por lo que se utiliza solamente en industrias donde las consecuencias de las fallas pueden ser severas.

El análisis de árbol de eventos, al igual que la técnica anterior, es utilizado para la identificación de escenarios, basándose en que las fallas ocurren como resultado de una secuencia de eventos. Esta técnica es menos efectiva para el análisis de las causas de fallas en un sistema.

El análisis de la seguridad humana es una medición que cuantifica la interacción entre el ser humano y el sistema. Su principal objetivo es la de proveer un conocimiento de la contribución hecha por todas las personas en el sistema a analizar, influyendo en la eficiencia de todo el personal tales como operadores, técnicos, ingenieros de mantenimiento, etc. que son tratados normalmente como un grupo.

2.2. Adquisición de datos de operación

Para un análisis de riesgos en forma cuantitativa es necesario obtener una completa descripción del diseño, fabricación, condiciones de servicios y programas de inspección de cada componente a ser evaluado. Para un análisis cualitativo la cantidad

de datos necesarios es menos extensa, pero la precisión de los requerimientos es similar. Si una definición consistente es utilizada para la recopilación de datos, la información obtenida para el análisis cualitativo puede ser utilizada para un posterior análisis cuantitativo.

La hoja de datos requeridos en un análisis de riesgo se muestra en el Apéndice D y esta compuesta de 6 partes principales que se describen a continuación

- **Encabezado.-** Es una descripción del equipo que contiene datos primarios del componente a inspeccionar, los cuales incluyen el número del equipo con que se encuentra registrado en la planta, la categoría a la que pertenece el equipo para establecer los valores genéricos de frecuencia de fallas de acuerdo a los datos de la Tabla 2.1, una descripción del equipo para que sea identificado por un analista que no este familiarizado con el proceso, número del elemento, número del plano de instrumentación y sistema de control, número de diagrama de flujo para identificar el flujo principal del proceso y obtener información sobre la composición, condición, caudal, etc., que debe ser registrada.

TABLA 2.1

CLASIFICACIÓN DE COMPONENTES EN CATEGORÍAS

Categoría	Equipos
Columna	Columna de destilación, absorbedor y recipientes similares
Compresor 1	Compresor centrífugo
Compresor 2	Compresor reciprocante
Filtro	Tipo estándar de filtro y colador
Aletas / Ventilador	Tipo de aleta o ventilador intercambiadora de calor
Intercambiador de calor, coraza	Coraza del condensador recalentador y otros tipos de intercambiadores
Intercambiador de calor, tubos	Tubo del condensador, recalentador y otros tipos de intercambiadores
Tuberías	Tuberías de cualquier servicio
Bomba 1	Bomba centrífuga, sello único
Bomba 2	Bomba centrífuga, sello doble
Bomba 3	Bomba reciprocante
Reactor	Recipiente de reacción
Tanque	Recipiente de almacenaje de baja presión
Recipiente	Recipiente a presión, cualquier servicio

- **Información Universal.-** Son datos aplicados a todos los equipos en estudio. Esta parte necesita ser llenada solo una vez y debe contener información sobre la identificación del trabajo realizado de acuerdo al código asignado por la planta, la condición con que se encuentra en la planta de acuerdo a un factor de modificación del equipo obtenido en el análisis de probabilidad de falla, la menor temperatura ambiental registrada y la actividad sísmica del sector
- **Información Mecánica.-** Son datos que se aplican a todos los equipos en estudio y que definen el diseño y fabricación de cada componente, la cual necesita ser llenada solamente una vez y contiene datos como los espesores originales, la longitud de acuerdo a la Tabla 2.2, diámetro principal con respecto a la Tabla 2.3, diámetros secundarios en caso de intercambiadores de calor de coraza, número de bandejas en el caso de columna de destilación, fecha de fabricación, código de fabricación, estado del código, revestimiento interior del recipiente, presión y temperatura de diseño, vida de diseño, tiempo en servicio, aislamiento, revestimiento exterior, tubería de intercambio de calor, material de construcción y complejidad de fabricación

TABLA 2.2

TABLA DE MEDICIONES MÍNIMAS REQUERIDAS

Tipo de equipo	Medición
Recipiente a presión	Longitud del cilindro, excluida las cabezas
Columnas de destilación	Para columnas de diámetro uniforme que son tratadas como un solo componente se mide la longitud total, excluida las cabezas
	Para columnas de diámetro uniforme que son tratadas como dos medias columnas, se mide la una mitad de la longitud total, excluida las cabezas
	Para columnas con reducción de sección, se mide la longitud de la sección específica, incluida la zona de transición
Intercambiador de calor, coraza	La longitud, excluyendo los canales y las cabezas
Intercambiador de calor, tubo	La longitud de los canales más la longitud de los tubos en la coraza
Bombas y compresores	Ninguno (Son considerados que no tienen volumen)
Tanques	Altura
Tuberías	Longitud total del segmento de tubería incluyendo cualquier ramificación

TABLA 2.3

TABLA DE MEDICIONES DE DIÁMETRO PRINCIPAL REQUERIDAS

Tipo de equipo	Medición
Recipientes, columnas	Diámetro interior
Intercambiadores de calor, coraza	Para corazas de diámetro uniforme, el diámetro interior
	Para intercambiadores tipo K u otros, el máximo diámetro perpendicular a la longitud. Para tuberías dobles, el diámetro del tubo exterior
Intercambiadores de calor, tubos	Para tuberías dobles, el diámetro del tubo interior. Para los otros tipos de intercambiadores, el diámetro del canal
Bombas, compresores	Ninguno
Tuberías	Diámetro nominal

- **Información del Proceso.-** Provee datos concernientes al proceso y operación de todos los elementos del equipo. La información que contiene incluye el grupo de inventario en caso de existir elementos similares en otros equipos, características del fluido del proceso, componentes representativos en la que se debe tratar de incluir información sobre el punto normal de evaporación, la temperatura de auto ignición, el peso molecular, la capacidad calorífica, la densidad y la toxicidad, las condiciones de operación tales como la presión, temperatura, concentración de contaminantes, la probabilidad de fallas con respecto a los tres datos anteriores de acuerdo a la Tabla 2.4, el porcentaje y densidad del líquido y vapor en el componente, el estado inicial y final de la emisión de fluido de acuerdo al cálculo de la consecuencia, las reparaciones por año, las condiciones que afectan a las válvulas de alivio, el rango de estabilidad y los datos para encontrar el módulo técnico. Estos últimos datos son suministrados en un análisis de la probabilidad de falla del equipo.
- **Información de mantenimiento o de inspección.-** da información completa del equipo con respecto al registro de inspección y mantenimiento

TABLA 2.4

PROBABILIDAD DE FALLAS EN LOS COMPONENTES DE UNA PLANTA

Categoría	Probabilidad de ocurrencia
A	Condición que puede ser observada con facilidad en el pasado
B	Condición que puede juzgarse a que ocurra durante el tiempo de vida con facilidad
C	Condición que puede juzgarse a que ocurra solamente en el tiempo de vida con facilidad de 10 plantas
D	Condición que es teóricamente posible pero puede juzgarse como que es improbable que ocurra

- **Información del sistema de seguridad.-** Permite calcular los valores de consecuencia en el análisis de riesgos de acuerdo a la efectividad de los componentes de detección y facilidades de mitigación que posee el equipo analizado, además del sistema de aislamiento, tal es el caso de las válvulas de seguridad. Estos componentes son clasificados de acuerdo a las guías encontradas en la Tabla 2.5

TABLA 2.5

GUÍA DE VALORACIÓN DEL SISTEMA DE DETECCIÓN Y AISLAMIENTO

Tipo de sistema de detección	Clasificación de la detección
Instrumentación diseñada específicamente para detectar pérdida de material por el cambio de las condiciones de operación en el sistema	A
Detector convenientemente localizado para determinar cuando el material esta sobre la parte externa del componente presurizado	B
Detección visual, cámaras o detectores con alcance marginal	C
Tipo de sistema de aislamiento	Clasificación del aislamiento
Sistema de aislamiento activado directamente por la instrumentación	A
Sistema activado por el operado desde un cuarto de control remoto	B
El aislamiento depende de la operación manual de las válvulas	C

2.3. Identificación del deterioro y modos de fallas

Una adecuada identificación de los mecanismos de deterioro y del modo de falla a que están susceptibles todos los equipos incluido en un programa de inspección basado en riesgos es esencial para que el programa tenga la efectividad deseada. Un especialista en metalurgia o en corrosión debe ser consultado para definir los mecanismos de deterioro del equipo. Los datos usados deberán ser validados y documentados.

Es importante la identificación del mecanismo de deterioro que puede ocurrir en las industrias de procesos químicos y de hidrocarburos, el cual depende del entendimiento completo de la operación de los equipos involucrados y de la interacción con el ambiente químico y condiciones mecánicas.

Existen 4 mecanismos importantes de deterioro observados en este tipo de industrias: Reducción de espesor, Fisuras por corrosión bajo esfuerzos, Deterioro de propiedades metalúrgicas y ambientales, y Deterioro de propiedades mecánicas.

La reducción de espesor incluye la corrosión general, la corrosión localizada, picaduras y otros mecanismos que causan pérdida de material en las superficies internas y externas. Los efectos de la

reducción de espesor pueden determinarse por medio de las mediciones de espesores, edad del equipo, tasa de corrosión, presión de diseño, presión y temperatura de operación y tipos de inspección realizadas.

Las fisuras por corrosión bajo esfuerzo ocurren cuando los equipos son expuestos a diferentes ambientes que provocan fisuras. La susceptibilidad puede considerarse alta, media o baja dependiendo de los materiales de construcción, condiciones de operaciones, concentración de sustancias corrosivas en el proceso y variables de fabricación tal como un tratamiento térmico después de la soldadura, estas fisuras pueden resultar en fugas o ruptura en los equipos.

El deterioro de las propiedades metalúrgicas y ambientales dependen por lo general del ambiente del proceso y del cambio de las propiedades físicas del material, la más común de las fallas es la ocurrida por el ataque por hidrógeno a alta temperatura en aceros al carbono y de baja aleación, la cual depende del tiempo de exposición, la presión parcial del hidrógeno, la temperatura de operación y del material de construcción.

El deterioro de las propiedades mecánicas depende de muchos factores al igual que el caso anterior. Los mecanismos más comunes son la fatiga (térmica, mecánica y de corrosión), ruptura por fluencia del material y sobrecarga de tensión.

2.4. Análisis de las consecuencias de fallas

El análisis de consecuencias dentro de un programa de inspección basado en riesgo es utilizado para establecer el nivel relativo de riesgo de los diferentes componentes involucrados con respecto a que se presente una falla. Este tipo de análisis puede ser realizado de manera cualitativa o cuantitativa.

En un análisis cualitativo, se obtiene diferentes categorías de consecuencia que van desde la A hasta la E como nivel alto o bajo respectivamente, los cuales son determinados por diferentes factores de peso que involucran un análisis del fluido del proceso involucrado, en donde se analiza la inflamabilidad, reactividad y toxicidad del mismo.

En un análisis cuantitativo, el cálculo de las consecuencias involucra uno o más escenarios de fallas basados en el tipo de fluido del proceso, el estado del fluido dentro del equipo, las propiedades importantes del fluido, las variables de operación en el

proceso, la cantidad de masa que puede ser expulsada en caso de fugas, los modos de falla y el estado del fluido después de su emisión en condiciones ambientales.

Dentro de las unidades de medición utilizadas en el análisis de consecuencia, se tiene que considerar primero la naturaleza del peligro existente alrededor de los componentes analizados, para luego seleccionar la unidad más adecuada para expresar las consecuencias que podría tenerse en caso de ocurrir alguna falla.

Entre las unidades utilizadas en la determinación de las consecuencias se tiene principalmente el costo con respecto a la pérdida de producción, pérdida de producto, reparación o reemplazo de equipos, interrupción de negocios, pérdidas de mercado y compensaciones.

Otras de las unidades utilizadas es la de área afectada en caso de ocurrir una falla y va a depender de las características del fluido del proceso tales como toxicidad y inflamabilidad.

Una unidad común también utilizada es el daño ambiental que involucra parámetros como las tierras perdidas por año o número de recursos biológicos consumidos. También es expresada en algunos casos usando el costo, en términos de dólares por año.

2.4.1. Determinación de las consecuencias

La determinación de las consecuencias dependerá del tipo de análisis que se está realizando en cada componente. Si el análisis es de tipo cualitativo, este requerirá de la información general de cada componente. La cual comprende principalmente las características del fluido del proceso en lo que respectan a su nivel de inflamabilidad, reactividad y toxicidad de acuerdo a la norma 704 de la NFPA, de la cantidad de material disponible en el interior de cada componente, sus propiedades a condiciones atmosféricas, las condiciones de seguridad existentes y de la población cercana al lugar donde se encuentra el componente en análisis. Estos factores son colocados en una tabla de evaluación y el resultado final genera un rango de consecuencia entre A hasta E, donde A representa un nivel de consecuencia bajo y E representa un nivel de consecuencia alto. Estas tablas de evaluación serán presentadas más adelante en la sección de este capítulo correspondiente a la determinación del índice de riesgo de forma cualitativa.

Para un análisis cuantitativo de las consecuencias del fluido de trabajo de los componentes en estudio, se deben realizar los siguientes ocho pasos que se mencionan y explican a continuación y su relación se observa en la Figura 2-1.

- a) Determinación del fluido representativo y sus propiedades
- b) Seleccionar el juego de agujeros, para encontrar el posible rango de probabilidad en el cálculo del riesgo
- c) Estimación de la cantidad total de fluido disponible en una emisión
- d) Estimación la tasa potencial de emisión
- e) Definir el tipo de emisión, para determinar el método a usar para el modelado de dispersión y la consecuencia
- f) Seleccionar la fase final del fluido (Líquido o gas)
- g) Evaluar el efecto de reacción después de una fisura
- h) Determinación del área potencialmente afectada por la emisión, o el costo relativo en el tiempo de para

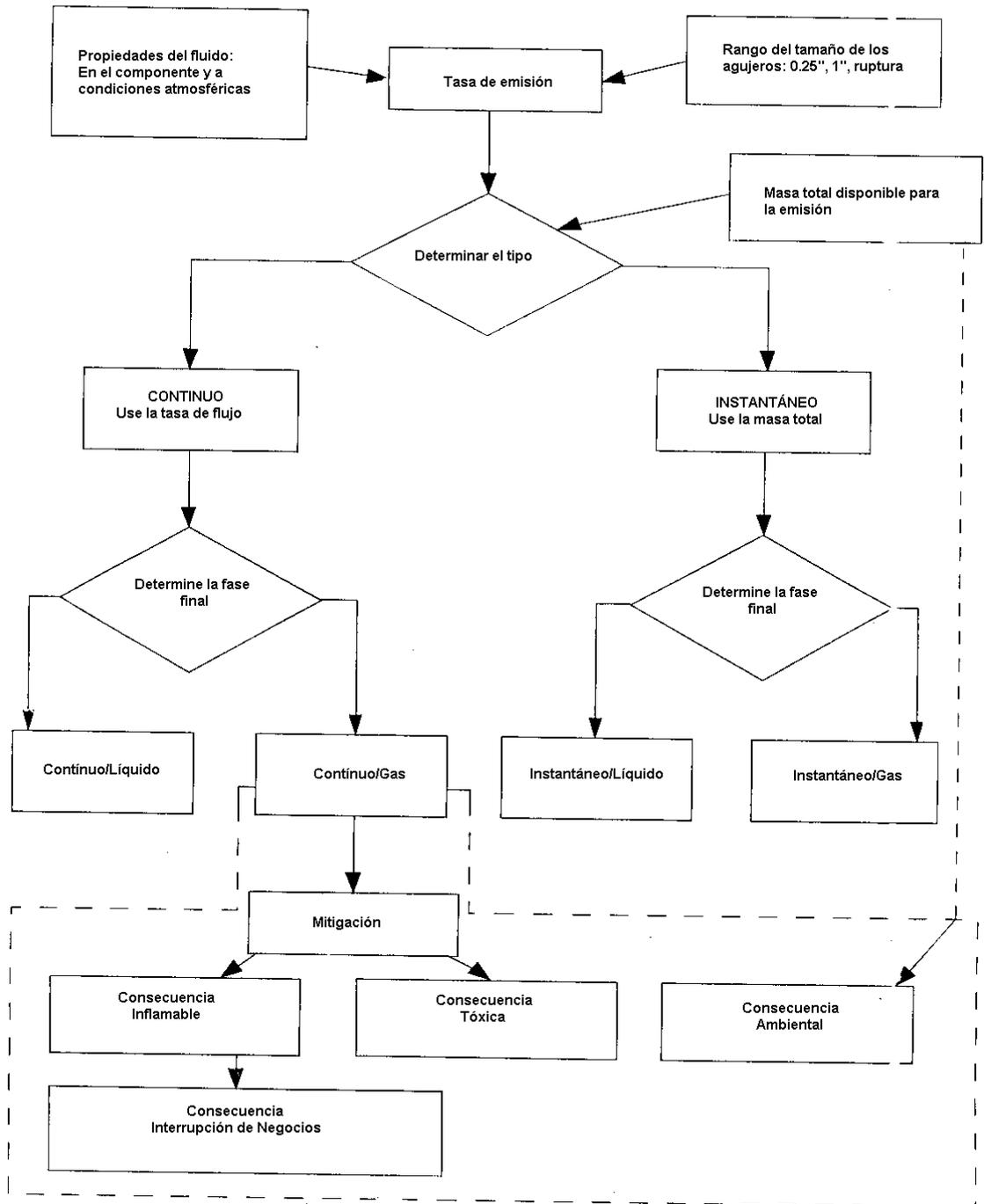


FIGURA 2-1. FLUJO PARA EL CÁLCULO DE LA CONSECUENCIA

- **Determinación del fluido representativo.**- Posee una gran importancia, debido a que va a definir todo el análisis que se va a realizar al determinar el nivel de consecuencias y además son pocos los fluidos de procesos que son considerados como material puro, estos materiales pueden ser encontrados en la Tabla 2.6.

Para fluidos mezclados, el fluido representativo debería ser definido primero por el punto normal de evaporación y el peso molecular y segundo por su densidad. En caso de no conocer estos valores, se puede calcular el valor de la propiedad de la mezcla con la siguiente ecuación.

$$\text{Propiedad}_{\text{Mezcla}} = \sum x_i \cdot \text{Propiedad}_i \quad (\text{ec. 2-1})$$

En donde x_i representa la fracción molar de cada compuesto y Propiedad_i puede ser el punto normal de evaporación, el peso molecular o la densidad. Estas propiedades pueden encontrarse también en los libros de química y en apéndice E se detallan las propiedades de los fluidos más representativos.

TABLA 2.6

LISTA DE MODELOS DE MATERIALES EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS

Material Representativo	Ejemplo de materiales utilizados
C ₁ — C ₂	Metano, etano, etileno, GLN
C ₃ — C ₄	Propano, butano, GLP
C ₅	Pentano
C ₆ — C ₈	Gasolina, nafta, heptano
C ₉ — C ₁₂	Diesel, keroseno
C ₁₃ — C ₁₆	Gasolina de avión, gas atmosférico
C ₁₇ — C ₂₅	Bunker, crudo
C ₂₅₊	Residuos, crudo pesado
H ₂	Hidrógeno solamente
H ₂ S	Ácido sulfhídrico solamente
HF	Ácido fluorhídrico
Agua	Agua
Vapor	Vapor
Ácido (bajo)	Ácido de baja presión y NaOH
Ácido (medio)	Ácido de baja presión y NaOH
Ácido (alto)	Ácido de baja presión y NaOH
Aromáticos	Benzeno, tolueno, xileno
Estireno	Estireno

- **Selección del juego de agujeros.-** Para el cálculo del riesgo se debe seleccionar un juego de tamaños de agujeros apropiado, los cuales ya se encuentran preestablecidos y estos agujeros representan los casos de tamaño pequeño, mediano, grande y ruptura.

Dependiendo del tipo de componente, algunos tamaños de agujeros no serán aplicables en la determinación de las consecuencias.

Para el caso de tuberías, los 4 tamaños son utilizados, siempre que el diámetro de la fisura sea menor o igual al diámetro de la tubería analizada.

En el caso de bombas, no se considera la ruptura y se utiliza solamente los tres primeros tamaños. Si el análisis se realiza en compresores de tipo centrífugo o recíprocante, solo se deberá utilizar los tamaños mediano y largo.

En la Tabla 2.7 se muestran los tamaños de agujeros utilizados para realizar el análisis cuantitativo del riesgo de cada componente en estudio.

TABLA 2.7

TAMAÑO DE AGUJEROS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS CUANTITATIVO

Tamaño de agujero	Rango (pulgadas)	Valor representativo (pulgadas)
Pequeño	0 – ¼	¼
Mediano	¼ - 2	1
Largo	2 – 6	4
Ruptura	> 6	Diámetro del componente, como máximo 16

En caso de analizar recipientes a presión, se utiliza los cuatro tamaños de agujeros para todos los tipos de componentes existentes que se mencionan a continuación.

- a) Recipientes a presión estándar tales como acumuladores y reactores
- b) Filtros
- c) Columnas tales como las de destilación y absorbedores
- d) Intercambiadores de calor, incluyendo las corazas y los tubos
- e) Aletas / Ventiladores de enfriamiento

En tanques de almacenamiento atmosféricos, se requerirá de tamaños especiales de agujeros. Esto se debe a que el piso de los tanques pueden tener fisuras por un largo periodo de tiempo antes de que sea detectado, lo cual genera una contaminación en el suelo, dependiendo del producto almacenado.

La inspección basada en riesgos asume que estos tanques están al menos parcialmente sobre tierra y que el tiempo de detección de una fisura es dependiente del método de detección. Como resultado de estas limitaciones, los siguientes tamaños de agujeros y localizaciones son asumidos para este tipo de recipientes.

- a) Fisuras de $\frac{1}{4}$, 1 y 4 pulgadas para las superficies sobre el suelo de los tanques
 - b) Ruptura del tanque desde las paredes o el piso, con tal de que en la ruptura del piso pueda fluir libremente hacia el suelo alrededor del tanque
 - c) Fisuras de $\frac{1}{4}$ y 1 pulgada en el piso de un tanque de almacenamiento atmosférico.
- **Estimación de la cantidad de fluido disponible en una emisión.-** Establecido los agujeros a utilizar en el análisis, se estima la cantidad de fluido disponible en el componente. El análisis cuantitativo no utiliza los detalles de modelación hidráulica, más bien utiliza un procedimiento simple en la determinación de la masa

de fluido que realmente podría ser emitida en caso de fisuras. El procedimiento estima la masa disponible como el mínimo de dos cantidades:

- a) La masa en el componentes más la masa que puede ser añadida en 3 minutos, con la misma tasa de flujo desde la fisura del elemento, pero limitado hasta 8 pulgadas en las fisuras en caso de ruptura
- b) El total de la masa del fluido modelado asociado con las partes del componente.

El tiempo de 3 minutos se basa en la dinámica de una gran fisura, debido a la alimentación del recipiente, donde el operador reacciona ante una fisura para interrumpir la operación, lo que toma de 1 a 5 minutos, por lo que el tiempo de 3 minutos es un valor promedio dentro de este rango. En caso de fisuras pequeñas, este tiempo no se aplica, debido a que estas no pueden causar que un recipiente se vacíe en forma perceptible.

Para estimar la cantidad de líquido disponible, se utilizan los datos mostrados en la Tabla 2.8, en caso de no conocer el nivel normal de operación.

TABLA 2.8

**CONSIDERACIONES UTILIZADAS PARA DETERMINAR LA CANTIDAD
DE LÍQUIDO EN LOS COMPONENTES**

Componente	Porcentaje de Volumen
Líquidos / Columnas de líquido	50% de cada material
Bandeja de columna de destilación	
• Mitad superior	50% vapor
• Mitad inferior	50% líquido
Marmitas y secadores	10% líquido
Acumuladores	50% líquido
Separadores	50% de volumen de cada fase
Bombas y compresores	despreciable
Intercambiadores de calor	50% lado de coraza 50% lado de los tubos
Hornos	50% líquido, 50% vapor en tubos
Tuberías	100% llenas

- **Estimación de la tasa de emisión.-** Esta puede ser instantánea o continua. Este valor dependerá de las propiedades físicas del material, la fase inicial y las condiciones del proceso. Los flujos de dos fases son omitidos por simplicidad en el análisis. Las tasas de emisión en el caso de líquidos se encuentra con la siguiente ecuación.

$$Q_L = C_d A \sqrt{2\rho - \rho \frac{g_c}{144}} \quad (\text{ec. 2.2})$$

El coeficiente de descarga C_d , toma un valor de 0.61 en el análisis de riesgos. En caso de gases, se tiene que estimar primero si la emisión será subsónica o sónica, de acuerdo a la siguiente expresión.

$$P_{trans} = P_a \left(\frac{K+1}{2} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (\text{ec. 2.3})$$

Si la presión en el equipo es mayor a la encontrada con la ecuación 2.3, la descarga de gas será sónica (ec. 2.4), caso contrario se utilizará la descarga subsónica (ec. 2.5), donde el valor de C_d se encuentra entre 0.85 a

$$W_{gs} = C_d AP \sqrt{\left(\frac{KM}{RT}\right) \frac{g_c}{144} \left(\frac{2}{K+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \quad (\text{ec. 2.4})$$

$$W_{gss} = C_d AP \sqrt{\left(\frac{KM}{RT}\right) \frac{g_c}{144} \left(\frac{2K}{K-1}\right) \left(\frac{P_a}{P}\right)^{\frac{2}{k}} \left[1 - \left(\frac{P_a}{P}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]} \quad (\text{ec. 2.5})$$

- **Tipo de emisión.-** Puede ser instantánea o continua. Para determinarlas, se analiza el tamaño de agujero y la cantidad emitida durante 3 minutos, de acuerdo a las siguientes consideraciones:
 - a. Todo agujero pequeño se modela como continua.
 - b. Si la cantidad emitida en 3 minutos es de al menos 10000 libras en los demás tamaños de agujeros, se modelará la emisión como instantánea
 - c. Si la tasa de emisión es baja, se modelará como continua.

Las características de dispersión del fluido después de la emisión son dependientes de la fase con respecto al medio ambiente. La Tabla 2.9 provee una guía para determinar la fase del fluido.

TABLA 2.9

GUÍA PARA DETERMINAR LA FASE DE UN FLUIDO

Fase en condiciones de operación	Fase en condiciones ambientales	Determinación de la fase final para el cálculo de consecuencias
Gas	Gas	Modele como gas
Gas	Líquido	Modele como gas
Líquido	Gas	Modele como gas, a menos que la temperatura de evaporación al ambiente sea mayor a 80° F, en ese caso modele como líquido
Líquido	Líquido	Modele como líquido

- **Efecto de reacción.-** La evaluación de la respuesta después de una fisura es el paso final en el análisis de las consecuencias. En este punto, varios sistemas de mitigación en el sitio son evaluados en su efectividad de limitar las consecuencias. Dos parámetros importantes son determinados en este punto: La duración de la emisión y la reducción de la propagación de material peligroso. La duración de la emisión es un parámetro crítico en la evaluación de las consecuencias tóxicas y ambientales.

Por estas razones, son necesarios diferentes estudios para estimar la respuesta en los 4 tipos de análisis de consecuencias en el análisis basado en riesgo. En emisiones de material inflamables, las válvulas aislantes sirven para reducir la tasa de emisión para una cantidad específica, dependiendo de la calidad de tales componentes. Las consecuencias ambientales son mitigadas de dos maneras, la primera es a través de barreras físicas y la segunda es el sistema de aislamiento para limitar la duración de la emisión. En emisiones tóxicas, la duración sirve como dato de entrada para estimar las consecuencias tóxicas y los

sistemas de mitigación tales como cortinas de aguas sirven para reducir la cantidad de material esparcido.

La gran mayoría de industrias posee distintos tipos de sistemas de mitigación, diseñados para detectar, aislar y reducir los efectos de las emisiones de material peligroso. La inspección basada en riesgo ha desarrollado una metodología simplificada para evaluar la efectividad de los diferentes sistemas por medio de dos pasos. El primero es clasificar el sistema de detección y aislamiento y el segundo estima los efectos que producen los sistemas de detección y aislamiento en las consecuencias. La tabla 2.5 asigna un rango a los sistemas de detección y aislamiento. La información de esta tabla es solamente aplicada en emisiones continuas.

Los efectos de la clasificación asignada a los sistemas de detección y aislamiento son obtenidos de la tabla 2.10, la cual estima la duración de una fuga, de acuerdo al tiempo utilizado en la detección de la fuga, en el análisis del incidente y decisión de la acción correctiva y la duración de las acciones de correctivas.

TABLA 2.10

ESTIMACIÓN DE LA DURACIÓN DE UNA FUGA

Sistema de detección	Sistema de aislamiento	Duración de la fuga
A	A	20 minutos en fisura de ¼" 10 minutos en fisura de 1" 5 minutos en fisura de 4"
A	B	30 minutos en fisura de ¼" 20 minutos en fisura de 1" 10 minutos en fisura de 4"
A	C	40 minutos en fisura de ¼" 30 minutos en fisura de 1" 20 minutos en fisura de 4"
B	A o B	40 minutos en fisura de ¼" 30 minutos en fisura de 1" 20 minutos en fisura de 4"
B	C	1 hora en fisura de ¼" 30 minutos en fisura de 1" 20 minutos en fisura de 4"
C	A, B o C	1 hora en fisura de ¼" 40 minutos en fisura de 1" 20 minutos en fisura de 4"

- **Estimación de las consecuencias.-** Realizados los pasos previamente descritos, se procede a la determinación de la consecuencia de acuerdo a las diferentes categorías existentes, las cuales son:
 - a. Las consecuencias inflamables y tóxicas son calculadas por medio de un árbol de eventos a fin de determinar la probabilidad de los diferentes resultados combinado con los valores de las ecuaciones antes mencionadas, y poder determinar la magnitud de las consecuencias
 - b. El riesgo de la interrupción de los negocios es estimado como función de los resultados de las consecuencias inflamables
 - c. Las consecuencias ambientales son determinadas directamente a partir de la masa disponible para una emisión.

Las categorías antes mencionadas son elegidas de acuerdo a la necesidad de cada compañía, debido a que las consecuencias inflamables y tóxicas son medidas en función del área afectada, mientras que las

consecuencias ambientales y por interrupción de los negocios son estimadas en unidad monetaria.

▶ Consecuencias Inflamables.- Para materiales inflamables, la consecuencia es determinada por el área afectada debido a la ignición de una emisión. El resultado final obtenido dependerá de la probabilidad de las siguientes opciones de salida:

- a. Dispersiones seguras
- b. Chorro de fuego
- c. Explosión de una nube de vapor
- d. Llamarada
- e. Bola de fuego
- f. Estanque de fuego

El procedimiento para encontrar las consecuencias inflamables es simplificado enormemente en el análisis de riesgo y es determinado con la siguiente información:

- a. El material representativo y sus propiedades
- b. El tipo y fase de dispersión
- c. La tasa de emisión o masa, dependiendo del tipo de dispersión y de los efectos de las medidas de mitigación

Con estos datos, se procede a encontrar la consecuencia por medio de 6 pasos. El primero consiste en anotar el tipo de emisión y la fase de la dispersión. Segundo, se selecciona entre las Tablas 2.11, 2.12, 2.13 y 2.14, de acuerdo al tipo de emisión. Tercero, elegir la sección de la tabla seleccionada a utilizar, donde la parte izquierda es para gases y la parte derecha es para líquidos. Cuarto, elegir si se desea saber el área afectada del componente o el área de fatalidad. Quinto, seleccionar la ecuación a utilizar dependiendo del material. Por último, se reemplaza el valor de X por la tasa de emisión o la masa emitida, dependiendo del tipo de emisión. El resultado es el área que probablemente será afectada en pies cuadrados.

TABLA 2.11

**ECUACIONES DE CONSECUENCIAS PARA EMISIONES CONTINUAS.
AUTOIGNICIÓN NO PROBABLE**

Material	Fase final gas		Fase final líquido	
	Área afectada del componente	Área de fatalidad	Área afectada del componente	Área de fatalidad
C ₁ — C ₂	$A = 43x^{0.98}$	$A = 110x^{0.96}$		
C ₃ — C ₄	$A = 49x^{0.98}$	$A = 125x^{0.96}$		
C ₅	$A = 25.2x^{0.98}$	$A = 62.1x^{1.00}$	$A = 536x^{0.90}$	$A = 1544x^{0.90}$
C ₆ — C ₈	$A = 29x^{0.98}$	$A = 68x^{0.96}$	$A = 182x^{0.89}$	$A = 516x^{0.89}$
C ₉ — C ₁₂	$A = 12x^{0.98}$	$A = 29x^{0.96}$	$A = 130x^{0.90}$	$A = 373x^{0.89}$
C ₁₃ — C ₁₆			$A = 64x^{0.90}$	$A = 183x^{0.89}$
C ₁₇ — C ₂₅			$A = 20x^{0.90}$	$A = 57x^{0.89}$
C ₂₅₊			$A = 11x^{0.91}$	$A = 33x^{0.89}$
H ₂	$A = 198x^{0.992}$	$A = 614x^{0.993}$		
H ₂ S	$A = 32x^{1.00}$	$A = 52x^{1.00}$		
HF				
Aromáticos	$A = 121.39x^{0.8911}$	$A = 359x^{0.8821}$		
Estireno	$A = 121.39x^{0.8911}$	$A = 359x^{0.8821}$		

TABLA 2.12

ECUACIONES DE CONSECUENCIAS PARA EMISIONES

INSTANTÁNEAS. AUTOIGNICIÓN NO PROBABLE

Material	Fase final gas		Fase final líquido	
	Área afectada del componente	Área de fatalidad	Área afectada del componente	Área de fatalidad
C ₁ — C ₂	$A = 41x^{0.67}$	$A = 79x^{0.67}$		
C ₃ — C ₄	$A = 28x^{0.72}$	$A = 57.7x^{0.75}$		
C ₅	$A = 13.4x^{0.73}$	$A = 20.4x^{0.76}$	$A = 1.49x^{0.85}$	$A = 4.34x^{0.85}$
C ₆ — C ₈	$A = 14x^{0.67}$	$A = 26x^{0.67}$	$A = 4.35x^{0.78}$	$A = 12.7x^{0.78}$
C ₉ — C ₁₂	$A = 7.1x^{0.66}$	$A = 13x^{0.66}$	$A = 3.3x^{0.76}$	$A = 9.5x^{0.76}$
C ₁₃ — C ₁₆			$A = 0.46x^{0.90}$	$A = 1.3x^{0.88}$
C ₁₇ — C ₂₅			$A = 0.11x^{0.90}$	$A = 0.32x^{0.91}$
C ₂₅₊			$A = 0.03x^{0.91}$	$A = 0.081x^{0.99}$
H ₂	$A = 545x^{0.657}$	$A = 982x^{0.993}$		
H ₂ S	$A = 148x^{0.63}$	$A = 271x^{1.00}$		
HF				
Aromáticos	$A = 2.26x^{0.8227}$	$A = 10.5x^{0.7583}$		
Estireno	$A = 2.26x^{0.8227}$	$A = 10.5x^{0.7583}$		

TABLA 2.13

**ECUACIONES DE CONSECUENCIAS PARA EMISIONES CONTINUAS.
AUTOIGNICIÓN PROBABLE**

Material	Fase final gas		Fase final líquido	
	Área afectada del componente	Área de fatalidad	Área afectada del componente	Área de fatalidad
C ₁ — C ₂	$A = 280x^{0.95}$	$A = 745x^{0.92}$		
C ₃ — C ₄	$A = 315x^{1.00}$	$A = 837x^{0.92}$		
C ₅	$A = 304x^{1.00}$	$A = 811x^{1.00}$		
C ₆ — C ₈	$A = 313x^{1.00}$	$A = 828x^{1.00}$	$A = 525x^{0.95}$	$A = 1315x^{0.92}$
C ₉ — C ₁₂	$A = 391x^{0.95}$	$A = 981x^{0.92}$	$A = 560x^{0.95}$	$A = 1401x^{0.92}$
C ₁₃ — C ₁₆			$A = 1023x^{0.92}$	$A = 2850x^{0.90}$
C ₁₇ — C ₂₅			$A = 861x^{0.92}$	$A = 2420x^{0.90}$
C ₂₅₊			$A = 544x^{0.90}$	$A = 1604x^{0.90}$
H ₂	$A = 1146x^{1.00}$	$A = 3072x^{1.00}$		
H ₂ S	$A = 203x^{0.89}$	$A = 375x^{0.94}$		
HF				
Aromáticos				
Estireno				

TABLA 2.14

**ECUACIONES DE CONSECUENCIAS PARA EMISIONES
INSTANTÁNEAS. AUTOIGNICIÓN PROBABLE**

Material	Fase final gas		Fase final líquido	
	Área afectada del componente	Área de fatalidad	Área afectada del componente	Área de fatalidad
C ₁ — C ₂	$A = 1079x^{0.62}$	$A = 3100x^{0.63}$		
C ₃ — C ₄	$A = 523x^{0.63}$	$A = 1768x^{0.63}$		
C ₅	$A = 275x^{0.61}$	$A = 959x^{0.63}$		
C ₆ — C ₈	$A = 76x^{0.61}$	$A = 962x^{0.63}$		
C ₉ — C ₁₂	$A = 281x^{0.61}$	$A = 988x^{0.63}$	$A = 6.0x^{0.53}$	$A = 20x^{0.54}$
C ₁₃ — C ₁₆			$A = 9.2x^{0.88}$	$A = 26x^{0.88}$
C ₁₇ — C ₂₅			$A = 5.6x^{0.91}$	$A = 16x^{0.91}$
C ₂₅₊			$A = 1.4x^{0.99}$	$A = 4.1x^{0.99}$
H ₂	$A = 1430x^{0.618}$	$A = 4193x^{0.621}$		
H ₂ S	$A = 357x^{0.61}$	$A = 1253x^{0.63}$		
HF				
Aromáticos				
Estireno				

Dependiendo de los sistemas de detección, aislamiento y mitigación, las características de las emisiones son ajustadas, de acuerdo a la tabla 2.15. Estos valores están basados en las experiencias obtenidas en el análisis cuantitativo del riesgo.

Este análisis de las consecuencias posee algunas limitaciones, debido a que el área encontrada no refleja donde va a ocurrir el daño, además que las ecuaciones utilizadas en las Tablas 2.11, 2.12, 2.13 y 2.14 fueron obtenidas a partir de un árbol de eventos estandarizado para cada sustancia. Estos factores resultan en una limitación en la inspección basada en riesgos.

TABLA 2.15

AJUSTES PARA LAS CONSECUENCIAS INFLAMABLES

Clasificación de la respuesta de los sistemas		Ajustes en las consecuencias
Detección	Aislamiento	
A	A	Reduzca la tasa de emisión en un 25%
A	B	Reduzca la tasa de emisión en un 20%
A o B	C	Reduzca la tasa de emisión en un 10%
B	B	Reduzca la tasa de emisión en un 15%
C	C	No hay ajustes
Sistema de mitigación		Ajustes en las consecuencias
Contenedores para derrame junto con un sistema de aislamiento B o mejor		Reduzca la tasa de emisión en un 25%
Sistema de inundación y monitores de agua contra incendios		Reduzca el área de consecuencia un 20%
Solamente monitores de agua contra incendios		Reduzca el área de consecuencia un 5%
Rociadores de espuma		Reduzca el área de consecuencia un 15%

- ▶ Consecuencias Tóxicas.- Para el análisis de las consecuencias tóxicas, se debe primero analizar que tipo de material es contenido en cada componente, debido a que este puede ser inflamable, tóxico o ambos, en donde la inspección basada en riesgo analiza cada una de estas posibilidades.

La inspección basada en riesgo evalúa el riesgo asociado con cuatro materiales tóxicos que típicamente contribuyen al riesgo de toxicidad en las refinerías, tales como el ácido fluorhídrico, ácido sulfhídrico, amoníaco y gas cloro. Las mismas aproximaciones pueden usarse para evaluar otros materiales tóxicos.

El primer paso en el análisis de consecuencias por toxicidad es el de seleccionar un juego de agujeros como se explico anteriormente y de acuerdo al material representativo en el componente, encontrar la tasa de emisión con las ecuaciones 2.2, 2.4 y 2.5 con respecto del porcentaje del material tóxico contenido dentro de los recipientes

en estudio. Se debe tener en cuenta que este análisis no se realiza si la concentración del material en un componente se encuentra por debajo del valor de peligro inmediato para la vida o la salud.

Es necesario estimar la duración de la emisión, la cual depende de la cantidad de material disponible en los componentes y sistemas auxiliares, del tiempo de detección y aislamiento y de las medidas de respuesta que deben ser tomadas. La máxima duración de una emisión en el análisis de riesgo es de 1 hora, debido a se espera que los planes de emergencia en cada compañía responda dentro de un límite de tiempo y además, los ensayos de toxicidad realizadas se han estimado en pruebas con animales con un tiempo de duración entre 5 a 60 minutos.

El tiempo es estimado por medio de la relación entre la cantidad de material disponible en el sistema con respecto a la tasa de emisión. Si el tiempo excede de una hora, deberá recomendarse

el uso de sistemas que disminuyan este tiempo. La duración más efectiva de una emisión se calcula como el mínimo entre los siguientes casos:

- a) Emisión en una hora
- b) Cantidad disponible dividida para la tasa de emisión
- c) Los valores recomendados en la tabla 2.10 sumado el tiempo para que el área aislada sea eliminada del contaminante.

El área afectada es obtenida por medio de las Figuras 2.2 a la 2.8 para las sustancias antes mencionada, dependiendo del tipo de emisión.

En caso de otra sustancia, se la puede ajustar a un juego de curvas desarrolladas para fugas de sustancias ácidas o cáusticas, dependiendo de la presión de trabajo en emisiones continuas aplicando las ecuaciones de la Figura 2.9. Si la emisión es instantánea, estas curvas no se utilizan y no existe un juego de curvas aplicable.

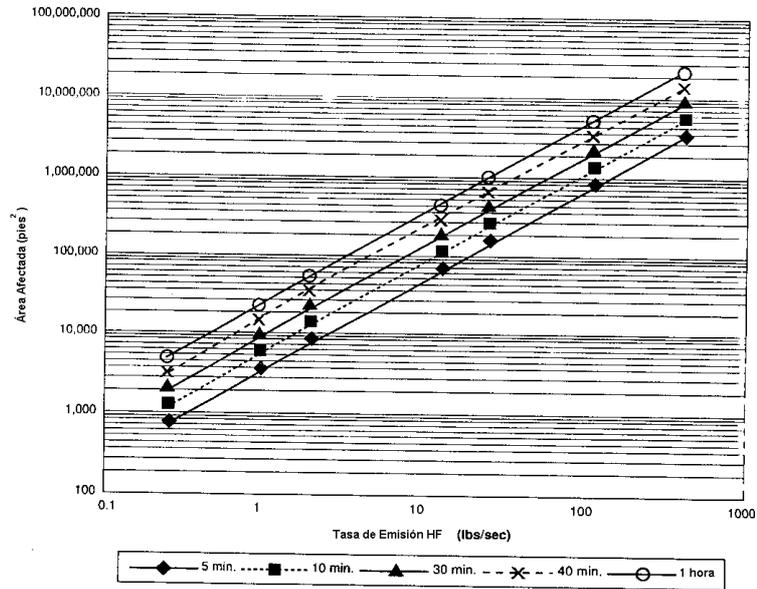


FIGURA 2-2. ÁREA AFECTADA POR EMISIONES CONTINUAS DE HF

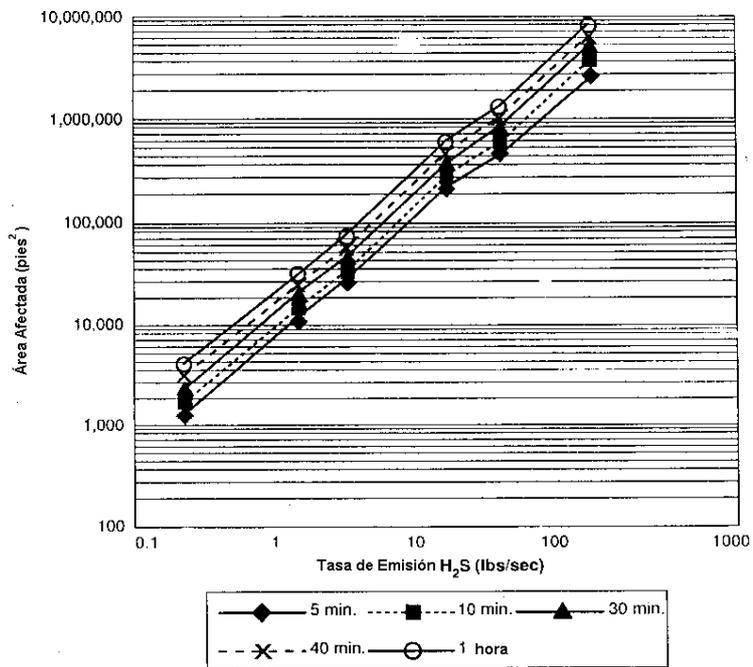


FIGURA 2-3. ÁREA AFECTADA POR EMISIONES CONTINUAS DE H₂S

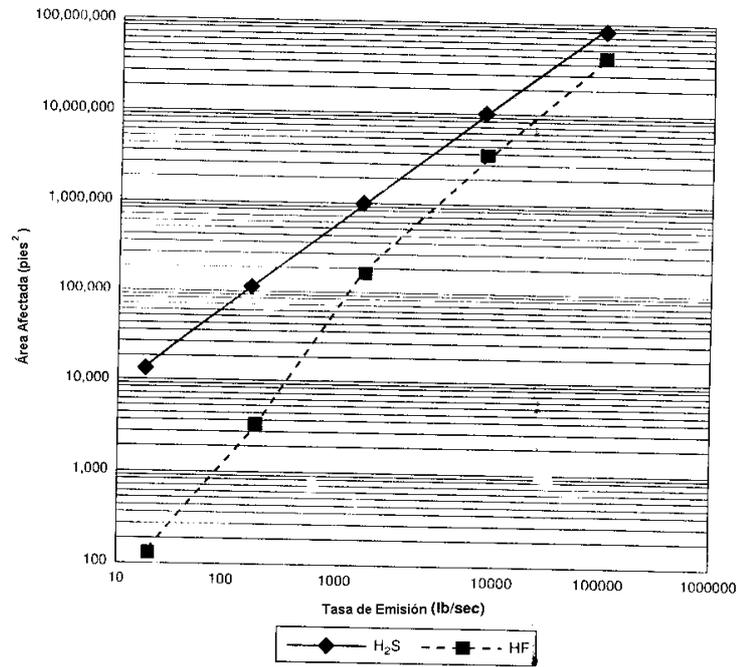


FIGURA 2-4. ÁREA AFECTADA POR EMISIONES INSTANTÁNEAS

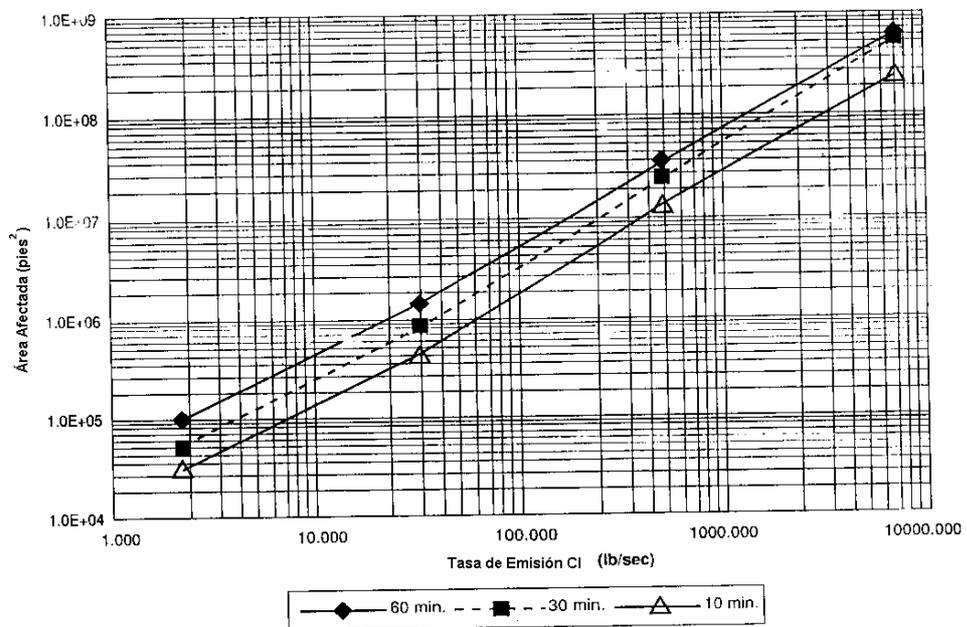


FIGURA 2-5. ÁREA AFECTADA POR EMISIONES CONTINUAS CI

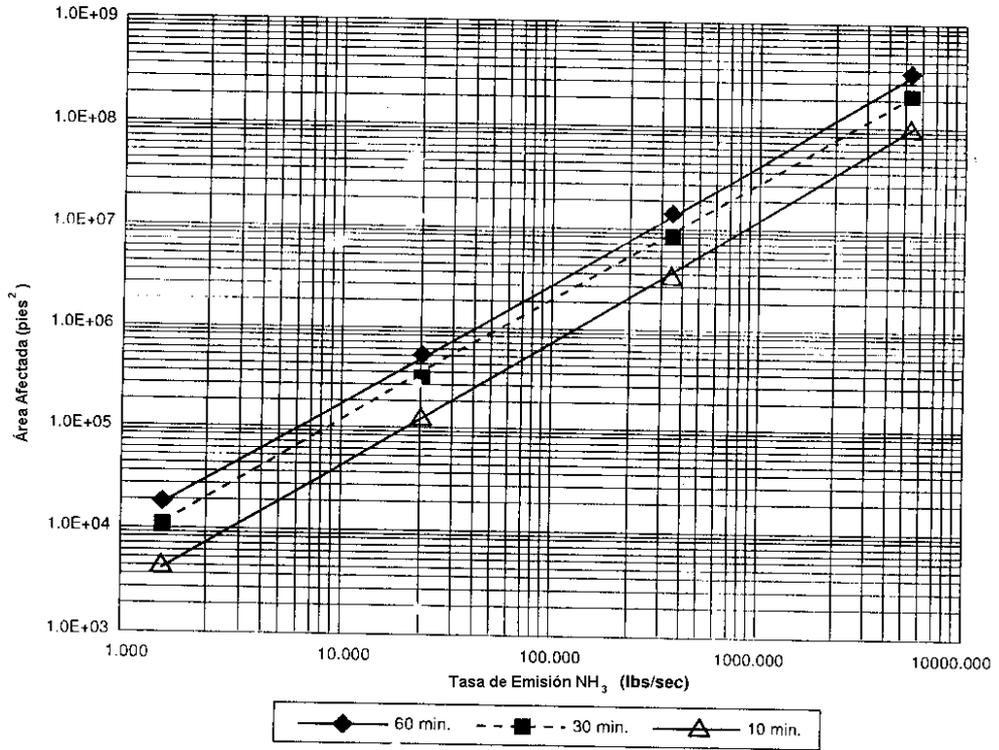


FIGURA 2-6. ÁREA AFECTADA POR EMISIONES CONTINUAS NH₃

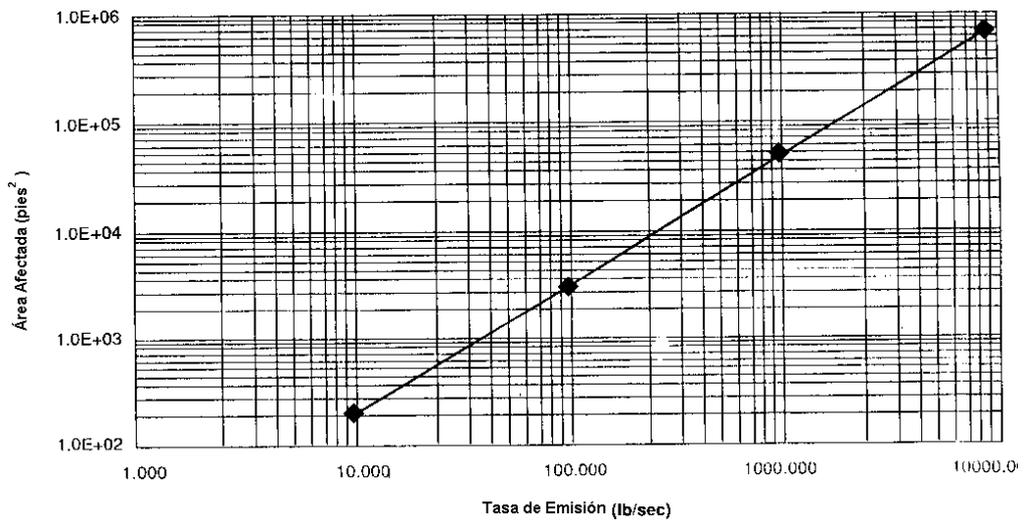


FIGURA 2-7. ÁREA AFECTADA POR EMISIÓN INSTANTÁNEA CI

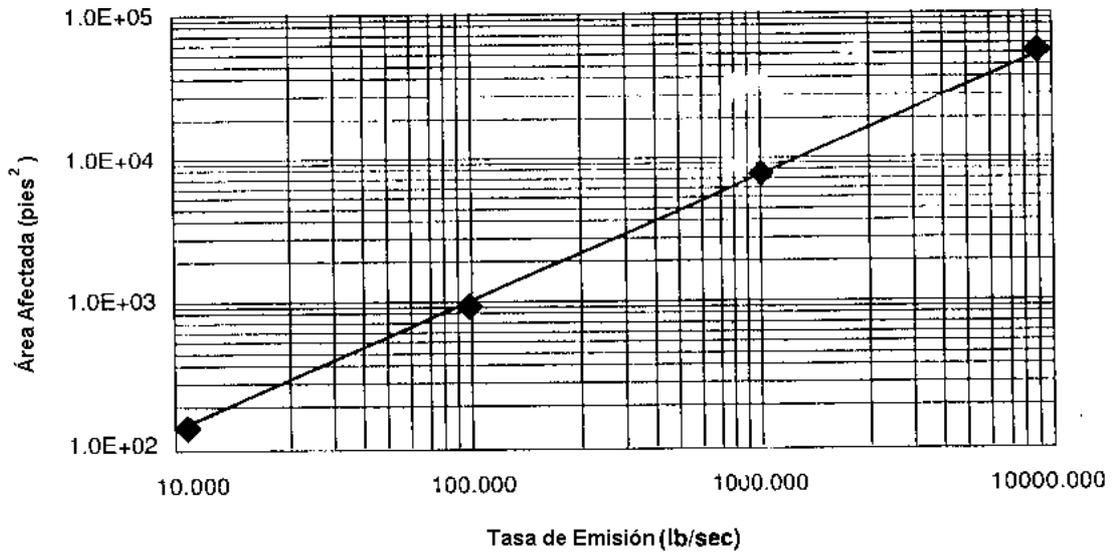


FIGURA 2-8. ÁREA AFECTADA POR EMISIÓN INSTANTÁNEA NH₃

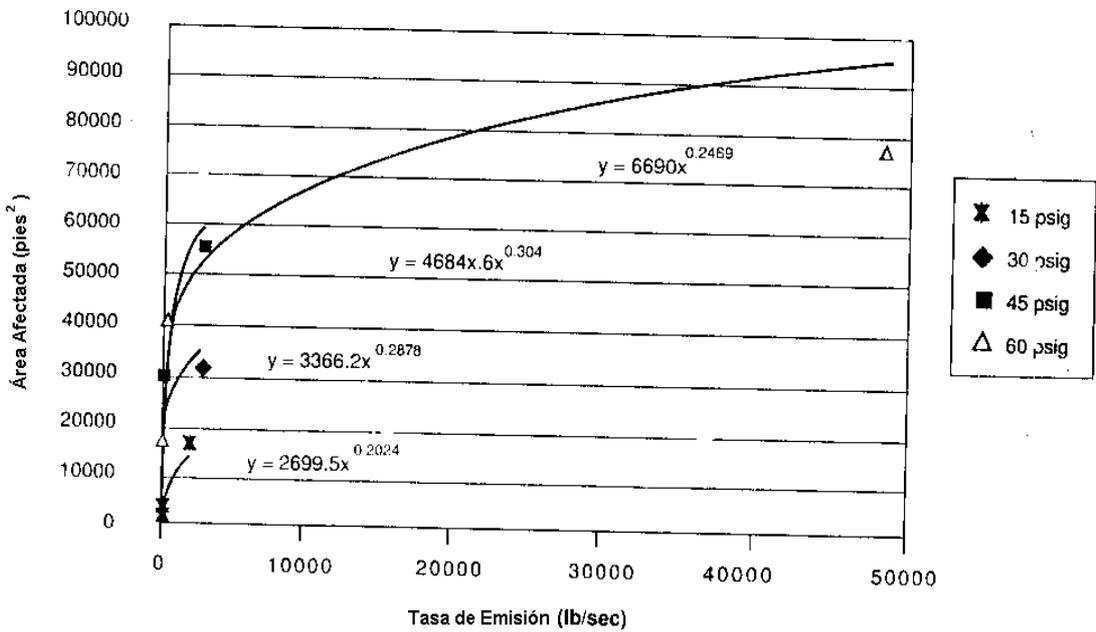


FIGURA 2-9. ÁREA AFECTADA POR ÁCIDOS Y CÁUSTICOS

Si los vapores emitidos por una sustancia son tóxicos, se debe tomar en cuenta el porcentaje de evaporación y aplicar las ecuaciones 2.6 para emisiones continuas y 2.7 para emisiones instantáneas. Estas ecuaciones también son aplicables para el vapor de agua

$$A = 0.6x \quad (\text{ec. 2.6})$$

$$A = 63.317x^{0.6384} \quad (\text{ec. 2.7})$$

El área afectada por toxicidad se ajusta dependiendo de los sistemas de detección, aislamiento y mitigación, por medio del factor de reducción del diseño del sistema de control.

- ▶ Consecuencias Ambientales.- Estas se expresarán en términos de costos y se sumarán a los costos del análisis de riesgo financiero. Para este estudio se deben conocer los datos del Apéndice F.

Las compañías tienen la opción de incluir los costos de limpieza del ambiente, debido que la mayoría de componentes se encuentran en áreas

diseñadas para que cualquier líquido no contamine el ambiente en caso de derrames, por lo que sólo se analiza la cantidad de fluido que no pueda ser contenido en estos sectores.

Si el estado final del fluido es líquido con la probabilidad que no ocurra auto ignición, se realiza el análisis. Si la temperatura de evaporación es menor a 200°F, se presume que el líquido se evaporará primero y no se hace el estudio.

Si la emisión es instantánea, se utiliza todo el contenido del recipiente y si es continua, se deberá calcular la duración de la emisión con la Tabla 2.10, teniendo en cuenta que el tiempo no este limitado por la tasa de flujo para cada agujero. Se usa el valor mínimo de la duración, tasa de flujo y densidad para calcular los galones de líquido derramado. Las propiedades se obtienen del Apéndice E. Además se toma en cuenta el porcentaje de líquido evaporado de la Tabla 2.16

TABLA 2.16

PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS EMITIDOS

Fluido	Peso molecular	Densidad	Temperatura de ebullición	% Evaporación en 24 horas
H ₂	2	4.433	-423	100
C ₁ — C ₂	23	15.639	-193	100
H ₂ S	34	61.993	-75	100
C ₃ — C ₅	58	36.209	31	100
HF	20	60.37	68	100
C ₆ — C ₈	100	42.702	210	90
C ₉ — C ₁₂	149	45.823	364	50
C ₁₃ — C ₁₆	205	47.728	502	10
C ₁₇ — C ₂₅	280	48.383	651	5
C ₂₅₊	422	56.187	981	2

El líquido derramado se multiplicará por el costo de limpieza. Este valor se multiplicará por la frecuencia con que ocurre un agujero junto con el módulo técnico, estos dos valores se explicarán en el análisis de probabilidad de falla. Sume todos los valores involucrados en el análisis de costo ambiental y multiplique este resultado por 0.9, el cual representa la cantidad que se quemará y no contribuirá en una contaminación ambiental.

Si el equipo en estudio es el fondo de un tanque, solo se consideran los agujeros de pequeño y mediano. El usuario debe especificar el tipo de fundación y la forma de detectar fugas, de acuerdo a la Tabla 2.17. Con la tasa de flujo basado en el tipo de fundación y el tiempo de pruebas en los métodos de detección de fugas de la Tabla 2.18, se determina la cantidad emitida en una fuga, la cual se multiplica por el costo de limpieza bajo tierra, la frecuencia genérica y el módulo técnico. El valor representa el riesgo de fugas bajo tierra. La Tabla 2.19 muestra los costos producidos por la eliminación de contaminantes.

TABLA 2.17

FUGAS EN TANQUES BAJO TIERRA

Tipo de fundación	Tasa de emisión (gal/día)	
	Agujero de ¼ pulgada	Agujero de 1 pulgada
Arcilla	0.038	0.15
Fango	5.25	24
Arena	6.5	29
Grava	42	192

TABLA 2.18

TIEMPO DE DETECCIÓN EN FUGA DE PISO DE TANQUES

Método de detección	Tiempo de detección (días) o entrada (galones)
Prueba de rigidez	Tiempo – intervalo entre pruebas
Cantidad monitoreada	Entrada – 10% del volumen del tanque
Serpentines	Entrada – 500 galones
Camisas de vapor	Tiempo – 1 mes

TABLA 2.19

COSTOS DE LIMPIEZA DE CONTAMINANTES

Salida	Primario/Secundario	Unidad
Volumen emitido por cada agujero	Secundario	Galones
Volumen total emitido	Secundario	Galones
Costo de limpieza por cada agujero	Secundario	\$
Costo total de limpieza	Secundario	\$
Riesgo por limpieza por cada agujero	Secundario	\$/año
Riesgo total por limpieza	Primario	\$/año

- ▶ Consecuencias Financieras.- El último análisis es el que involucra las consideraciones financieras, producto de la interrupción de los negocios. Esto involucra los costos debido al área afectada, reparación y reemplazo, tiempo de para, indemnizaciones y limpieza. Las consecuencias se evalúan para cada agujero y son combinadas con la probabilidad de falla.

El primer paso consiste en estimar los costos por los daños ocurridos en un componente. Si los costos no están disponibles, se pueden utilizar los valores sugeridos en el Apéndice G como una aproximación, los cuales fueron estimados en función del acero al carbono. Si se tiene otro material, se deberá multiplicar por los factores sugeridos en la Tabla 2.20.

Es necesario considerar los costos involucrados en el daño de equipos vecinos, en función del área afectada. A estos valores se deben sumar al costo relacionado con el tiempo de para, el se puede obtener del Apéndice H.

TABLA 2.20
FACTORES DE COSTO DE MATERIALES

Material	Factor	Material	Factor
Acero al carbono	1.0	Cubierta de Aleación 600	7.0
1 ¼ Cr ½ Mo	1.3	Revestimiento de teflón	7.8
2 ¼ Cr ½ Mo	1.7	Cubierta de níquel	8.0
5 Cr ½ Mo	1.7	Aleación 800	8.4
7 Cr ½ Mo	2.0	70/30 Cu/Ni	8.5
Cubierta de Ac. Inox. 304	2.1	904L	8.8
9 Cr ½ Mo	2.6	Aleación 20	11
Acero Inoxidable 405	2.8	Aleación 400	15
Acero Inoxidable 410	2.8	Aleación 600	15
Acero Inoxidable 304	3.2	Níquel	18
Cubierta de Ac. Inox. 316	3.3	Aleación 625	26
Revestimiento de caucho	3.4	Titanio	28
Acero Inoxidable 316	4.8	Aleación "C"	29
Revestimiento de vidrio	5.8	Zirconio	34
90/10 Cu//Ni	6.8	Aleación "B"	36

Finalmente, en el caso de existir área afectada, se tomará en cuenta los costos por reparación y reemplazo de equipos aledaños afectados y las indemnizaciones a la población afectada

2.5. Análisis de las probabilidades de fallas

El análisis de probabilidad en un programa de inspección basado en riesgos es utilizado para estimar la probabilidad de que una consecuencia específica adversa ocurra como resultado de la pérdida de contaminantes producto de algún mecanismo de deterioro.

La probabilidad de falla debe considerar todos los mecanismos de daños de un componente, tales como corrosión, fatiga, etc. Se considerará además la actividad sísmica, las condiciones ambientales extremas, errores de diseño y operación, sabotaje, sobrepresión por falla en componentes de alivio e inadvertida sustitución de materiales.

La probabilidad de falla es expresada por lo general en términos de frecuencia, la cual es igual al número de eventos que pueden ocurrir en un tiempo determinado.

Al igual que el análisis de las consecuencias, la probabilidad puede ser analizada de manera cualitativa o cuantitativa. El análisis cualitativo involucra la identificación del sistema, los materiales de construcción y los componentes corrosivos del proceso, además de un conocimiento de la historia de operación, el programa de mantenimiento y las inspecciones programadas. La probabilidad es determinada en categorías que abarcan desde bajo hasta alto.

En el análisis cuantitativo, se involucra factores relacionados con la frecuencia de falla genérica de cada componente en estudio, un factor de modificación relacionado con las condiciones ambientales, mecánicas, de inspección y proceso, y por último un factor de evaluación del sistema de administración de la compañía, con lo que se obtiene la frecuencia de falla de cada componente.

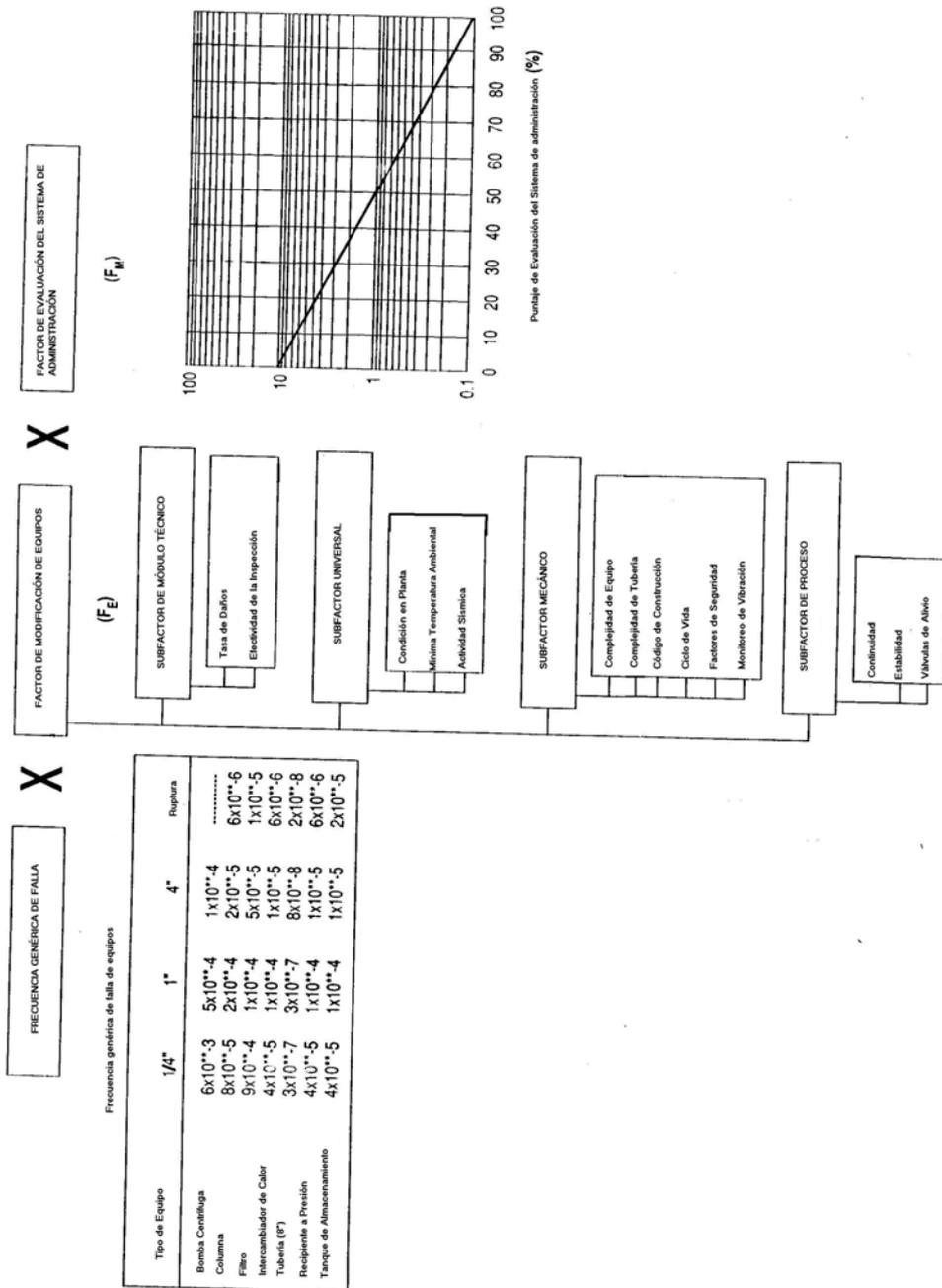
2.5.1. Determinación de la probabilidad de falla

La probabilidad dependerá del tipo de análisis a realizarse en cada componente. Si el análisis es de tipo cualitativo, este requerirá de la información general sobre los posibles mecanismos de deterioro a los que está expuesto cada componente, el tipo de programa de inspección existente en cada compañía, las condiciones de trabajo con respecto a las

típicas encontradas en la industria, de las condiciones del proceso y los datos de diseño. Estos factores son colocados en una tabla de evaluación y el resultado final genera un rango de probabilidad entre 1 hasta 5, donde 1 representa un nivel de probabilidad bajo y 5 representa un nivel de probabilidad alto. Estas tablas de evaluación serán presentadas más adelante en la sección de este capítulo correspondiente a la determinación del índice de riesgo de forma cualitativa.

El análisis cuantitativo involucra un estudio más detallado como se indicó anteriormente y obedece a la ecuación 2.8, donde estos factores involucran parámetros que se observan en la Figura 2.10 y se explican a continuación.

$$Frecuencia_{Ajustada} = Frecuencia_{genérica} \times F_E \times F_M \quad (\text{ec. 2.8})$$



Frecuencia genérica de falla de equipos

Tipo de Equipo	1/4"	1"	4"	Ruptura
Bomba Centrífuga	6x10 ⁻³	5x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁴
Columna	8x10 ⁻⁵	2x10 ⁻⁴	2x10 ⁻⁵	6x10 ⁻⁶
Filtro	9x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁴	5x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵
Intercambiador de Calor	4x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵	6x10 ⁻⁶
Tuberías (Ø)	3x10 ⁻⁷	3x10 ⁻⁷	8x10 ⁻⁸	2x10 ⁻⁸
Recipiente a Presión	4x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁵	6x10 ⁻⁶
Tanque de Almacenamiento	4x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁵	2x10 ⁻⁵

FIGURA 2-10. AJUSTES DE LA FRECUENCIA DE FALLAS

- **Frecuencia Genérica de Falla.-** Se determina a partir de los registros de la compañía o de compañías similares, las fuentes bibliográficas o bases de datos comerciales. Sin embargo, los valores genéricos representan a una industria en general y no refleja la verdadera frecuencia de falla de una compañía específica o componente. Esta frecuencia es desarrollada a partir de una distribución log – normal con una razón de error de 3 a 10. Los valores sugeridos para el análisis de riesgos se encuentran en el Apéndice I.

- **Factor de Modificación del Equipo.-** Se desarrolla para cada componente en estudio y se relaciona con los datos de operación, mantenimiento y condiciones ambientales, de acuerdo a los siguientes subfactores:
 1. Subfactor de módulo técnico
 2. Subfactor universal
 3. Subfactor mecánico
 4. Subfactor de proceso

Cada subfactor esta compuesto de diferentes elementos que son analizado por reglas bien definidas. Se asigna valores numéricos para indicar en que cantidad se desvía la frecuencia de falla con respecto a la genérica

La inspección basada en riesgo supone que todos los componentes analizados han sido diseñados y construidos con las normas respectivas, las cuales son utilizadas para analizar la frecuencia de falla en caso de desviaciones a partir de dichos estándares. Todos los valores asignados en la cuantificación de la tasa de daño son positivos, por lo que el valor base de análisis asignado es de -2 y a partir de este valor se empieza el análisis.

Cada subfactor es analizado por separado y al final son sumados, generando un valor entre -10 a $+20$. Como la probabilidad de falla de los componentes en estudio no puede ser negativa, esta es convertida de acuerdo a las recomendaciones dadas en la Tabla 2.21.

TABLA 2.21

CONVERSIÓN DEL FACTOR DE MODIFICACIÓN DE EQUIPO

Si la suma de los valores numéricos es:	El factor de modificación tomará el valor de:
Menor que -1.0	El valor absoluto del valor numérico
-1.0 a +1.0	1.0
Mayor que +1.0	Igual al valor numérico

➤ Subfactor de Módulo Técnico.- Se utiliza para valorizar los efectos de los mecanismos específicos de falla en la probabilidad de fallas. Las funciones que cumple este factor son:

1. Proyectar los mecanismos de daños para operaciones en condiciones normales y anormales.
2. Establecer la tasa de daño en el medio ambiente
3. Cuantificar la efectividad del programa de inspección actual.
4. Calcular el factor de modificación a ser aplicado a la frecuencia genérica de fallas

Para cada mecanismo de falla se debe de analizar este subfactor, los cuales incluyen la reducción de espesor, fisuras bajo esfuerzos, fluencia lenta en tubos de hornos, fatiga mecánica de tuberías, fractura frágil, revestimiento de equipos y daños externos.

Para analizar los efectos de los daños en servicio y la inspección en la probabilidad de falla, se deben seguir los siguientes siete pasos analizados a continuación:

1. Projete para los mecanismos de daños la tasa de daño esperada.
2. Determine el nivel de confiabilidad en la tasa de daño.
3. Determine la efectividad del programa de inspección con respecto al nivel y tasa de daño.
4. Calcule el efecto del programa de inspección en el mejoramiento del nivel de confiabilidad en la tasa de daño.
5. Calcule la probabilidad que en caso de daño, exceder la tolerancia de daño del componente y resulte en fallas.
6. Calcular el subfactor de módulo técnico.

7. Calcular el subfactor de módulo técnico para todos los mecanismos de daños

La proyección de los mecanismos de daños consiste en evaluar las condiciones del proceso y los materiales de construcción de cada elemento a fin de establecer cuales son los mecanismos de daños potenciales. Si no existen mecanismos de daños, el subfactor de módulo técnico es de -2 , reduciendo la probabilidad de falla. En caso de identificar mecanismos de daños, la tasa de daño puede ser estimada a través de publicaciones, pruebas de laboratorio, pruebas en sitio, experiencia en equipos similares y datos de inspecciones previas.

A continuación se estima el nivel de confiabilidad en la tasa de daño a partir de datos históricos para observar las variaciones de las tasas de daños. Las fuentes de información son clasificadas como de baja, moderada y alta fiabilidad.

Las fuentes de baja fiabilidad incluyen datos publicados, tablas de tasas de corrosión y valores de diseño. Se consideran como fuentes de moderada fiabilidad a las pruebas de laboratorio y pruebas en el sitio. Las fuentes de alta confiabilidad se desarrollan a partir de datos de inspecciones extensivas y datos del proceso obtenidos por la experiencia.

La Tabla 2.22, expresa el grado de confiabilidad referida a la desviación de la tasa real de daño con respecto a la fiabilidad de la tasa de daño esperada.

El siguiente paso es determinar la efectividad del programa de inspección, la cual depende del tipo de prueba a realizar a fin de obtener la localización y tamaño de discontinuidades. Los módulos técnicos están basados en 3 estados de daños como se observa en la Tabla 2.23.

TABLA 2.22

CONFIABILIDAD EN LA PREDICCIÓN DE LA TASA DE DAÑOS

Rango de la tasa actual de daño	Datos de baja fiabilidad	Datos de moderada fiabilidad	Datos de alta fiabilidad
Tasa predicha o menor	0.5	0.7	0.8
Tasa predicha a dos veces la tasa	0.3	0.2	0.15
Dos a cuatro veces la tasa predicha	0.2	0.1	0.05

TABLA 2.23

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ESTADOS DE DAÑOS

Estado	Descripción
Estado 1:	El daño en el elemento es más bajo que el esperado
Estado 2:	El daño en el elemento es igual o ligeramente peor que el esperado
Estado 3:	El daño en el elemento es considerablemente peor que el esperado

La efectividad de un programa de inspección puede ser cuantificada como la probabilidad de observar un estado de daño de acuerdo a una de las cinco categorías:

1. Efectividad alta
2. Efectividad normal
3. Efectividad regular
4. Efectividad mala
5. No efectiva

A continuación calculamos el efecto que tendrá la inspección para mejorar la confiabilidad de la tasa de daño. Este análisis se realiza a través del Teorema de Bayes, en donde se logra determinar la probabilidad de que un estado de daño ocurra con respecto a la confiabilidad de predecir la tasa de daño, de acuerdo a la ecuación 2.9

$$p[A_i/B_k] = \frac{p[B_k/A_i]p[A_i]}{\sum_{j=1}^{j=n} p[B_k/A_j]p[A_j]} \quad (\text{ec. 2.9})$$

Se procede a continuación al cálculo de la frecuencia de falla asociada con un estado de daño. La falla de los elementos con respecto a cada estado de daño depende a diferentes variables aleatorias tales como la presión, el esfuerzo de fluencia, etc. Las cuales son divididas en dos regiones.

1. La región de seguridad en donde se contiene las combinaciones de las variables básicas que no resultan en una falla
2. La región de falla en donde se contienen todas las combinaciones de variables que resultan en fallas.

Un modo de falla es definido por la función de estado $g(Z_i)$, donde se divide la región de seguridad $g(Z_i) > 0$ y la región de falla $g(Z_i) < 0$. La probabilidad de falla aumentará o disminuirá

dependiendo en que región se encuentran las variables analizadas por medio de una calibración de la frecuencia genérica de falla a través de índices de fiabilidad, con lo que se obtiene la frecuencia de falla.

El paso final es el cálculo del módulo técnico por medio del radio de la frecuencia de falla la que es igual a la frecuencia de falla dividida para la frecuencia genérica de falla. El radio es multiplicado por la probabilidad del estado daño, obteniendo el factor de daño para cada estado. El módulo técnico será igual a la suma de los factores de daños parciales. En caso de existir más de un mecanismo de falla, se aplica la misma metodología y el módulo técnico final será la suma de todos los módulos técnicos de cada tipo de falla.

La norma API 581, en sus Apéndices F al N tiene desarrollados los módulos técnicos para mecanismos de falla típica de los equipos, por lo que los pasos explicados serán aplicados en caso de no existir referencias en la norma.

- Subfactor Universal.- Este considera la condición en que se encuentra la planta, las condiciones ambientales de operación y la actividad sísmica de la región.

En la evaluación de las condiciones en que se encuentra la planta en estudio, se toma en cuenta la apariencia general por medio de la búsqueda de evidencia de reparaciones temporales, deterioros en la pintura y demás rutinas de mantenimiento que no se han realizado. Además se considera la efectividad del programa de mantenimiento y es clasificada de acuerdo a la Tabla 2.24.

Las condiciones climáticas incrementan el riesgo en la operación de un equipo si estos operan a temperaturas muy bajas. Dependiendo de la región geográfica, el invierno puede afectar directamente a los equipos analizados. En la Tabla 2.24 se puede encontrar el valor de penalización obtenida de acuerdo a la temperatura ambiental de operación.

TABLA 2.24

VALORES CONSIDERADOS EN EL SUBFACTOR UNIVERSAL

Condición de la planta	Categoría	Valor numérico
Mejor que las industrias típicas	A	-1.0
Igual que las industrias típicas	B	0
Inferior que las industrias típicas	C	+1.5
Muy inferior que las industrias típicas	D	+4.0
Temperatura en el invierno	Valor numérico	
Sobre los 40°F	0	
+20°F a +40°F	1.0	
-20°F a +20°F	2.0	
Por debajo de -20°F	3.0	
Zona sísmica	Valor numérico	
0 ó 1	0	
2 ó 3	1.0	
4	2.0	

Dependiendo de la actividad sísmica de la región, los equipos están expuestos a una mayor probabilidad de falla, la cual dependerá de la zona sísmica clasificada en la norma ANSI A58.1 y donde los valores de penalización se observan en la Tabla 2.24.

- Subfactor Mecánico.- Involucra los datos utilizados en el diseño y fabricación del elemento en estudio e incluye la complejibilidad, los códigos de construcción, el ciclo de vida, los factores de seguridad y el monitoreo de la vibración.

La complejidad se refiere a que la frecuencia genérica de falla no diferencia el tamaño y forma de los diferentes tipos de recipientes a presión. Una forma para juzgar la complejidad en la mayoría de los casos se determina por el número de inyectores. Todos los inyectores de 2 o más pulgadas deberán considerarse, estén o no en servicio. Los valores numéricos para la cantidad de inyectores dependiendo del tipo de recipiente a presión pueden encontrarse en la Tabla 2.25.

TABLA 2.25

NÚMERO DE INYECTORES VERSUS VALOR NUMÉRICO

Componente	Valor numérico			
	-1.0	0	+1.0	+2.0
Columna de destilación - total	<20	20-35	36-46	>46
Columna de destilación - mitad	<10	10-17	18-23	>23
Compresor	2	3-6	7-10	>10
Intercambiador de calor – coraza	<7	7-12	13-16	>16
Intercambiador de calor – tubos	<4	4-8	9—11	>11
Bomba	-	2-4	>4	-
Recipiente	<7	7-12	13-16	>16

La complejidad también incluye el estudio del sistema de tuberías a través de los números de conexiones, puntos de inyección, ramificaciones y números de válvulas, el cual es obtenido por la ecuación 2.8.

$$F_c = (C \times 10) + (I \times 20) + (R_M \times 3) + (V \times 5) \text{ (ec. 2.8)}$$

En el caso de tuberías la frecuencia genérica de falla es expresada por unidad de longitud, por lo que el factor de complejidad es dividido por la longitud de la tubería expresado en pies y el valor numérico se encuentra en la Tabla 2.26.

Se considera los códigos de construcción con el fin de disminuir las fallas en operación de los diferentes elementos en análisis, producto de la información recopilada por la experiencia en el desarrollo de las diferentes normas de construcción. En esta parte se considera si los equipos están diseñados con los códigos actuales, obsoletos o sin ningún código, donde la asignación numérica puede encontrarse en la Tabla 2.27.

TABLA 2.26
FACTORES DE COMPLEJIDAD

Factor de complejidad/ pie	Valor numérico
< 0.10	-3.0
0.10 a 0.49	2.0
0.50 a 0.99	-1.0
1.00 a 1.99	0
2.0 a 3.49	1.0
3.50 a 5.99	2.0
6.00 a 10.00	3.0
>10.0	4.0

TABLA 2.27**VALORES NUMÉRICOS DE ACUERDO A LOS CÓDIGOS**

Condición de los códigos	Categoría	Valor numérico
El equipo es mantenido con las últimas ediciones de los códigos	A	0
El código de diseño a sido modificado desde el tiempo de fabricación	B	1.0
No se ha fabricado a través de algún código	C	5.0

Otra consideración es el ciclo de vida del componente, el que involucra el tiempo en servicio y la vida de diseño, en donde a veces el tiempo de servicio supera a la vida de diseño, si las condiciones de trabajo han sido inferiores a las de diseño. El valor es asignado a través del porcentaje de tiempo en servicio con respecto a la vida de diseño, tal como se muestran en la Tabla 2.28.

Los factores de seguridad se consideran en el análisis de riesgo a través del estudio de la temperatura y presión de operación. Si los equipos se encuentran operando por debajo de la presión de diseño, la probabilidad de falla se reduce y la asignación numérica se observa en la Tabla 2.29. Con respecto a la temperatura, los materiales son propensos a fallar por fluencia si la temperatura de operación es muy elevada, además pueden presentar fallas por fragilización del material si la temperatura es muy baja. La asignación numérica se encuentra en la Tabla 2.29. Si la temperatura de operación se encuentra dentro de los límites expuestos, el valor asignado es 0.

TABLA 2.28

VALORES PARA EL CICLO DE VIDA

Vida de Diseño (%)	Valor numérico
0 a 7	2.0
7 a 75	0
76 a 100	1.0
> 100	4.0

TABLA 2.29

VALORES CONSIDERADOS EN EL FACTOR DE SEGURIDAD

P_{oper}/P_{dis}	Valor numérico	$T_{operación}$	Valor numérico
>1.0	5.0	Acero al carbono > 550°F	2.0
0.9 a 1.0	1.0	Aceros de 1% al 5% Cr > 650°F	2.0
0.7 a 0.89	0	Aceros > 5% al 9% Cr > 750°F	2.0
0.5 a 0.69	-1.0	Inoxidables 304/316 > 1500°F	2.0
< 0.5	-2.0	Todos los aceros < -20°F	1.0

El último factor a considerar dentro del módulo mecánico es la vibración, la cual es una variable de estudio para bombas, compresores y otros equipos rotatorios, en donde el monitoreo de las vibraciones permite la detección de fallas en etapa prematura. La Tabla 2.30 muestra los valores numéricos asignados para los distintos monitoreos de vibración en bombas y compresores. El subfactor mecánico se calcula sumando todos los factores involucrados.

- Subfactor de Proceso.- Analiza las condiciones del proceso a través de la información contenida en los registros de operación por medio del análisis de la continuidad y estabilidad del proceso y la operación de las válvulas de alivio.

En la continuidad del proceso, se analiza las reparaciones planificadas y las no planificadas en un periodo de estudio de 3 años a través de la información encontrada en los registros de los componentes incluidos en el análisis de riesgos. Los valores numéricos asignados se pueden observar en la Tabla 2.31.

TABLA 2.30

VALORES NUMÉRICOS PARA EL MONITOREO DE VIBRACIONES

Técnicas de monitoreo	Valor numérico	
	Bombas	Compresores
No existe programa de monitoreo de vibraciones	0.5	1.0
Monitoreo de vibraciones periódicas	-2.0	0
Monitoreo de vibraciones permanentes	-4.0	-2.0

TABLA 2.31

REPARACIONES PLANIFICADAS Y NO PLANIFICADAS

Reparaciones planificadas	Valor numérico	Reparaciones no planificadas	Valor numérico
0 A 1 /año	-1.0	0 A 1 /año	-1.5
1.1 a 3 /año	0	1.1 a 3 /año	0
3.1 a 6 /año	1.0	3.1 a 6 /año	2.0
> 6 /año	1.5	> 6 /año	3.0

Con respecto a la estabilidad del proceso, dependerá de que tan frecuente el proceso se desvía del punto de operación y requiere de la intervención del personal de la planta, debido en ciertas ocasiones a la complejidad del proceso en donde la asignación numérica se puede encontrar en la Tabla 2.32.

Las válvulas de alivio de presión son incluidas en el análisis de riesgos debido que la condición operativa en que se encuentran puede influir en el aumento o disminución de la probabilidad de falla del componente en estudio.

Dentro del análisis de las válvulas de alivio, se considera el programa de mantenimiento y el tipo de servicio al que se encuentran expuestos. Estos servicios pueden incluir sustancias corrosivas, condiciones de extrema limpieza o suciedad extrema.

TABLA 2.32

VALORES NUMÉRICOS PARA EL RANGO DE ESTABILIDAD

Rango de estabilidad	Valor numérico
Más estable que los procesos promedio	-1.0
Más estable que los procesos promedio	0
Menos estable que los procesos promedio	1.0
Mucho menos estable que los procesos promedio	2.0

El mantenimiento de las válvulas de alivio debería ser acorde a las indicaciones encontradas en la norma API 510. El análisis de riesgos considera el porcentaje de válvulas en que no se ha cumplido la planificación del mantenimiento e inspección con respecto al total de válvulas consideradas, asignando un valor numérico de acuerdo a la Tabla 2.33.

Si el servicio de las válvulas involucra sociedad extrema, esta es penalizada debido a que puede provocar que la misma no cumpla su función cuando sea requerida. De existir sustancias corrosivas, se debe considerar un aumento en la probabilidad de falla. En el caso de que el proceso se lleve a cabo con extremada limpieza, la probabilidad de riesgo disminuye. Los valores para estas condiciones de trabajo se pueden encontrar en la Tabla 2.33. El factor de modificación del equipo resultará de la suma de los subfactores de proceso, mecánico, universal y de módulo técnico.

TABLA 2.33

VALORES NUMÉRICOS PARA LAS VÁLVULAS DE ALIVIO

Estado del mantenimiento		Categoría	Valor numérico
Menos del 5% no se ha cumplido		A	-1.0
5% al 15% no se ha cumplido		B	0
15% al 25% no se ha cumplido		C	1.0
Más del 25% no se ha cumplido		D	2.0
Cantidad de suciedad		Categoría	Valor numérico
No significativa		A	0
Algún polímero u otro material		B	2.0
Gran cantidad de depósitos		C	4.0
Sustancia corrosiva	Valor numérico	Servicio muy limpio	Valor numérico
Si	3.0	Si	-1.0
No	0.0	No	0

- **Factor de Evaluación del Sistema de Administración de la Compañía.-** Este factor modifica a la frecuencia genérica de falla y es cuantificado por medio de 101 preguntas que se presentarán más adelante y a través de la Figura 2.11, se asigna un valor entre 0.1 a 10. Las preguntas involucran diversos tópicos mostrados en la Tabla 2.34

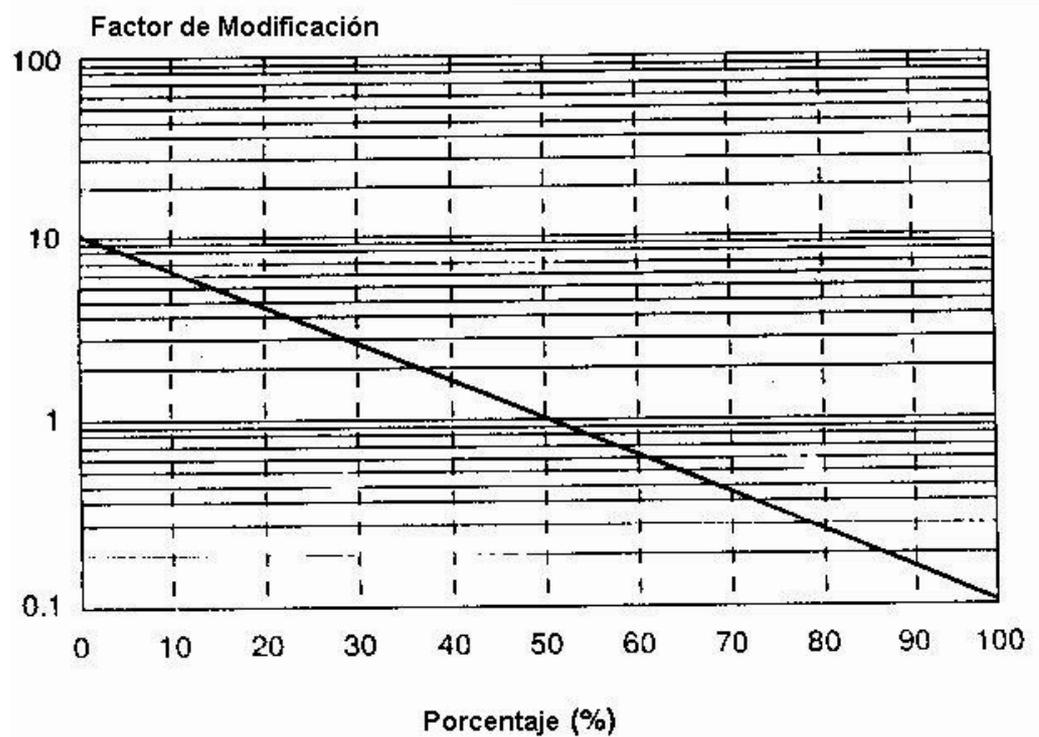


FIGURA 2-11. FACTOR DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN

TABLA 2.34

EVALUACIÓN DEL SISTEMA ADMINISTRATIVO

Sección	Título	Preguntas	Puntos
1	Gerencia y administración	6	70
2	Información segura del proceso	10	80
3	Análisis de peligros del proceso	9	100
4	Gestión de cambios	6	80
5	Procedimientos de operación	7	80
6	Prácticas seguras de trabajo	7	85
7	Capacitación	8	100
8	Integridad mecánica	20	120
9	Revisión inicial de seguridad	5	60
10	Reacción a emergencias	6	65
11	Investigación de incidentes	9	75
12	Contratistas	5	45
13	Auditorias	4	40
TOTAL		101	1000

2.6. Determinación del índice de riesgo de forma cualitativa

El análisis de riesgos de forma cualitativa es utilizado para predecir el nivel de riesgo que podría tener los componentes en estudio, para luego desarrollar el plan de inspección más adecuado y con los resultados obtenidos, realizar un análisis cuantitativo de los riesgos a los que se encuentran expuestos.

En la determinación del análisis de riesgos cualitativo se utiliza un procedimiento que consiste en la recopilación de información general sobre el equipo y el proceso y se divide en tres partes:

- Parte A: Determinación de la probabilidad (Ver Tabla 2.35)
- Parte B: Determinación de las consecuencias de daños (Ver Tabla 2.36)
- Parte C: Determinación de las consecuencias a la salud (Ver Tabla 2.37)

Entre los resultados obtenidos en la parte B y C, se deberá escoger la que posea mayores consecuencias y junto a la probabilidad que posea el componente poder predecir el nivel de riesgo que existe.

TABLA 2.35

PARTE A: DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD

Factor de Equipo (FE)		
Se refiere al tamaño del estudio que puede afectar la probabilidad de falla del componente en estudio		
<p>Para definir el Factor de Equipo, se utiliza la siguiente tabla:</p> <p>Si una unidad operativa completa esta siendo evaluada, (mayor a 150 partes por equipo) FE = 15</p> <p>Si una gran parte de una unidad operativa esta siendo evaluada (entre 20 a 150 partes por equipo) FE = 5</p> <p>Si un sistema o una unidad operativa esta siendo evaluada (entre 5 a 20 partes por equipo) FE = 0</p>		
El Factor de Equipo es:	1	
Factor de daño(FD)		
Este factor es una medida del riesgo asociado con el conocimiento de los mecanismos de daños potenciales en las operaciones que están siendo evaluadas		
Si se conoce de mecanismos de daños que pueden causar fisuras por corrosión en aceros al carbono FD1 = 5	2	
Si existe la probabilidad de falla catastrófica por fragilización por operación a baja temperatura FD2 = 4	3	

Si los mecanismos térmicos pueden inducir fallas por fatiga y si todavía estos mecanismos pueden estar activos FD3 = 4	4	
Si hay conocimiento de que ocurra ataque por hidrógeno a alta temperatura FD4 = 3	5	
Si hay conocimiento que ocurra fisuras por corrosión en aceros inoxidables austeníticos como resultado del proceso FD5 = 3	6	
Si esta ocurriendo corrosión localizada FD6 = 3	7	
Si esta ocurriendo corrosión general FD7 = 2	8	
Si hay conocimiento de daños por fluencia en procesos de alta temperatura, incluyendo hornos y calentadores FD8 = 1	9	
Si hay conocimiento que ocurra degradación del material, producto de la formación de la fase sigma, carburización, esferoidización, etc FD9 = 1	10	
Si otro mecanismo de daño a sido identificado FD10 = 1	11	
Si los mecanismos de daños potenciales en la unidad operativa no esta siendo evaluados y no es revisada periódicamente por un personal calificado, DF11 = 10	12	
El Factor de Daño es	13	
<p>Factor de Inspección (FI)</p> <p>Es una medida de la efectividad del programa de inspección para identificar los mecanismos de daños activos o anticipadamente en la unidad</p>		

<p>Paso 1. Inspección de Recipientes.- Medida de la efectividad del programa de inspección de recipientes para encontrar mecanismos de falla</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Si el programa de inspección es extenso y una variedad de métodos de inspección y monitoreo son usada F11 = -5 ▪ Si hay un programa de inspección formal en el lugar y alguna de las inspecciones es hecha, principalmente lecturas visuales y mediciones ultrasónicas F11 = -2 ▪ Si no hay un programa de inspección en el sitio, F11 = 0 <p>Seleccione el apropiado F11 sobre esto</p>		14	
<p>Paso2. Inspección de tuberías.- Medida de la efectividad del programa de inspección de tuberías para encontrar mecanismos de falla</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Si el programa de inspección es extensivo y una variedad de métodos de inspección y monitoreo son usada F11 = -5 ▪ Si hay un programa de inspección formal en el lugar y alguna de las inspecciones es hecha, principalmente lecturas visuales y mediciones ultrasónicas F11 = -2 ▪ Si no hay un programa de inspección en el sitio, F11 = 0 <p>Seleccione el apropiado F12 sobre esto</p>		15	

<p>Paso3. Programa de inspección.- La comprensión del diseño del programa de inspección y los resultados de la inspección son evaluados y usados para modificar el programa de inspección</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Si los mecanismos de deterioro son identificados en cada parte del equipo y el programa de inspección es modificado de acuerdo a los resultados del inspector F13 = -5 ▪ Si la inspección excluye cualquier identificación de los mecanismos de falla o no incluye una evaluación crítica de todos los resultados de la inspección F13 = -2 ▪ Si el programa de inspección no toma en cuenta los criterios expuestos en los puntos anteriores F13 = 0 <p>Seleccione el apropiado F13 sobre esto</p>	16	
<p>El Factor de Inspección es</p>		
<p>Factor de Condición (FC)</p> <p>Intenta comparar la efectividad del mantenimiento de la planta</p>		
<p>Paso 1. En la ruta de la planta, como son juzgadas las cosas en la planta (incluyendo pintura y aislamiento)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Significativamente mejor que industrias típicas FC1 = 0 ▪ Parecida a las industrias típicas FC1 = 2 ▪ Significativamente bajo con respecto a industrias típicas, FC1 = 5 <p>Seleccione el apropiado FC1 sobre esto</p>	18	

<p>Paso 2. La calidad del diseño de planta y construcción es:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Significativamente mejor que las industrias típicas, donde se han usado los más rigurosos estándares, FC2 = 0 ▪ Parecida a las industrias típicas, donde los estándares típicos fueron utilizados FC2 = 2 ▪ Significativamente bajo con respecto a las industrias típicas, FC2 = 5 <p>Seleccione el apropiado FC2 sobre esto</p>		
	19	
<p>Paso 3. En la revisión de la efectividad del mantenimiento de la planta, fabricación y control de calidad, estos son juzgados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mejor que las industrias típicas FC3 = 0 ▪ Parecida a las industrias típicas FC3 = 2 ▪ Significativamente bajo con respecto a las industrias típicas, FC3 = 5 <p>Seleccione el apropiado CCF3 sobre esto</p>		
	20	
<p>El Factor de Condición es</p>	21	
<p>Factor de Proceso (FP)</p> <p>Es una medida del potencial de operaciones anormales o fuera de condición que puede resultar en el inicio de eventos que pueden conducir a la pérdida de contaminantes</p>		

<p>Paso 1. El número de interrupciones planeadas o no planeadas del proceso en un año promedio (en condiciones normales de operación) FP1 se toma de la siguiente tabla:</p> <table border="1" data-bbox="395 501 1023 898"> <thead> <tr> <th>Número de interrupciones</th> <th>FP1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 a 1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2 a 4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>5 a 8</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>9 a 12</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>más de 12</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Número de interrupciones	FP1	0 a 1	0	2 a 4	1	5 a 8	3	9 a 12	4	más de 12	5		
Número de interrupciones	FP1													
0 a 1	0													
2 a 4	1													
5 a 8	3													
9 a 12	4													
más de 12	5													
<p>Seleccione el apropiado FP1 sobre esto</p>	22													
<p>Paso 2. Valoración del potencial de exceder las variables del proceso en operación (FP2)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Si el proceso es muy estable, y no hay una combinación de factores conocidos que puedan provocar reacciones o condiciones inseguras FP2 = 0 ▪ Solamente circunstancias muy inusuales pueden causar condiciones que pueden ser situaciones inseguras FP2 = 1 ▪ Si condiciones anormales son conocidas que pueden resultar en un aceleramiento del daño del equipo u otras condiciones inseguras FP2 = 3 ▪ Si la posibilidad de perder el control es inherente en el proceso, FP2 = 5 														
<p>Seleccione el apropiado FP2 sobre esto</p>	23													

<p>Paso 3. Valoración de los recursos de protección, tales como válvulas de alivio, que pueden provocar una condición no operativa como resultado de un taponamiento o suciedad en el fluido del proceso</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Servicio limpio, no existe taponamiento FP3 = 0 ▪ Ligera suciedad o taponamiento FP3 = 1 ▪ Suciedad o taponamiento Significativo FP3 = 3 ▪ Elementos de protección se encuentran deteriorados en servicio FP3 = 5 <p>Seleccione el apropiado FP3 sobre esto</p>	24	
<p>El Factor de Proceso es</p>		25
<p>Factor de Diseño Mecanico (FDM)</p> <p>Evalua ciertos aspectos del diseño en la operación de los equipos</p>		
<p>Paso 1.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Si el equipo puede ser identificado de que no esta diseñado de acuerdo a códigos FDM1 = 5 ▪ Si todo el equipo considerado esta diseñado y preservado con los códigos con los que fue construido FDM1 = 2 ▪ Si todo el equipo considerado esta diseñado y preservado con los códigos actuales FDM1 = 0 <p>Seleccione el apropiado FDM1 sobre esto</p>	26	

<p>Paso 2.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Si el proceso evaluado es inusual o único o alguna de las condiciones de diseño son extremas FDM2 = 5 <p style="padding-left: 40px;">Condiciones extremas de diseño son consideradas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a.- Presión que excede los 10000 psi b.- Temperaturas que exceden los 1500 °F c.- Condiciones corrosivas que requieren materiales de alta aleación <ul style="list-style-type: none"> ▪ Si el proceso es común, con condiciones normales de diseño FDM2 = 0 		
<p>Seleccione el apropiado FDM2 sobre esto</p>	27	
<p>El Factor de Diseño Mecánico es</p>	28	
Probabilidad		
<p>Paso 1. Determine el Factor de Probabilidad. Este es igual a la suma de los factores previos. Sume las líneas 1, 13, 17, 21, 25 y 28</p>		
<p>El Factor de Probabilidad es</p>	29	

Paso 2. La Probabilidad es determinada por el Factor de Probabilidad (en la línea 29) usando la siguiente tabla:		
Factor	Categoría	
0 – 15	1	
16 – 25	2	
26 – 35	3	
36 – 50	4	
51 – 75	5	
Ingrese la Probabilidad		30

TABLA 2.36

PARTE B: DETERMINACIÓN DE LA CONSECUENCIA DE DAÑOS

Factor Químico (FQ)					
Es una medida de la tendencia química del material a ser encendido. Las respuestas de esta sección deben estar basadas en los materiales predominantes o representativos en el fluido en movimiento					
Paso 1. Determine el Factor de Encendido, utilizando el rango de peligro de inflamabilidad (diamante rojo)					
Ingrese el factor de inflamabilidad NFPA					31
Paso 2. Determine el Factor de Reacción, utilizando el rango de peligro de inflamabilidad (diamante amarillo)					
Ingrese el factor de reacción NFPA					32
Paso 3. Determinar el Factor Químico					
Factor de reacción (línea 32)					
		1	2	3	4
Factor					
Inflamabilidad	1	7	9	12	15
(Línea 31)	2	10	12	15	20
	3	12	15	18	25
	4	13	15	20	25
El Factor Químico es					33

Factor de cantidad (FC)	
Representa la cantidad de material que podría ser emitido	
El factor de cantidad es tomado de la siguiente tabla	
Material	Factor de Cantidad
<1.000 libras	15
1K – 2K libras	20
2K – 10K libras	25
10K – 30K libras	28
30K – 80K libras	31
80K – 200K libras	34
200K – 700K libras	37
700K – 1 millón	39
1 – 2 millones	41
2 – 10 millones	45
> a 10 millones	50
El Factor de Cantidad es	34

Factor de Estado (FE)		
Es dependiente del punto normal de evaporación del fluido, es una indicación de la tendencia del fluido de vaporizarse y dispersarse cuando es arrojado al ambiente		
Seleccione el Factor de Estado basado en la temperatura normal de evaporación en grados Fahrenheit		
T (°F)	Factor de estado	
Menor a -100	8	
-100 a 100	6	
100 a 250	5	
250 a 400	1	
sobre 400	-3	
El Factor de Estado es	35	
Factor de Auto ignición (FA)		
Es una penalización aplicada al fluido que sé esta procesando por encima de la temperatura de auto ignición (TAI)		

<p>Si el fluido es procesado por debajo de TAI FA = -10</p> <p>Si el fluido es procesado por encima de TAI, utilice la siguiente tabla para determinar FA</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>T (°F)</th> <th>Factor FA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Por debajo de 0</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>0 a 300</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>sobre 300</td> <td>13</td> </tr> </tbody> </table>		T (°F)	Factor FA	Por debajo de 0	3	0 a 300	7	sobre 300	13	
T (°F)	Factor FA									
Por debajo de 0	3									
0 a 300	7									
sobre 300	13									
El Factor de Auto Ignición es	36									
<p>Factor de Presión (FPR)</p> <p>Representa la tendencia del fluido a ser arrojado rápidamente, resultando en un gran cambio de los efectos instantáneos</p>										
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si el fluido es un líquido en el interior del equipo FPR = -10 ▪ Si el fluido es un gas en el interior del equipo y con una presión mayor a 150 psig FPR = -10 ▪ Si ningún caso anterior son ciertas FPR = -15 										
El Factor de Presión es	37									
<p>Factor de Crédito (FCR)</p> <p>Es producto de subfactores, los cuales pueden reducir los daños</p>										
Si la detección de gases en el sitio es del 50% o más en fisuras prematuras, ingrese -1, en otros casos ingrese 0		38								
Si el proceso es normalmente operado en una atmósfera inerte, ingrese -1, en otros casos ingrese 0		39								

Si los sistemas de contra incendios son seguros en caso de grandes accidentes, ingrese -1, en otros caso ingrese 0	40	
Si la capacidad de aislamiento del equipo en esta área puede ser controlada de manera remota y: <ul style="list-style-type: none"> ▪ El aislamiento y la instrumentación asociada esta protegida contra incendios y explosiones, ingrese -1 ▪ O si el aislamiento y la instrumentación asociada esta protegida contra fuego solamente, ingrese -1 ▪ O si no existe la capacidad de protección del aislamiento contra fuego y explosiones, ingrese -1 		
En otros casos ingrese 0	41	
Si hay paredes de protección alrededor del equipo más crítico, ingrese -1, en otros casos ingrese 0	42	
Si hay un sistema de descarga o drenaje el cual elimina el 75% del material en 5 minutos o menos, con un 90% de seguridad, ingrese -1, en otros casos 0	43	
Si hay aislamiento contra fuego en el sitio en las estructuras y cables ingrese -1, en otros casos ingrese 0	44	
Si hay suministro de agua contra incendios el cual dura como mínimo 4 horas, ingrese -1, en otros casos ingrese 0	45	
Si hay un monitor para agua contra incendios el cual puede llegar a todas las áreas de la unidad afectada, ingrese -1, en otros casos ingrese 0	46	

Si hay un sistema de espuma compuesto, ingrese -1 en otros casos ingrese 0	47													
El Factor de Crédito es	48													
Consecuencia del daño														
Paso 1. Determine el Factor de Consecuencia del daño Sume las líneas 33, 34, 35, 36, 37 y 48. Este es el Factor de consecuencia del daño														
El Factor de Consecuencia del daño es	49													
Paso 2. La Consecuencia es determinada por el Factor de Consecuencia del daño usando la siguiente tabla:														
<table> <thead> <tr> <th>Factor</th> <th>Categoría</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 – 19</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>20 – 34</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>35 – 49</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>50 – 69</td> <td>D</td> </tr> <tr> <td>> 70</td> <td>E</td> </tr> </tbody> </table>	Factor	Categoría	0 – 19	A	20 – 34	B	35 – 49	C	50 – 69	D	> 70	E		
Factor	Categoría													
0 – 19	A													
20 – 34	B													
35 – 49	C													
50 – 69	D													
> 70	E													
Ingrese la Consecuencia	50													

TABLA 2.37

PARTE C: DETERMINACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS A LA SALUD

Factor Cantidad Tóxica (FCT)		
Es una medición tanto de la cantidad del químico como su toxicidad		
Paso 1. El factor de cantidad tóxica es tomado directamente de la siguiente carta.		
Material	Factor de Cantidad	
<1.000 libras	15	
1K – 10K libras	20	
10K – 100K libras	27	
> 1 millón de libras	35	
Ingrese el factor de la tabla, el factor de cantidad tóxica		51
Paso 2. Estime el factor tóxico (FCT2) de la siguiente tabla, basado en el diamante azul del sistema de identificación de peligros de la NFPA		
N° NFPA	Factor de Cantidad	
1	-20	
2	-10	
3	0	
4	20	
Ingrese el factor de la tabla, el factor de cantidad tóxica		52
El Factor de Cantidad Tóxica es		53
Factor de Población (FP)		
Es una medida del número potencial de persona que pueden ser afectados por emisiones tóxicas		

<p>Estime el factor de población de la siguiente carta. Esta basado en el número de personas promedio ubicadas a $\frac{1}{4}$ de milla del punto de emisión</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N° personas</th> <th>Factor de Población</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 10</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>10 a 100</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>100 a 1000</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>1000 a 10000</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>		N° personas	Factor de Población	< 10	0	10 a 100	7	100 a 1000	15	1000 a 10000	20	
N° personas	Factor de Población											
< 10	0											
10 a 100	7											
100 a 1000	15											
1000 a 10000	20											
El Factor de Población es		54										
<p>Factor de Crédito (FCR)</p> <p>Es una medida de la forma en que pueden reducirse las consecuencias tóxicas por la detección, aislamiento y mitigación</p>												
<p>Paso 1. Si en el sitio puede detectarse el fluido de interés en un 50% o más en caso de fugas, ingrese -1</p> <p>En otro caso ingrese 0</p>												
		55										
<p>Paso 2</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Si el recipiente puede ser aislado automáticamente, y el aislamiento comienza cuando se tiene una gran lectura en el detector de material tóxico, ingrese - 25 ▪ O, si el aislamiento es remoto con un comienzo manual, ingrese -5 ▪ O, si el aislamiento es operado manualmente, ingrese -1 ▪ En otro caso ingrese 0 												
		56										

Paso 3.		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si el equipo posee un sistema de mitigación con una efectividad del 90% en la eliminación del fluido, ingrese -5 ▪ En otro caso ingrese 1 		57
El Factor de Crédito es		58
Factor de Dispersión (FDI)		
Es la medida de la habilidad del material para dispersarse en las condiciones típicas del proceso		
Determine el factor de dispersión de la siguiente tabla		
Factor	Punto de evaporación(°F)	Dispersión
12	< 30	1
9	30 – 80	0.5
7	80 – 140	0.3
5	140 – 200	0.1
1	200 - 300	0.05
-3	> 300	0.03
El Factor de Dispersión es		59
Paso 1. Sume las líneas 53, 54, 58 y 59. Este es el Factor de consecuencia a la salud		
		60

Paso 2. La Consecuencia es determinada por el Factor de Consecuencia a la salud usando la siguiente tabla:		
Factor	Categoría	
< 10	A	
10 – 19	B	
20 – 29	C	
30 – 39	D	
> 40	E	
Ingrese la Consecuencia a la salud		61
Consecuencia Total		
Seleccione la mayor categoría entre las líneas 50 0 61		62

Una vez determinada la probabilidad de riesgo y el nivel de consecuencia tanto de daños como de salud, se procede a ubicar los resultados en una matriz de 5 x 5, conocida como matriz de nivel de riesgo, la cual indica el nivel de riesgo del componente analizado. La matriz se encuentra dividida en zonas identificada con colores que indican si el nivel de riesgo es bajo con color blanco, medio con color amarillo, medio alto con color anaranjado y rojo para riesgos altos. La matriz se puede observar en la Figura 2.12

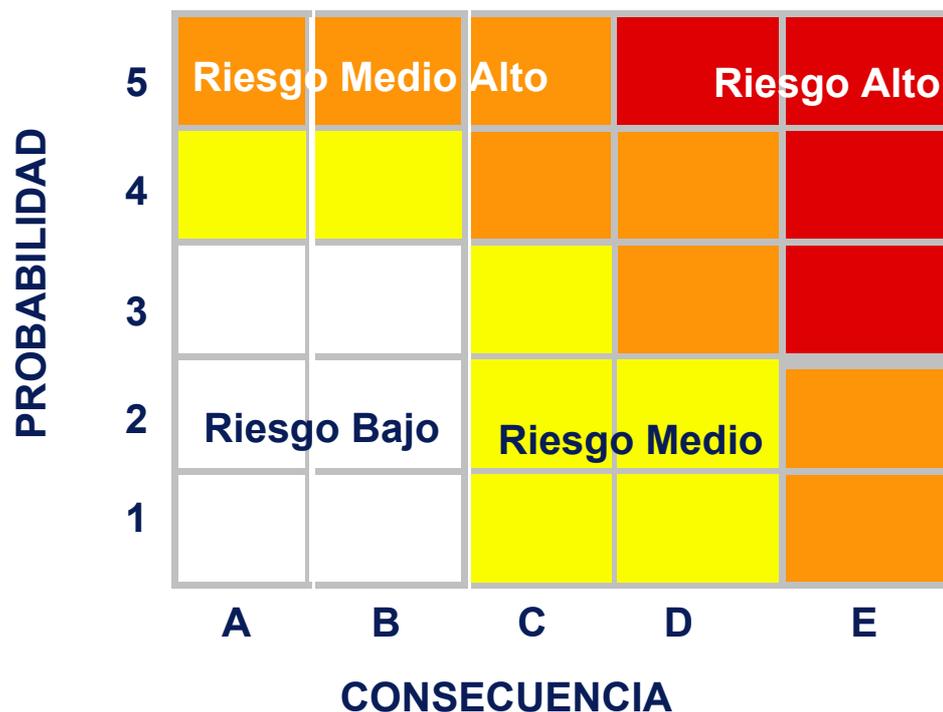


FIGURA 2-12. MATRIZ DE NIVEL DE RIESGO

2.7. Análisis de riesgo de los componentes seleccionados

Para la aplicación del análisis de riesgos, se han seleccionado 3 tanques de almacenamiento atmosférico de tipo horizontal de un total de 9 tanques en una compañía que brinda las facilidades para realizar este estudio. Las características principales de los recipientes se detallan a continuación en la Tabla 2.38 de acuerdo los datos proporcionados por la compañía, en donde cabe indicar que no fue posible obtener los datos de diseño como son la presión, temperatura y espesor de diseño. Los recipientes fueron construidos en el año de 1971 y no se especifica el tiempo de vida, que de acuerdo a la norma API 581, de no existir esta información se asume un tiempo de vida de 40 años. Los tanques fueron clasificados por grupos de acuerdo a que sus propiedades son similares, tal como se observa en la Tabla 2.39.

Esta información general de los componentes en estudio servirá para predecir el índice de riesgos de manera cualitativa de cada recipiente y de esta manera poder elaborar el programa de inspección más adecuado con el objeto de cuantificar la probabilidad y frecuencia de fallas de acuerdo a la sustancia almacenada. El análisis de riesgos de los 3 tanques seleccionados se detalla a continuación desde la Tabla 2.40 a la 2.46.

TABLA 2.38

INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES A EVALUAR

Descripción	Diámetro (m)	Longitud (m)	Masa (Kg)	Producto
Tanque N° 1	2.44	8.45	31570	Diluyente
Tanque N° 2	2.44	8.45	33980	Xileno
Tanque N° 3	2.44	8.45	26670	Hexano
Tanque N° 4	2.44	8.45	35560	Aceite Agrícola
Tanque N° 5	2.44	8.45	31807	Butanol
Tanque N° 6	2.44	8.45	34375	Tolueno
Tanque N° 7	2.44	8.45	31016	Acetato Etilo
Tanque N° 8	2.42	6.40	54165	Ácido sulfúrico
Tanque N° 9	3.10	6.17	82893	Soda Líquida

TABLA 2.39

CLASIFICACIÓN DE LOS TANQUES POR SUS CARACTERÍSTICAS

Grupos	Tanque	Fluido Contenido	Factor de Inflamabilidad	Factor de Reactividad	Factor de Toxicidad
G1	1	Diluyente	3	0	2
	2	Xileno	3	0	2
	5	Butanol	3	0	2
G2	3	Hexano	3	0	1
	7	Acetato de etilo	3	0	1
G3	6	Tolueno	1	2	3
	8	H ₂ SO ₄	0	2	3
	9	NaOH	0	1	3

TABLA 2.40

DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE FALLA DE LOS TANQUES

Factor de Equipo Los componentes son parte de una unidad operativa	1	5
Factor de Daño Se conoce de mecanismo de daños que causan fisuras por corrosión y esta ocurriendo corrosión localizada y corrosión general	13	10
Factor de Inspección Se tiene un programa de inspección formal, que incluye lecturas visuales y mediciones ultrasónicas	17	-2
Factor de Condición La efectividad del mantenimiento de la planta es parecido al encontrado en industrias típicas	21	6
Factor de Proceso Las interrupciones promedio son de 3 por año, siendo las operaciones inseguras en circunstancias muy inusuales y el servicio de las válvulas es limpio	25	5
Factor de Diseño Mecánico Los tanques son preservados con el código que se utilizó en su construcción	28	2
Factor de Probabilidad	29	26
Categoría de la Probabilidad	30	3

TABLA 2.41

DETERMINACIÓN DE LA CONSECUENCIA DE DAÑOS DEL TANQUE # 2

Factor Químico Factor de Inflamabilidad = 3. Factor de Reactividad = 0	33	0
Factor de Cantidad La cantidad almacenada es aproximadamente de 75000 libras	34	31
Factor de Estado Punto normal de evaporación al alrededor de 284° F	35	1
Factor de Auto Ignición El fluido opera por debajo de la temperatura de auto ignición	36	-10
Factor de Presión El fluido es un líquido en el interior del recipiente	37	-10
Factor de Crédito Existen paredes de protección	48	-1
Factor de Consecuencia de Daño	49	11
Consecuencia	50	A

TABLA 2.42

DETERMINACIÓN DE CONSECUENCIA A LA SALUD DEL TANQUE # 2

Factor de Cantidad Tóxica La cantidad almacenada es aproximadamente de 75000 libras y el Factor de Toxicidad es de 2	53	17
Factor de Población La población ubicada esta entre 15 y 25 personas	54	7
Factor de Crédito El aislamiento es operado manualmente y el sistema de mitigación tiene una efectividad menor al 90%	58	0
Factor de Dispersión Punto normal de evaporación al alrededor de 284° F	59	1
Factor de Consecuencia a la Salud	60	25
Consecuencia	61	C
Consecuencia Total		
Seleccione la mayor categoría entre las líneas 50 0 61	62	C

TABLA 2.43

DETERMINACIÓN DE LA CONSECUENCIA DE DAÑOS DEL TANQUE # 3

Factor Químico Factor de Inflamabilidad = 3. Factor de Reactividad = 0	33	0
Factor de Cantidad La cantidad almacenada es aproximadamente de 59000 libras	34	31
Factor de Estado Punto normal de evaporación al alrededor de 155° F	35	5
Factor de Auto Ignición El fluido opera por debajo de la temperatura de auto ignición	36	-10
Factor de Presión El fluido es un líquido en el interior del recipiente	37	-10
Factor de Crédito Existen paredes de protección	48	-1
Factor de Consecuencia de Daño	49	15
Consecuencia	50	A

TABLA 2.44

DETERMINACIÓN DE CONSECUENCIA A LA SALUD DEL TANQUE # 3

Factor de Cantidad Tóxica La cantidad almacenada es aproximadamente de 59000 libras y el Factor de Toxicidad es de 1	53	7
Factor de Población La población ubicada esta entre 15 y 25 personas	54	7
Factor de Crédito El aislamiento es operado manualmente y el sistema de mitigación tiene una efectividad menor al 90%	58	0
Factor de Dispersión Punto normal de evaporación al alrededor de 155° F	59	5
Factor de Consecuencia a la Salud	60	19
Consecuencia	61	B
Consecuencia Total		
Seleccione la mayor categoría entre las líneas 50 0 61	62	B

TABLA 2.45

DETERMINACIÓN DE LA CONSECUENCIA DE DAÑOS DEL TANQUE # 8

Factor Químico Factor de Inflamabilidad = 0. Factor de Reactividad = 2	33	0
Factor de Cantidad La cantidad almacenada es aproximadamente de 120000 libras	34	34
Factor de Estado Punto normal de evaporación al alrededor de 525° F	35	-3
Factor de Auto Ignición El fluido opera por debajo de la temperatura de auto ignición	36	-10
Factor de Presión El fluido es un líquido en el interior del recipiente	37	-10
Factor de Crédito Existen paredes de protección	48	-1
Factor de Consecuencia de Daño	49	10
Consecuencia	50	A

TABLA 2.46

DETERMINACIÓN DE CONSECUENCIA A LA SALUD DEL TANQUE # 8

Factor de Cantidad Tóxica La cantidad almacenada es aproximadamente de 120000 libras y el Factor de Toxicidad es de 3	53	27
Factor de Población La población ubicada esta entre 15 y 25 personas	54	7
Factor de Crédito El aislamiento es operado manualmente y el sistema de mitigación tiene una efectividad menor al 90%	58	0
Factor de Dispersión Punto normal de evaporación al alrededor de 525° F	59	-3
Factor de Consecuencia a la Salud	60	31
Consecuencia	61	D
Consecuencia Total		
Seleccione la mayor categoría entre las líneas 50 0 61	62	D

Realizado el análisis cualitativo, se obtuvo los resultados que se observan en la Tabla 2.47 por medio de la matriz de probabilidad y riesgo de la Figura 2.12

Se procederá en el siguiente capítulo, a la elaboración del programa de inspección con respecto al nivel más crítico y calcular el riesgo de forma cuantitativa de cada componente.

TABLA 2.47**RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS CUALITATIVO**

Componente	Nivel de riesgo
Tanque N° 2	3C (Medio)
Tanque N° 3	3B (Bajo)
Tanque N° 8	3D (Medio Alto)