

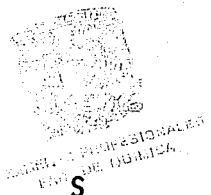
128
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

SEGURIDAD DE PROCESOS

T E S I S
Que para obtener el Título de
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a



GASTON OCTAVIO ROCHA MARTHEN

México, D.F.
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1993



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INGENIERIA DE SEGURIDAD EN PROCESOS

INDICE

	CAPITULO	PAGINA
I.	OBJETIVO	1
II.	INTRODUCCION	2
III.	INGENIERIA DE SEGURIDAD EN PROCESOS	5
	Marco de Referencia	5
	Ingeniería de Seguridad en Procesos	7
	Análisis de Seguridad en Procesos	8
	Indice Dow de fuego y explosión	13
	Guía de cálculo de nubes explosivas	18
	Análisis de falla y efecto/HAZOP	22
	Arbol de fallas	28
	Análisis de paro y arranque	32
	Administración de un sistema de análisis de seguridad en procesos	33
	Criterios Operativos	37
IV.	COMPONENTES DE INGENIERIA DE SEGURIDAD DE PROCESOS	43
	Seguridad de Proyectos	43
	Administración de Cambios	44
	Información de Seguridad del Proceso	45
	Procedimientos de Operación	46
	Programas de Ingeniería y Mantenimiento	46
	Capcitación y Entrenamiento	47
	Investigación de Eventos de Pérdida	51
	Respuesta a Emergencias	52
	Prácticas Seguras de Trabajo	54
	Auditorías	54
	Criterios Operativos	55

V.	DISPOSITIVOS DE CONTROL Y SEGURIDAD DEL PROCESO	61
	Instrumentación	61
	Dispositivos de Alivio de Presión o de Vacío	66
	Inertización	74
	Contención de Derrames	78
	Electricidad Estática	80
	Criterios Operativos	81
VI.	SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA INCENDIO PARA UNIDADES DE PROCESO Y BASES PARA EL DISEÑO HIDRAULICO	86
	Red de Agua contra Incendio	86
	Recipiente de almacenamiento	87
	Sistema de bombeo	90
	Sistema de tuberías	97
	Hidrantes y monitores	100
	Mangueras y boquillas	102
	Caseta de equipo contra incendio	104
	Sistemas de Rociadores	105
	Espuma contra Incendio	111
	Extintores	116
	Bases para el Diseño Hidráulico	121
	Red contra incendio	121
	Sistemas de rociadores	124
	Criterios Operativos	131
VII.	ASPECTOS ECONOMICOS	140
	Interrupción de Operaciones	140
	Aspecto Legal	141
	Compañías Aseguradoras	143
VIII.	CONCLUSIONES	144
	BIBLIOGRAFIA	148

I. OBJETIVO

El presente trabajo tiene por objeto destacar la importancia de la Ingeniería de Seguridad en Procesos, como parte fundamental en el diseño y la operación de las unidades productivas que involucren procesos de tipo químico y petroquímico. Asimismo, pretende aportar una guía lógica y sistemática para aplicar los conocimientos de Ingeniería Química en la prevención efectiva de accidentes, incendios, explosiones, paros de proceso debidos a condiciones críticas o fuera de control o a situaciones riesgosas, con base en la detección, evaluación y prevención de riesgos presentes, evidentes u ocultos, en procesos químicos o petroquímicos; así como a través de especificar las medidas y los dispositivos mínimos de protección al personal, a los equipos y a las unidades de proceso, referentes a sistemas administrativos, instrumentación, sistemas de protección y dispositivos de seguridad.

Los resultados de estas actividades preventivas se reflejarán, en primer término, en la prevención efectiva de accidentes de trabajo, con la consecuente disminución del dolor humano que esto acarrea, en la protección a la comunidad por la minimización de eventos mayores de pérdida en la unidad de proceso que pudieran afectarla, en la preservación del medio ambiente y en la continuidad del proceso productivo, asegurando el cumplimiento de las especificaciones de calidad y productividad que fortalecen la permanencia del producto en el mercado de satisfactores, la conservación y generación de empleos. Por estos motivos, Seguridad es uno de los factores básicos para garantizar la competitividad de la industria.

II. INTRODUCCION

En un marco de economía globalizada, la competitividad de las industrias es la condición básica de supervivencia, permanencia y crecimiento. Al igual que la productividad, la calidad y los costos, la Seguridad es un factor decisivo para lograr el nivel requerido de competitividad y, del mismo modo que es necesaria la reconversión de los procesos, se requiere el cambio en los enfoques tradicionales hacia aquellos que garanticen la prevención efectiva.

El crecimiento cada vez mayor de la industria en México y el mundo, ha obligado a la Ingeniería Química a desarrollar procesos más productivos y eficientes para permitir la obtención de satisfactores de calidad en forma económica.

Las mas de las veces, estos procesos operan cerca o en condiciones de alto riesgo, tales como altas presiones y temperaturas o cerca o en el rango explosivo de los materiales.

Dichos procesos están diseñados de acuerdo con determinados parámetros y estándares. Sin embargo el personal que opera y la continuidad del proceso frecuentemente se ven afectados por la ocurrencia de incendios, explosiones, paros no programados y otros incidentes de pérdida, ocasionados por situaciones críticas o potencialmente catastróficas inherentes a cada proceso.

Como la probabilidad de que ocurra un incidente de pérdida se incrementa en la medida que crece la actividad productiva (que no es más que mayor número de personas, en mayor número de unidades productivas, cada vez de mayor tamaño), surge la necesidad de desarrollar sistemas, métodos, técnicas

y dispositivos técnicos, administrativos y de ingeniería para prevenir o controlar la ocurrencia de dichas situaciones de riesgo, o para minimizar los daños y pérdidas con base en la detección, evaluación y prevención de causas y efectos, que es el campo de la Seguridad de Procesos; es decir, la aplicación de la Ingeniería Química en su relación con el equipo, la instrumentación de control y los operadores, desde el punto de vista de Seguridad Industrial.

Aunque el concepto de Seguridad Industrial está enfocado primordialmente al hombre, la prevención efectiva sólo puede lograrse involucrando al medio ambiente de trabajo (campo de la Higiene Ind.) y a la unidad de proceso (Ingeniería de Seguridad en Procesos).

En este trabajo se describirá el concepto de Ingeniería de Seguridad en Procesos, encuadrado en un esquema de Calidad Integral o Total, desarrollado como sigue:

En el capítulo III se define la Ingeniería de Seguridad en Procesos, su relación con otras disciplinas de Seguridad y se explica el primer componente, Análisis de Seguridad en Procesos, y se propone un sistema de detección, evaluación y prevención de riesgos en procesos, partiendo la clasificación de riesgos en campos de estudio, descripción de cinco técnicas de análisis de riesgos y los aspectos administrativos necesarios para la operación del sistema.

En el capítulo IV se explican los demás componentes de la Ingeniería de Seguridad en Procesos, los cuales son:

- + Seguridad en Proyectos
- + Administración de Cambios

- + Procedimientos de Operación
- + Información de Seguridad del Proceso
- + Programas de Ingeniería y Mantenimiento
- + Capacitación y Entrenamiento
- + Investigación de Eventos de Pérdida
- + Respuesta a Emergencias
- + Prácticas Seguras de Trabajo
- + Auditorías

En el capítulo V se describen los dispositivos de control y seguridad de proceso más importantes, tales como instrumentación, dispositivos de alivio de presión o vacío, inertización, contención de derrames y fugas.

En el capítulo VI se revisarán los sistemas de ingeniería de protección contra incendio, tales como red de agua contra incendio, sistemas de rociadores y de espuma, incluyendo una sección sobre extintores. Así mismo se tratará la aplicación de los conceptos de Hidráulica en el diseño de estos sistemas de protección.

En el capítulo VII se presenta un análisis económico de las consecuencias de los accidentes, incendios y explosiones, como herramienta de decisión para la selección de los sistemas de prevención y protección requeridos.

En el capítulo VIII se muestran las conclusiones a este trabajo.

III. SEGURIDAD DE PROCESOS

Marco de referencia

Para comprender el alcance de Ingeniería de seguridad en procesos, es necesario, como primer paso, conceptualizar la relación de los componentes de una operación: mano de obra, maquinaria y materiales. El concepto mano de obra aplica tanto para los operadores como a la línea de supervisión. Las interacciones esperadas son:

1. El personal debe operar la maquinaria de acuerdo con métodos de trabajo o procedimientos de operación.
2. La maquinaria debe estar diseñada para trabajar con los materiales involucrados en el proceso.
3. Los materiales deben ser los requeridos para elaborar los productos.

Sin embargo, existen otras interacciones no deseadas:

1. La maquinaria interactuará con el personal en forma de accidentes.
2. El personal interactuará con la maquinaria desajustándola o cambiando las condiciones de operación.
3. La maquinaria producirá ruido, desperdicio, etc.
4. El personal interactuará con los materiales causando contaminación ambiental o en el área de trabajo.
5. Los materiales, a su vez, pueden causar problemas de salud ocupacional en el personal, contaminación ambiental y daños en la maquinaria.

Dadas estas interacciones se genera la necesidad de tecnología en Seguridad Industrial, estableciéndose áreas de traslape entre las disciplinas de Seguridad Industrial, Hi-

giene Industrial, Salud Ocupacional y Control Ambiental.

El segundo concepto fundamental es que, para asegurar el logro de los resultados esperados en cada una de las disciplinas mencionadas, es necesario establecer sistemas de administración que cumplan los siguientes requisitos:

1. Compromiso del personal con el resultado.
2. Contar con una política que lo fundamente.
3. Procedimientos que indiquen cómo realizarlo.
4. Contar con los recursos suficientes.
5. Programas de capacitación y entrenamiento.
6. Mecánica de seguimiento y control.
7. Responsabilidades definidas.

Bajo este concepto, la función de Seguridad Ind. se considera constituida por los siguientes sistemas:

1. Prevención de accidentes.
2. Seguridad de proceso.
3. Prevención de incendios y eventos de pérdida.
4. Protección contra incendios y emergencias.
5. Combate y control de incendios y emergencias.
6. Grupos de ayuda mutua industrial.
7. Protección a comunidades.
8. Respuesta a emergencias en transportación.
9. Protección y vigilancia.

Con esta visión es posible conceptualizar los diferentes sistemas, programas y actividades que deben integrarlos para lograr el nivel necesario de prevención efectiva que asegure la competitividad de la empresa.

Ingeniería de seguridad en procesos

Ingeniería de seguridad en procesos se define como la aplicación de la ingeniería (principalmente química, mecánica y eléctrica) para mantener la continuidad del proceso, eliminando/controlando riesgos de seguridad (personas, comunidad, medio ambiente o instalaciones) y/o de confiabilidad en la operación (calidad y/o productividad). Esta es una responsabilidad ineludible de la gerencia. Está compuesta por los siguientes sistemas y programas:

1. Análisis de seguridad de procesos.
2. Seguridad en proyectos.
3. Administración de cambios.
4. Procedimientos de operación.
5. Información de seguridad del proceso.
6. Programas de ingeniería y mantenimiento.
7. Capacitación y entrenamiento.
8. Investigación de eventos de pérdida.
9. Respuesta a emergencias.
10. Prácticas seguras de trabajo.
11. Auditorías.

Cada uno de los componentes representa en sí mismo un sistema de administración y en la medida que se implanten de ese modo, podrá asegurarse la continuidad del proceso productivo. Dado el alcance de este sistema, su implantación requiere del esfuerzo y la participación de todos los integrantes de la organización, y del impulso decidido tanto de la alta gerencia como de los profesionales en seguridad.

Análisis de seguridad en procesos

Desde los inicios de la Ingeniería de seguridad en procesos, se sabe que los riesgos más comunes de los procesos químicos y petroquímicos son: reacciones exotérmicas fuera de control, reacciones peligrosas, materiales y su manejo, y efectos de alta presión o alta temperatura; recientemente se ha aceptado que la electricidad estática y las nubes de vapores explosivos son riesgos inherentes del proceso.

Sin embargo, la aplicación de un sistema de análisis de seguridad en procesos requiere de una metodología que permita obtener resultados adecuados para lograr un nivel razonable de seguridad.

Es evidente que la probabilidad de ocurrencia de un evento de pérdida será cero (0) sólo cuando el potencial de pérdida sea cero (0); es decir cero (0) proceso productivo.

El análisis de seguridad en procesos parte de la clasificación de riesgos en cinco campos de estudio, que se analizan con técnicas específicas, de donde resultan una serie de medidas técnicas y/o administrativas, cuya implantación asegura el control de los riesgos agrupados en dicho campo. Los campos de riesgo son:

1. Fuego y explosión.
2. Nubes explosivas.
3. Operabilidad.
4. Sistemas críticos del proceso.
5. Efectos de paro y arranque.

Así mismo, considera que las unidades de proceso son las líneas de producción en las cuales las materias primas sufren

transformaciones físicas y/o químicas para obtener los productos deseados, incluyendo las áreas de almacenamiento. Las unidades pueden subdividirse en secciones, definidas como las partes del proceso donde se realiza una operación o un proceso unitario o aquella serie de equipos y sistemas utilizados para la misma operación, que estén físicamente separados de otros en la misma unidad por barreras, paredes, pisos o a una distancia mínima de 15 m, por lo que se habla de secciones tales como: almacenamiento, reacción, purificación, destilación, sistema de intercambio de calor, sistema contra incendio, filtración, etcétera.

Campo de fuego y explosión

Este campo se enfoca a determinar y evaluar los riesgos de fuego y explosión de los materiales con las condiciones y características de operación específicas del proceso, así como a evaluar el grado de riesgo global de la unidad de proceso, especificando medidas preventivas y de protección generales para dicha unidad.

Una de las técnicas utilizadas para estudiar este campo es el "Índice DOW de fuego y explosión".

Campo de nubes explosivas

Este campo se enfoca a evaluar la magnitud y potencial explosivo de una nube de vapores explosivos y a estimar los daños potenciales.

Este es el campo de riesgo más reciente dentro del análisis de seguridad en procesos, debido a que se consideraba que el fenómeno de explosión sólo se presentaba en espacios ce-

rrados; sin embargo, la experiencia industrial demostró que una nube de vapores de ciertos materiales inflamables (ciclohexano, óxido de etileno, acetaldehído, entre otros) podía detonar en espacios abiertos. Los casos más conocidos son el de 1963 en Lousiana, EUA, por fuga de óxido de etileno, el de 1974 en Flixboroug, Inglaterra, por fuga de 60 ton de ciclohexano; y el de San Juan Ixhuatepec en México (1984) por fuga de gas LP.

Este campo se estudia mediante la técnica "Guía de cálculo de nubes explosivas".

Campo de operabilidad

En este campo se realiza un análisis crítico del proceso y de las probabilidades de ocurrencia de un evento de pérdida, debido a una falla de operación o a falla del funcionamiento de partes individuales de equipo, revisando los efectos consecuentes de este riesgo en la unidad.

En este campo se revisa la ingeniería química del proceso, incluyendo la intrincada relación y dependencia que existe entre los equipos, la instrumentación y el operador.

Las técnicas que se aplican en este campo son "Análisis de falla y efecto" y "Arbol de fallas".

Campo de sistemas críticos del proceso

En toda unidad de proceso existen condiciones y sistemas considerados como críticos, ya sea por las operaciones que involucran, la magnitud de las variables de proceso o por el nivel de riesgo de la unidad. Ejemplos de sistemas críticos son el de enfriamiento para el control de una reacción alta-

mente exotérmica, el circuito de instrumentos para el control de las variables que determinan una conversión adecuada, condiciones de alta presión o alta temperatura, el sistema de inertización de tanques de almacenamiento de inflamables, la red de agua contra incendio, el sistema de energía eléctrica, el suministro de vapor, y los dispositivos de relevo de presión o vacío, entre otros.

En este campo se revisan aquellas circunstancias conocidas en el proceso que requieren de acción de emergencia (ya sea por protecciones automáticas o por procedimientos), para controlar sus efectos y detectar las circunstancias prácticas para las cuales no se han previsto medidas de emergencia o las medidas técnicas o administrativas son insuficientes.

Este campo se estudia con la técnica "Análisis de falla y efecto" o HAZOP.

Campo de efectos de paro y arranque

Durante el paro o el arranque de una unidad de proceso, pueden desarrollarse circunstancias de alto riesgo debido a las condiciones de transición que se presentan en estas operaciones; estas circunstancias se vuelven más críticas durante los paros o arranques no programados o no planeados.

En las unidades de proceso químico y petroquímico es muy común operar en condiciones de alto riesgo potencial o cerca de ellas, por ejemplo: concentraciones dentro del rango explosivo, reacciones exotérmicas o de descomposición peligrosas, reacciones de polimerización de difícil control, condiciones de alta presión o alta temperatura. En condiciones de paro y/o arranque estas circunstancias tienden a agravarse

debido a que el proceso sufre modificaciones bruscas, por lo que la unidad se encuentra expuesta a su mayor riesgo.

El propósito del campo de los efectos de paro y arranque es determinar la forma en que normalmente se llevan a cabo el paro y el arranque de la unidad, para asegurar que se mantengan bajo control los riesgos presentes.

La técnica utilizada es "Análisis de paro y arranque".

El siguiente paso para la aplicación de un sistema de Análisis de seguridad en procesos consiste en seleccionar y priorizar las diferentes unidades de proceso, con base en:

- a) Campo de riesgo a estudiar.
- b) Unidad de proceso potencialmente más riesgosa.
- c) Experiencias anteriores.
- d) Unidades críticas.
- e) Unidades nuevas.

Así mismo es necesario contar con la siguiente información del proceso:

- a) Planos de distribución de equipo y de localización de la planta.
- b) Diagramas de flujo.
- c) Listado de materiales y reacciones, incluyendo las características fisicoquímicas.
- d) Diagramas de proceso y de tubería e instrumentación.
- e) Procedimientos de operación y de paros y arranques.
- f) Historial de fallas de equipos y de eventos de pérdida (accidentes, incendios, explosiones, paros por situaciones críticas y de emergencia).

g) Especificaciones de diseño de los equipos.

h) Reporte de inspecciones y revisiones de las instalaciones.

La información anterior constituye la base para poder aplicar las técnicas de análisis de riesgos.

A continuación se describen cinco de las diversas técnicas de análisis de riesgos, estas son:

- + Índice DOW de fuego y explosión
- + Guía de cálculo de nubes explosivas
- + Análisis de falla y efecto
- + Arbol de fallas
- + Análisis de paro y arranque

Índice DOW de fuego y explosión

Esta técnica fue desarrollada por DOW Chemical Co. para determinar el grado de riesgo de fuego y explosión de las unidades de proceso, así como evaluar las posibles pérdidas económicas y especificar medidas preventivas y de control. Es una técnica de aplicación estricta en la cual se relaciona el riesgo del material presente con riesgos intrínsecos de la unidad de proceso; por ello se utiliza como análisis de riesgos inicial para todas las unidades de proceso existentes en la planta, así como base de decisión para la aplicación de las demás técnicas en función de los resultados de la aplicación de ésta.

La aplicación de esta técnica se inicia con la evaluación de la peligrosidad del material, calculada como función directa de sus riesgos de incendio y reactividad reportados en el National Fire Code Nº 325 (NFPA), con lo que se obtiene un valor numérico entre 1 y 40, llamado Factor Material (FM).

Los riesgos de proceso se catalogan en dos apartados diferentes:

1. Riesgos generales de proceso, que engloba las condiciones comunes a todo proceso; por ejemplo: reacciones exotérmicas o endotérmicas, drenajes, acceso a la unidad, etc.
2. Riesgos especiales del proceso, que abarca las condiciones específicas de operación del proceso; por ejemplo: temperatura, presión, tipo de intercambio de calor.

En cada apartado se asigna un valor numérico, de acuerdo a la magnitud del riesgo, en los puntos específicos que apliquen. La suma de los valores asignados a cada punto de los apartados determina el factor por riesgos generales del proceso (F_1) y el de riesgos especiales del proceso (F_2). La suma indica que la probabilidad de ocurrencia de un evento de pérdida es función de la combinación de los riesgos presentes en el proceso.

El producto de $F_1 \times F_2$ es el factor de riesgo de la unidad (F_3), el cual es una medida de la magnitud del daño probable por la exposición a la combinación de riesgos de la unidad de proceso.

El producto de $F_3 \times F_M$ (factor material) representa el Índice DOW de fuego y explosión (IFE), el cual indica la magnitud del daño probable.

Al relacionar F_3 con el factor material (fig. 1) se determina el factor de daño de la unidad, el cual representa la probabilidad de daño por fuego o explosión a una determinada área; ésta se considera circular y se determina en función del valor del IFE utilizando la figura 2.

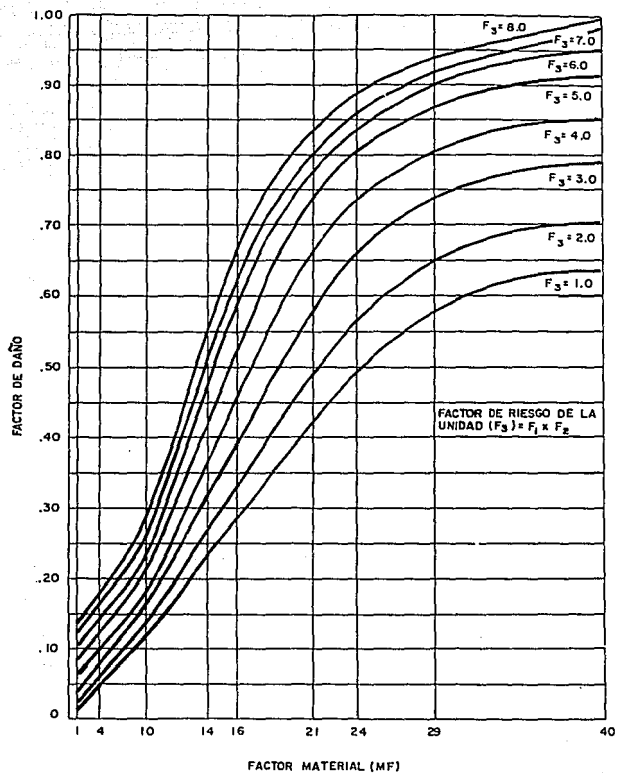
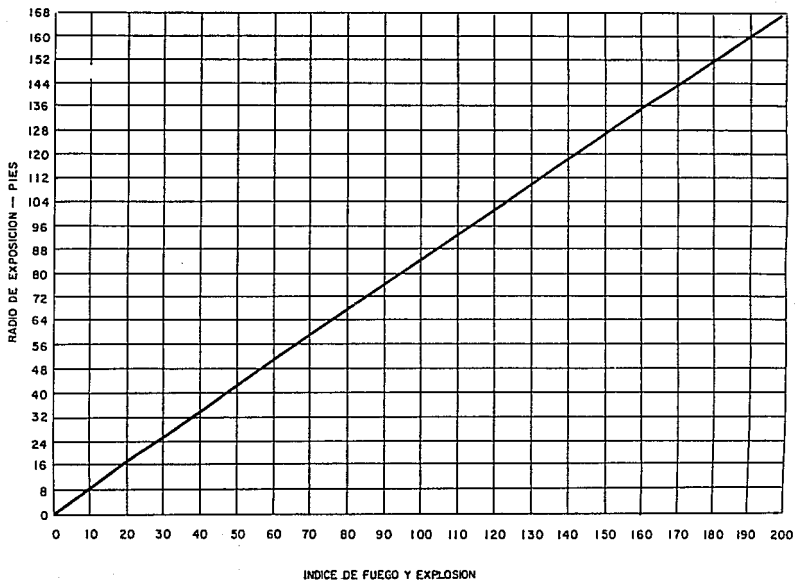


Figura 1. Factor de daño de la unidad

Figura 2. Area de exposición



Una vez determinada el área de exposición, se calcula el daño máximo probable a la propiedad base (DMPPb), considerando el valor de reposición del equipo dentro del área, con la siguiente fórmula:

$$\text{Valor de reposición} = \text{Costo original} \times 0.82 \times \text{Factor de escalación}$$

0.82 es la corrección estadística para los EUA, por partes no sujetas a reemplazo como: preparación del lugar, ingeniería, cimentación, etc. También deben incluirse el valor de los inventarios de materias primas, materiales y productos, considerando el 80 % de la capacidad de tanques de almacenamiento, 70 % de la capacidad de bodegas y la capacidad de diseño de líneas de proceso y recipientes.

La suma de estos costos multiplicada por el factor de daño proporciona el valor del DMPPb.

La probabilidad de ocurrencia y el potencial de pérdida de un evento se ven minimizados de acuerdo con los sistemas de protección y control presentes en la unidad de proceso, por lo que la técnica considera su efecto en tres apartados:

1. Control del proceso, que comprende sistemas tales como: energía de emergencia, enfriamiento, control por computadora, procedimientos de operación, entre otros.
2. Aislamiento del material, que evalúa los sistemas de aislamiento y corte de materiales.
3. Protección contra incendios, que engloba los sistemas mínimos necesarios de protección contra incendios.

Los factores que apliquen en cada apartado tienen valores menores a 1 y los que no apliquen tienen asignado el valor 1.

Dichos valores se multiplican para encontrar un factor C de corrección por medidas de seguridad. La multiplicación representa la consideración de que los sistemas de prevención actúan simultáneamente. El producto del DMPPb x C da como resultado el valor definitivo del daño máximo probable a la propiedad (DMPPd).

Las medidas preventivas y de protección adicionales necesarias para disminuir el DMPPd se especifican al revisar las medidas de seguridad que no aplicaron, pero que deben implantarse; también se revisan los puntos que más contribuyen al riesgo de la unidad y que pueden modificarse.

La decisión se fundamenta en la reducción esperada del DMPPd contra el costo de las medidas necesarias.

Guía de cálculo de nubes explosivas

Desarrollada por Celanese Corporation con base en la información proporcionada por Industrial Risk Insurers en Estados Unidos, esta técnica permite determinar la magnitud de una nube de vapores y su potencial explosivo, así como evaluar los daños probables.

Las experiencias industriales registradas desde 1927 a la fecha y de manera especial el suceso ocurrido en 1974 en Flixborough, Inglaterra, donde una fuga masiva de 60 toneladas de ciclohexano explotó con una fuerza equivalente a 30 toneladas de TNT, causando la muerte de 28 personas, destruyendo completamente la planta y provocando daños muy serios a la comunidad, determinó la necesidad de desarrollar una técnica para evaluar el potencial explosivo de una nube de vapores.

Si bien es cierto que en el momento de ocurrir una fuga, la formación de una nube está influida por factores tales como velocidad y dirección del viento, condiciones climatológicas, efectos de barreras naturales o estructurales y otros, en la predicción de un desastre potencial estas variables son desconocidas, por lo que la técnica resulta ser una aproximación conservadora y práctica que reduce sus efectos al mínimo. La Guía de cálculo de nubes explosivas se basa en:

1. La fuga es instantánea, no se considera el caso de escapes paulatinos, excepto para fugas de tuberías de gran capacidad.
2. El material fugado se vaporiza instantáneamente y la nube se forma de inmediato, de acuerdo con las condiciones termodinámicas del material en el momento de la fuga.
3. La nube adquiere una forma cilíndrica cuya altura es su eje vertical (no se consideran distorsiones causadas por el viento o estructuras).
4. La nube tiene composición homogénea y su concentración en el aire está en el punto medio del rango explosivo.
5. Se considera el calor de combustión de la dinamita (TNT, 2000 BTU/lb) para convertir el calor de combustión del material a un equivalente en peso de TNT.
6. La temperatura ambiente es constante e igual a 21°C/70°F.

Los materiales que se consideran como formadores potenciales de una nube explosiva son:

- * Gases inflamables en estado líquido por presión.
- * Gases inflamables en estado líquido por enfriamiento.
- * Gases inflamables sujetos a presiones mayores o iguales

de 500 psi.

- * Líquidos inflamables o combustibles a una temperatura mayor que su punto de ebullición y mantenidos en estado líquido por presión (excepto materiales con punto de fusión mayor de 100 °C o materiales muy viscosos).

La secuencia de cálculo se inicia determinando la fuga probable para los siguientes casos:

- a) Daño máximo probable: fuga del contenido del mayor recipiente o serie de recipientes interconectados entre sí, sin válvulas de corte automáticas y de falla segura.
- b) Daño catastrófico probable: fuga del contenido del mayor recipiente o serie de recipientes conectados entre sí, sin considerar la existencia de válvulas de corte automáticas y de falla segura, más el contenido de los recipientes localizados en la misma área y cercanos a los anteriores (de 5 a 10 metros de separación), que contengan materiales formadores de una nube explosiva. Se consideran también las fugas de tuberías mayores de 6 pulg de diámetro, alimentadas desde instalaciones lejanas, suponiendo que la fuga dura 30 minutos.

A continuación se calcula el peso del material en el sistema, utilizando las siguientes ecuaciones:

a) Gases $W_g = 0.002785 M V_g$

donde: W_g = peso del material fugado (lb)
 M = Peso molecular del gas
 V_g = Volumen del gas corregido a condiciones normales de presión y temperatura (ft³)

b) Líquidos $W_l = 8.35 \rho V_l$

donde: W_l = Peso del líquido fugado (lb)
 ρ = Densidad del material a la temperatura de proceso (g/ml)

V1 = Volumen del líquido contenido en el equipo (gal)

El siguiente paso es calcular la cantidad vaporizada:

a) Gases $W = Wg$

W = Peso del material vaporizado (lb)

b) Líquidos $W = W1 * Cpm * (T1 - T2) / AHV$

donde: Cpm = Media geométrica de los calores específicos a presión constante entre T1 y T2 (cal/g °C)

T1 = Temperatura del proceso (°C)

T2 = Temperatura de ebullición (°C)

AHV = Calor latente de vaporización (cal/g)

Con el valor W se calcula el diámetro de la nube, considerando un cilindro de altura de 3 m (10 ft), aplicando la siguiente fórmula:

$$D = 7.017 * (W / (M * v))^{**} 0.5 \quad v = (LIE + LSE) / 2$$

donde: v = Media aritmética de los límites de explosividad

LIE = Límite inferior de explosividad (% en volumen)

LSE = Límite superior de explosividad (% en volumen)

Con la inclusión del término "v", la concentración de la nube se considera en el punto medio del rango explosivo, donde la explosión es más eficiente.

El último paso es el cálculo de la energía desprendida, lo que se realiza considerando la energía equivalente de la TNT, a partir de su calor de combustión, con la siguiente fórmula:

$$We = W * AHc * f / 4'000,000$$

donde: We = Peso de TNT que produce una fuerza explosiva equivalente a la que produciría la nube (ton)

AHc = Calor de combustión del material (BTU/lb)

f = Factor de explosividad igual a: 0.02 para

daño máximo probable y 0.1 para daño ca-
tastrófico probable

Los círculos de sobrepresión se determinan utilizando la gráfica mostrada en la figura 3, en la cual relaciona el peso de TNT (como carga de TNT) con los diámetros de los círculos alcanzados por diferentes presiones. La figura 4 muestra los daños que sufrirán diferentes equipos e instalaciones de proceso por efectos de la sobrepresión.

De esta manera se cuantifican los daños potenciales derivados de la formación y explosión de una nube explosiva.

Las medidas que se derivan del análisis de este riesgo son de emergencia, no sólo internas para la planta, sino también para comunidades y plantas vecinas.

Generalmente los resultados de esta técnica llevan a la aplicación de otras, normalmente del campo de Operabilidad, donde se obtenga información completa de las causas potenciales y puedan especificarse medidas preventivas.

Análisis de falla y efecto / HAZOP

Esta técnica es una de las de aplicación más práctica, además de que proporciona la información más completa y detallada acerca de la operación del proceso, los riesgos asociados y las medidas preventivas necesarias.

Su aplicación requiere de una descripción completa del proceso, ya que su objetivo es el de cuestionar cada una de sus partes para descubrir que desviaciones del propósito original pueden ocurrir y cuales son las consecuencias de riesgo para el personal, la comunidad, el medio ambiente o las instalaciones.

Figura 3. Determinación de los círculos de sobrepresión

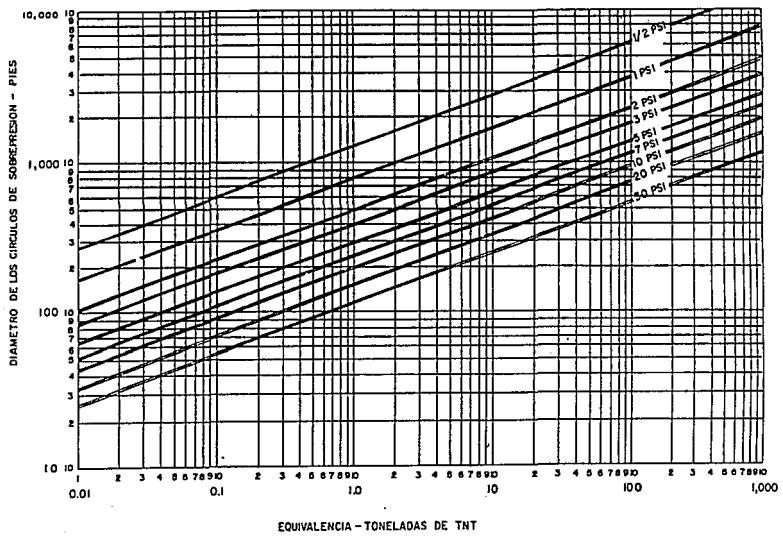


Figura 4. Datos por sobrepresión a equipos de proceso

EQUIPO	SOPREPRESION PSI																										
	0.0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10	12	14	16	18	20	20	
CUARTO DE CONTROL (Techo metálico)	p	e	d				n																				
CUARTO DE CONTROL (Techo concreto)	q	r	d				n																				
TORRE DE ENFRIAMIENTO	h	e				o																					
TANQUE: TEOCO CONICO		g				k																					
CUBO DE INSTRUMENTOS		q				l	m																				
CALENTADOR A FUEGO		q				l																					
REACTOR QUIMICO		q				l																					
FILTRO		h																									
REGENERADOR																											
TANQUE: TEOCO FLOTANTE																											
REACTOR CRACKING																											
SOPORTES DE TUBERIA																											
SERVICIOS (Medidor de On)																											
TRANSFORMADOR ELECTRICO																											
MOTOR ELECTRICO																											
BLOWER																											
COLUMNA FRACCIONADORA																											
RECIPiente HORIZONTAL A PRESION																											
REGULADOR DE GAS																											
COLUMNA DE EXTRACCION																											
TURBINA DE VAPOR																											
CAMBIADOR DE CALOR																											
TANQUE (Estero)																											
RECIPiente VERTICAL A PRESION																											
BOMBA																											

a) Rotura de válvulas y medidores
 b) Fallo de amperaje de 0.3 a 0.5 psi
 c) Conectores dañados por colapsos del techo
 d) Colapso del techo
 e) Instrumentos dañados
 f) Partes internas dañadas

g) Lechugas rotas
 h) Daño por presión de perforación
 i) El equipo se mueve y los soportes
 j) Fallo de abrazadera y soportes
 k) El equipo se levanta (80% llenas)
 l) Líneas de fuerza dañadas

m) Controlis dañados
 n) Fallo de paredes de concreto
 o) Marcas estropeadas
 p) Marcas deformadas
 q) Corrosión y soldes dañados
 r) Marcas rotas

s) Tubería rota
 t) Unidad dañada
 u) Equipo levantado (80% llenas)
 v) Unidad se mueve de sus cimientos

Este cuestionamiento se enfoca a cada una de las partes del proceso y a cada componente de dichas partes, utilizando siete "palabras guía", las cuales están diseñadas para asegurar que las preguntas que se formulen a partir de ellas, analicen todas las posibilidades de que el funcionamiento de un componente se desvíe de su intención o propósito de diseño.

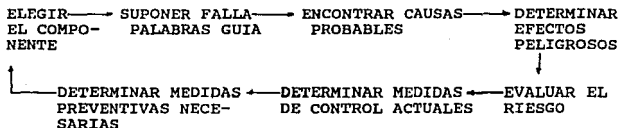
Las palabras guía son:

Palabra guía	Significado	Aplicación
NO	Completa negación de la intención	No se realiza la intención pero no sucede otra cosa
MAS/MENOS	Incremento/Disminución cuantitativos	Se refiere tanto a cantidades como a propiedades
ADEMAS DE	Incremento cualitativo	La intención se realiza además de otra no deseada
PARTE DE	Disminución cualitativa	Sólo se realizan ciertas intenciones
INVERSO	Intención lógica opuesta	Aplicable a intenciones como retroceso de flujo o reacción reversible
DISTINTO	Sustitución completa de la intención	No ocurre la de diseño, pero sí otra completamente distinta

El estudio se inicia dividiendo la unidad de proceso en secciones, de las cuales se identifican sus componentes, tales como: líneas de materias primas, materiales auxiliares y productos, sistemas de combustión, de calentamiento, de enfriamiento, reactores, purificadores, etc., definiendo claramente su(s) intención(es) o función(es) específica(s).

El análisis se efectúa con cada uno de los componentes individuales, hasta cubrir toda la unidad de proceso, suponiendo fallas derivadas de las palabras guía y se inicia asumiendo que no se cuenta con ningún sistema de control o de protección del componente, de modo que pueda apreciarse la magnitud del evento de pérdida que pudiese ocurrir.

El análisis sigue la siguiente secuencia:



La técnica se aplica por medio de una hoja de trabajo, a fin de seguir el procedimiento lógico de estudio. Consta de 9 columnas que se llenan durante el análisis y que facilitan la detección, evaluación y prevención de riesgos.

Estas columnas son:

1. Componente: es la parte del proceso o equipo a analizar como cambiadores de calor, columnas de destilación, líneas, circuitos de instrumentación o unidades de bombeo.
2. Falla: es la desviación de la intención original determinada con las palabras guía.
3. Causas: son las razones por las que la falla ocurre. A mayor número de causas, mayor probabilidad de que la falla se presente.
4. Frecuencia: número de veces que se espera que ocurra o que ha ocurrido una falla. Normalmente se expresa como incidencia anual.

5. Efectos peligrosos: son los resultados que aparecerán en la unidad como consecuencia de la falla. Esta columna se llena sin considerar ningún dispositivo de control o de protección.
6. Clase de riesgo: es la gravedad relativa de un efecto peligroso; se consideran cuatro clases de riesgo:
- Clase I Insignificante: sin consecuencias para el personal o para las instalaciones.
- Clase II Marginal: no hay riesgos para el personal y los efectos en las instalaciones se reflejan en la calidad del producto y/o en un mayor desgaste del equipo. El costo del daño es menor de N\$ 1 000 mn.
- Clase III Crítico: el personal puede resultar lesionado o expuesto a concentraciones tóxicas, o se requieren acciones de emergencia para la supervivencia del personal y/o conservación de las instalaciones, o habrá una reclamación a la compañía de seguros.
- Clase IV Catastrófico:
- a) Existe la probabilidad de afectar seriamente al personal y/o de pérdida mayor del equipo, o
 - b) Existe el potencial de afectar personas y/o propiedades ajenas a la compañía.
7. Medios de detección: son los mecanismos existentes en la unidad que indicarán que se está presentando la causa, la falla o los efectos.
8. Respuesta operacional: son los medios operativos existentes para contrarrestar la causa, la falla o sus efectos: dispositivos de protección, instrumentación de control,

sistemas de paro, procedimientos de emergencia, etcétera.

En este momento se evalúa la efectividad de los sistemas de protección y control.

9. Acciones adicionales: son las medidas requeridas para detectar, prevenir, controlar o minimizar la falla, la causa o sus efectos.

Arbol de fallas

Esta es una técnica desarrollada por la NASA, para analizar la confiabilidad de sus sistemas de control en los programas espaciales, donde no es posible admitir la ocurrencia de un evento de pérdida ni aun una primera vez. Posteriormente fue adaptada por DUPONT para aplicarse en industrias de proceso químico y petroquímico, aunque puede utilizarse en cualquier tipo de proceso.

El uso y la aplicación de esta técnica requiere de mayor conocimiento, experiencia y objetividad que cualquiera de las antes descritas.

Desde el punto de vista de la Seguridad de procesos, el propósito del árbol de fallas es el de permitir un control razonable de pérdidas, sin comprometer la producción o las utilidades, comparando la probabilidad de ocurrencia de la falla con la magnitud probable de la pérdida.

El punto de partida es el de comprender que para que las pérdidas sean cero, debe haber cero capacidad de pérdida, lo cual implica cero capacidad de producción, o lo que es lo mismo, unidad de proceso parada y cero utilidades.

De la experiencia industrial se ha derivado el siguiente criterio para evaluar la probabilidad de ocurrencia o fre-

cuencia probable:

Probabilidad	Frecuencia
10^0	Inminente (puede ocurrir en cualquier momento)
10^{-1}	Muy probable (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces en un año)
10^{-3}	Probable (ha ocurrido o puede ocurrir en un año)
10^{-5}	Poco probable (no ha ocurrido en cinco años)
10^{-7}	Improbable (no se ha presentado en diez años)
10^{-9}	No hay posibilidad de que ocurra

El potencial de pérdida se evalúa con base en la pérdida máxima probable por daños directos si ocurriera el evento de pérdida considerado, incluyendo pérdida de equipo, interrupción de operaciones y pérdidas en materias primas, materiales auxiliares y producto terminado. Este valor puede obtenerse aplicando el Índice DOW de fuego y explosión. El criterio utilizado es:

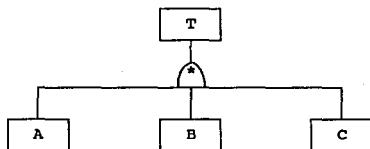
Potencial	Magnitud (\$)
10^0	10 - 100
10^{-1}	100 - 1000
10^{-2}	1000 - 10000
10^{-3}	10000 - 100000
10^{-4}	100000 - 1000000
10^{-5}	1 MM - 10MM
10^{-6}	10 MM - 100 MM
10^{-7}	100 MM - 1000 MM
10^{-8}	1000 MM - 10000 MM
10^{-9}	más de 10000 MM

Un evento de pérdida es aceptable si su probabilidad de ocurrencia es menor o igual que el potencial de pérdida.

El árbol de fallas permite determinar el valor de la probabilidad de ocurrencia y efectuar la comparación.

El árbol de fallas es un diagrama lógico en el cual cada evento o condición se muestra como una consecuencia de la combinación de otros eventos o condiciones, de acuerdo con sus relaciones causales mostradas mediante símbolos llamados "puertas de entrada".

La puerta de entrada "Y" (and) se simboliza con un signo de multiplicación "*" (figura 5), indica que para que ocurra el evento de pérdida (T) deben cumplirse todos los eventos de entrada (A, B y C). En este caso la probabilidad de ocurrencia del evento "T" es igual al producto de las probabilidades de ocurrencia de los eventos de entrada.

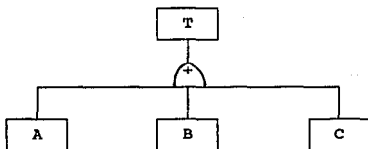


$$P_T = P_A * P_B * P_C$$

Figura 5. Diagrama puerta "Y"

La otra puerta de entrada es la puerta "O" (or), simbolizada por el signo "+" (fig. 6) y significa que para que el evento "T" ocurra, basta con la ocurrencia de uno de los

eventos de entrada. Al aplicar esta puerta, la probabilidad de ocurrencia del evento "T" es igual a la suma de las probabilidades de los eventos de entrada, lo que, para fines prácticos, puede considerarse como igual a la probabilidad más grande de los eventos de entrada.



$$P_T = P_A + P_B + P_C$$

Figura 6. Diagrama puerta "O"

Cuando el evento de entrada significa la falla de un componente o de un equipo, se denomina falla funcional.

Se acepta la existencia de tres tipos de fallas funcionales como eventos de entrada y siempre a través de una puerta "O":

Falla primaria: simbolizada por un círculo, es aquella donde el componente carece de o pierde la capacidad para desempeñar la función de diseño bajo condiciones normales de operación. El ejemplo típico es la instalación de un componente fuera de especificaciones.

Falla secundaria: simbolizada por un rombo, es aquella causada por agentes externos a la unidad de proceso, tales como terremotos, vandalismo o inundaciones. Por lo general es

una terminación del árbol de fallas que se evalúa considerando aspectos del entorno laboral, de la situación del área de la planta, de las experiencias anteriores, etcétera.

Falla de mando: simbolizada por un rectángulo, es causada por condiciones de proceso excesivas o fuera de control, como cargas mecánicas, energía liberada, falla de instrumentos, falla humana, etcétera.

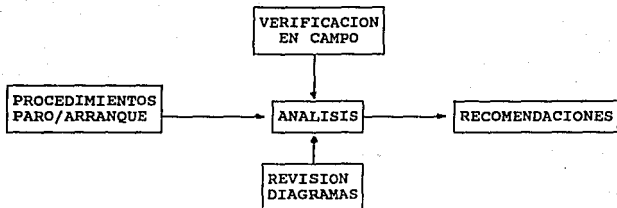
A partir del evento de pérdida "T" y considerando el tipo y la relación causal de las fallas funcionales, el árbol se describe hacia abajo, indicando los eventos necesarios y suficientes para producir cada evento de entrada, utilizando las puertas "Y" y "O" según sea necesario.

El árbol debe ser lo mas práctico y completo posible, deteniéndose cuando pueda determinarse la probabilidad de ocurrencia de algún evento terminal. Una vez que el árbol está completo, se procede a estimar la probabilidad de ocurrencia del evento de pérdida "T", de acuerdo con las puertas de entrada de la cadena de causas. Esta probabilidad se compara con el potencial de pérdida para evaluar el nivel de seguridad de la unidad.

En el caso de que la probabilidad de ocurrencia del evento de pérdida sea mayor que el potencial de pérdida, deben atacarse directamente aquellos eventos que más contribuyan a incrementar la probabilidad de ocurrencia, definiendo medidas preventivas que aseguren el equilibrio entre ambos factores.

Análisis de paro y arranque

Esta técnica se aplica de acuerdo con el siguiente diagrama de flujo:



Su propósito es asegurar un paro o un arranque seguros y como el único medio de lograrlo es contando con procedimientos adecuados y eficientes, la técnica consiste en verificar si dichos procedimientos están vigentes y consideran las modificaciones que pudieran haberse realizado en alguna sección de la unidad de proceso.

Administración del sistema de análisis de seguridad en procesos

Para obtener resultados de la aplicación de las técnicas de análisis de seguridad en procesos, debe operar de acuerdo con el proceso administrativo consistente en:

- a) Planeación.
- b) Organización.
- c) Dirección.
- d) Supervisión.
- e) Ejecución.
- f) Control.

En la fase de planeación se consideran todos los recursos necesarios para que el trabajo se desarrolle de manera que se obtengan los resultados esperados. Deben contestarse preguntas que involucren las siguientes palabras:

QUE? Referido a definición del sistema.

COMO? Referido al procedimiento y la organización.

DONDE? Referido a procesos prioritarios, lugares de reunión de los grupos de trabajo, entre otros.

CUANDO? Referido a tiempo de inicio y terminación.

QUIEN? Referido a integrantes de la organización soporte, grupos de trabajo, administrador del sistema, etc.

CUANTO? Referido a recursos humanos, físicos y económicos

PARA QUE? Referido a objetivo y alcance del sistema.

Algunas actividades a considerar son:

1. Procedimiento que "oficialice" el sistema y fije responsabilidades.
2. Capacitación del personal involucrado.
3. Organización soporte.
4. Tiempo disponible.
5. Información acerca del proceso.
6. Utiles de trabajo

Las fases de organización, dirección, supervisión y control son responsabilidad de la organización soporte (figura 7). En complejos industriales con más de una unidad de proceso, la organización que ha demostrado ser más eficiente se compone de dos comités:

1. Comité Director integrado por el Gerente del centro de trabajo, los diferentes Gerentes de Producción, Técnico, Procesos, Ingeniería y Seguridad Industrial.

Sus principales responsabilidades son: vigilar la implantación del sistema, priorizar las unidades de proceso a analizar, validar y priorizar las recomendaciones deriva-

das asegurando su cumplimiento, y determinar la frecuencia de análisis a las diferentes unidades.

2. Comité de Seguridad de Proceso formado por el Gerente de la unidad y los Superintendentes de Producción, Técnico, Procesos e Ingeniería o Mantenimiento.

Sus principales responsabilidades son: integrar y guiar a los grupos de trabajo, asesorarlos, validar las recomendaciones generadas, asesorar al comité director en la priorización de recomendaciones asegurando su cumplimiento.

En centros de trabajo con una sola unidad de proceso sólo se constituye un comité del sistema con todas las funciones mencionadas.

La fase de Ejecución está a cargo de los grupos de trabajo, los cuales están formados por tres ingenieros, uno de Producción, uno del Técnico o Procesos y uno de Ingeniería o Mantenimiento. Este grupo debe reforzarse con especialistas de áreas específicas como instrumentistas, Seguridad, Higiene Ind., Energéticos, Control Ambiental, cuando sea requerido.

Son responsables de aplicar las técnicas de análisis, generar recomendaciones y emitir los reportes necesarios.

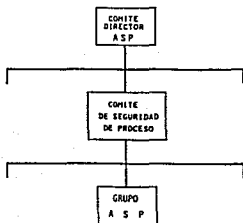


Figura 7. Organigrama típico ASP

Siempre que se presente una preocupación por el nivel de seguridad de una unidad de proceso, se justifica la aplicación de un análisis de seguridad, a través de técnicas como las mencionadas. Sin embargo, debe aplicarse todas las veces que se presente alguna de las siguientes condiciones:

1. Diseño de una nueva unidad de proceso.
2. Ocurrencia de eventos de pérdida.
3. Modificaciones mayores al proceso, equipos, condiciones de operación, instrumentación de control, dispositivos de seguridad, capacidad de la planta.
4. Cuando ha transcurrido un periodo de tiempo, desde la última aplicación del sistema a esa unidad. En procesos químicos y petroquímicos se recomienda que el periodo máximo sea de 5 años.

La importancia de la aplicación durante el diseño de una nueva unidad reside en que influirá en las decisiones más importantes del proyecto tales como: selección de la tecnología (materias primas, materiales, equipos, condiciones de operación, entre otras), instalación de sistemas de prevención, protección y control de incendios y emergencias, instrumentación adecuada, procedimientos de operación, mantenimiento y emergencia, etcétera.

Toda la información obtenida por el personal del proyecto involucrado en el análisis de seguridad, será de enorme utilidad para que el personal de operación logre una operación segura, además de obtener un conocimiento profundo del proceso y sus equipos, que sería muy difícil obtener de otra manera. Permitirá preparar procedimientos adecuados de operación

y para paros y arranques (normales y de emergencia) así como sistemas de entrenamiento y programas de mantenimiento. De esto dependerá, en gran medida, la operación segura del proceso.

Criterios operativos

1. La conceptualización correcta de las interacciones no deseadas Hombre - Maquinaria - Materiales, es la clave para establecer sistemas y programas de prevención de riesgos "a la medida", ya que estos tres factores son específicos para la planta y para la unidad de proceso. El concepto básico es considerar que dos procesos "iguales" (tecnología, distribución de equipo, materias primas, materiales y productos, arreglo de equipo, condiciones y capacidades de operación, etc.), en dos lugares distintos, son en realidad dos procesos diferentes (distinta administración, diferente grupo de operadores, distintas filosofías de operación y prioridades, etcétera).
2. La separación del concepto Seguridad en diferentes áreas o disciplinas, y éstas en diferentes componentes formados a su vez por diversos sistemas administrativos, reconociendo sus áreas de traslape, responde a la necesidad de determinar fácil y prácticamente, hacia dónde enfocar los recursos humanos y materiales disponibles, para resolver los problemas prioritarios del modo más económico y eficaz posible.
3. El involucramiento de la organización, vía la implantación de políticas, procedimientos y estándares congruentes con la cultura y los valores de la organización, ga-

rantiza un proceso de mejora continua tanto en seguridad como en productividad, calidad y costos, es decir, la hace ser cada vez más competitiva.

4. Aunque todos los sistemas administrativos que integran Seguridad de Procesos son igualmente importantes y la implantación de los aplicables es el medio para asegurar la prevención efectiva de los riesgos de seguridad y confiabilidad de los procesos, algunos serán prioritarios de acuerdo con las condiciones específicas de la organización, del proceso y del posicionamiento del producto. Sin embargo, sea cual sea el orden de prioridad con que se implanten, el sistema de auditoría, considerado como herramienta administrativa de seguimiento y control, debe considerarse fundamental, a fin de asegurar la implantación y los resultados esperados de los sistemas seleccionados.
5. El propósito de clasificar los riesgos de proceso en campos, es el de facilitar la operación del sistema Análisis de Riesgos y la dirección de los grupos de trabajo hacia objetivos precisos. Lo anterior se complementa definiendo el alcance de cada estudio con base en:
 - a) Límite de baterías.
 - b) Fecha de inicio.
 - c) Tiempo para compilar la información requerida.
 - d) Fecha de terminación del estudio.
 - e) Técnicas a aplicar.
 - f) Grupo de trabajo.Además de un programa y lugar definido para las reuniones

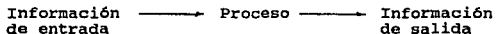
de trabajo.

6. El campo de Operabilidad debe aplicarse en forma prioritaria desde la fase de diseño y durante la operación del proceso. Los campos Sistemas Críticos y Efectos de paro y arranque, complementan al de Operabilidad.

El campo de Fuego y Explosión sirve para categorizar los niveles de riesgo de las diferentes secciones de una unidad; su principal aplicación se da durante la etapa de diseño/ingeniería. En operación normal sirve para verificar/confirmar los niveles de riesgo.

El campo de Nubes Explosivas también tiene su aplicación principal durante la etapa de diseño, condicionando la localización de las nueva unidad respecto de las existentes, así como la de cuartos de control, centros de control de motores, oficinas, comedores, etc., además de ayudar a definir procedimientos de emergencia. Como consecuencia de su aplicación, la unidad debe ser estudiada por técnicas del campo de Operabilidad.

7. La aplicación de las técnicas se conceptualiza como un proceso:



Para garantizar una información de salida/resultados de calidad, el proceso y la información de entrada deben ser de calidad. Tanto las técnicas descritas como otras aplicables no incluídas, son un proceso desarrollado con fundamentos técnicos y estadísticos que les confieren un nivel de confiabilidad aceptado internacionalmente, por lo que se consideran de calidad. Por tanto, la definición

del alcance del estudio y el contar con información actualizada del proceso, constituyen la información de entrada de calidad.

8. Aunque el Índice DOW de fuego y explosión no es la única técnica, ni la más completa, aplicable a este campo de riesgo, sí es de las más sencillas y la que permite evaluar aspectos económicos asociados al evento de pérdida potencial, cumpliendo su función de categorizar los niveles de riesgo, además de ser una potente herramienta para justificar inversiones derivadas por la aplicación de cualquiera de las técnicas.
9. La Guía de cálculo de nubes explosivas es el método aceptado internacionalmente, como el que aporta una aproximación razonable para evaluar la magnitud y el potencial destructivo de una nube de vapores. Se han desarrollado otros que incluyen variables de condiciones atmosféricas, cuyos resultados no difieren significativamente de los obtenidos por esta técnica, al evaluar eventos conocidos, pero la cantidad de información requerida para aplicarlos los hace poco prácticos.
10. La técnica HAZOP es el resultado de perfeccionar el Análisis de falla y efecto. Es la técnica reconocida internacionalmente como la mejor para evaluar los riesgos de confiabilidad y seguridad de cualquier tipo de proceso o servicio. También se aplica para analizar y prevenir el error humano.
11. La técnica Arbol de fallas debe aplicarse en aquélos ca-

sos donde la técnica HAZOP indique un riesgo inaceptable y las medidas preventivas y correctivas que se especifiquen no sean realmente suficientes o se cuestione su eficacia. No debe utilizarse como técnica de categorización de niveles de riesgo o como estudio inicial del campo de Operabilidad, ya que es poco práctico y efectivo.

12. Los valores del potencial de pérdida deben ajustarse a los que cada organización considere como financieramente aceptable; el criterio indicado aplica para la mayoría de las empresas grandes.
13. La técnica Análisis de paro y arranque debe dar por resultado la especificación y/o actualización de los procedimientos y listas de verificación para arranques y paros normales y de emergencia, incluyendo los registros de colocación y retiro de etiquetas, candados, cadenas y bridas ciegas o "comales", puenteo y desbloqueo de protecciones y de desbridado y bridado de líneas y válvulas.
14. En la administración de un sistema de análisis de seguridad en procesos, el grupo clave es el Comité Director. El involucramiento de la supervisión mayor garantiza la operación del sistema y facilita el desarrollo e implantación de los aspectos administrativos de soporte.
15. La frecuencia de aplicación de 5 años se justifica para procesos donde se tiene establecido un sistema efectivo de administración de cambios, o para procesos no críticos si se carece de este sistema. En caso contrario, una frecuencia de aplicación de tres años se considera como el mínimo aceptable. Para un sistema de administración

de cambios muy eficiente, la frecuencia puede incrementarse a 7 años como máximo.

IV. COMPONENTES DE LA INGENIERIA DE SEGURIDAD EN PROCESOS

Seguridad en Proyectos

La operación segura y confiable de una unidad de proceso será lograda con mayor facilidad si desde el proyecto, se toman las medidas necesarias para prever las situaciones potenciales de riesgo. Para tal fin, se requieren cubrir los siguientes aspectos:

1. Revisión de los aspectos de Control Ambiental, Seguridad y Salud Ocupacional en, al menos, tres etapas del proyecto:

- a) Concepción: carta de proceso, operaciones y procesos unitarios considerados, materiales involucrados, desechos esperados, agentes peligrosos ambientales potenciales, rango de control del proceso y condiciones críticas.
- b) Ingeniería de detalle: con los diagramas de tubería e instrumentación se aplican las técnicas de análisis de seguridad de procesos requeridas. Deben revisarse los aspectos relacionados con la localización y distribución de la unidad, instrumentación de control y seguridad del proceso, lógica de operación, minimización de desechos, protección a comunidades, requerimientos de protección contra incendios y emergencias, y dispositivos de seguridad de procesos.
- c) Prearranque y arranque: prueba de los circuitos de instrumentación, integridad de los equipos y de los componentes de proceso, verificación de implantación o instalación de los dispositivos y medidas determinados por los estudios de análisis de riesgos, métodos seguros de

trabajo, condiciones de operación normal, eficiencia de instrumentación y procedimientos de operación normal, paro normal y de emergencia y de arranque.

2. Estructura organizacional para conducir los análisis de seguridad del proceso, desarrollar los procedimientos de operación y métodos seguros de trabajo, asegurar la instalación de dispositivos e implantación de medidas de seguridad y salud ocupacional y los de control ambiental, así como para supervisar los trabajos del personal de construcción.
3. Programas de seguridad y salud ocupacional para el personal contratista equivalentes a los seguidos con el personal de la planta, iniciando con la contratación de la compañía, el cumplimiento de los requisitos legales y de la planta en estas materias, la supervisión de trabajos y el asegurar que se cumplen las especificaciones civiles, mecánicas, eléctricas y del equipo de proceso.

Administración de cambios

Este componente también es conocido como "Disciplina de Operación" y se refiere a todas aquellas actividades operativas que tienden a mantener la seguridad y confiabilidad del proceso. Deben cubrirse los siguientes puntos, como mínimo:

1. Implantar y mantener actualizado un sistema o procedimiento para que la Gerencia apruebe cualquier modificación al proceso, sus condiciones de operación, materias primas o materiales auxiliares, especificaciones del equipo, instrumentación, etc., que incluya la aplicación del sistema de análisis de seguridad en procesos. Con esto se asegura

que los cambios y modificaciones de cualquier magnitud se efectúen con el debido análisis de sus consecuencias potenciales y se mantenga informado al personal involucrado, tanto en la operación directa como en la administración de la unidad.

2. Implantar y mantener actualizado un procedimiento para minimizar el uso de dispositivos riesgosos (mirillas de vidrio, indicadores de nivel de vidrio o por mangueras plásticas o instrumentos no confiables).
3. Implantar y mantener actualizado un sistema de registro, reporte y corrección de desviaciones y fallas del proceso, a fin de mantener el nivel de confiabilidad y seguridad de la operación y del proceso.

Información de seguridad del proceso

El mantener actualizada y disponible para el personal involucrado la información requerida para la operación del proceso, facilita la toma de decisiones y la solución de problemas tanto en operación normal como en las situaciones críticas, anormales o riesgosas. Esta información debe estar por escrito y con el grado de detalle suficiente para que el personal la entienda, asimile y cumpla; este es un medio eficaz para disminuir la probabilidad del error humano.

La información mínima de seguridad del proceso es:

1. Diagramas de flujo, tuberías e instrumentación, distribución de equipo, localización de la planta, balances de materia y energía, clasificación eléctrica de áreas.
2. Especificaciones de empaques e instrumentos.
3. Análisis completos de seguridad del proceso.

4. Identificación de materiales, riesgos asociados a su manejo y su prevención.

Procedimientos de operación

Este componente esta íntimamente relacionado con el anterior, Información de Seguridad del Proceso; se le concede especial importancia por el impacto directo que tiene en la seguridad y confiabilidad del proceso.

Conceptualmente se acepta que estos procedimientos se estructuren como procedimientos/estándares de operación o como métodos de trabajo, aunque algunos puedan desarrollarse en otra forma, siempre y cuando se mantengan por escrito, actualizados, con el grado de detalle necesario, accesibles al personal y cubran como mínimo:

1. Operación normal.
2. Paro normal.
3. Paro de emergencia.
4. Arranque.
5. Arranque después de paro de corta duración.
6. Recirculación total.
7. Condiciones de operación anormales, críticas o riesgosas.
8. Operaciones rutinarias del personal.
9. Operaciones no rutinarias del personal.
10. Operaciones críticas o riesgosas del personal.
11. Situaciones de emergencia interna o externa.

Programas de ingeniería y mantenimiento

Los programas de ingeniería y mantenimiento son elementos indispensables para asegurar la integridad del personal y

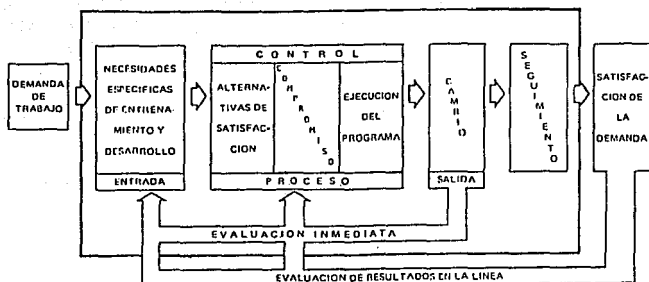
de las instalaciones. Un buen balance entre programas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, contribuye a la seguridad, productividad y calidad de la operación, así como a la reducción de los costos asociados.

Los puntos mínimos a cubrir son:

1. Sistema para mantener las especificaciones de diseño de equipos, maquinaria, tuberías, conexiones, instrumentación, empaques, sellos, dispositivos de seguridad, válvulas y otros accesorios.
2. Sistema para mantener el equipo eléctrico de acuerdo con la clasificación eléctrica de áreas.
3. Dispositivos de alivio de presión o de vacío: calibración, vida media, inspección y mantenimiento.
4. Integridad de equipos/corrosión: programa de verificación de espesores de equipos y tuberías, control de corrosión externa y erosión interna/externa.
5. Sistema de tierras: inspección y medición periódica.
6. Recubrimiento contra el fuego: instalación y mantenimiento
7. Inspección y mantenimiento a sistemas de inertización.
8. Procedimiento de entrega y recepción de equipo.
9. Sistema de registro, reporte y corrección de fallas.

Capacitación y entrenamiento

El elemento clave en la operación de cualquier unidad de proceso es el hombre. La prevención del error humano se basa en contar con personal debidamente capacitado y entrenado para efectuar las actividades que le correspondan. Para asegurar la efectividad de la capacitación y el entrenamiento, debe seguirse un proceso lógico, como el siguiente:



Como puede apreciarse, se inicia detectando las necesidades de cada persona y área que deben cubrirse con capacitación y/o entrenamiento. Estas necesidades se reflejan en los resultados y/o desempeño de la persona o del grupo, en la ocurrencia de accidentes o eventos de pérdida, la implantación de nueva tecnología o por modificaciones al proceso o a las operaciones, nuevas políticas y procedimientos, etcétera.

El segundo paso consiste en definir el tipo de capacitación o entrenamiento requerido y diseñar el contenido. Existen dos tipos de capacitación/entrenamiento:

1. Formal: en un aula, por un tiempo definido, interacción alumno - instructor, control de la información y medición de lo aprendido.
2. Informal: interacción jefe inmediato - colaborador sobre aspectos muy específicos, en el área de trabajo y en tiempo corto. Este tipo es el más significativo, ya que se imparte prácticamente cada día de trabajo.

Al diseñar el contenido se definen las mejores alternativas de capacitación/entrenamiento, tales como:

1. Curso formal.
2. Sombreo a personal que desempeñe la misma función.
3. Autocapacitación.
4. Capacitación dirigida.
5. Cobertura temporal de puestos o funciones.

El siguiente elemento es el compromiso jefe - subordinado para asegurar el cumplimiento del proceso de capacitación y entrenamiento.

El siguiente paso es la realización del evento de capacitación/entrenamiento de acuerdo con el tipo seleccionado y el contenido desarrollado, incluyendo las evaluaciones teóricas y prácticas necesarias para asegurar el cambio esperado.

En esta etapa se da la retroalimentación necesaria para evaluar la correcta detección de necesidades y el diseño del evento de capacitación/entrenamiento.

El cambio esperado en conocimientos y habilidades por el evento de capacitación/entrenamiento debe ser evaluado y reforzado a fin de que se vea reflejado claramente en la operación normal y se asegure la cobertura de las necesidades. Para tal fin, el jefe inmediato debe dar periódicamente el seguimiento operacional sobre las conductas terminales esperadas, hasta que se logre el nivel de desempeño requerido. Esta etapa es fundamental en todo el proceso y proporciona retroalimentación a las etapas previas del proceso.

Por último, la evaluación del nivel de cobertura de las necesidades que originaron el proceso de capacitación/entrenamiento, cierra el ciclo, sea confirmando o replanteando la efectividad del proceso seguido.

La capacitación y el entrenamiento deben cubrir a todo el personal de la unidad de proceso de acuerdo con su nivel organizacional, sus funciones y requerimientos de puesto. Esta actividad debe impartirse en tres niveles:

1. Instrucción a personal de nuevo ingreso, considerando como de nuevo ingreso al personal recién contratado o al que es transferido o ascendido a una nueva asignación:
 - a) Inducción general en políticas, filosofía, procedimientos de Seguridad y Salud Ocupacional y Control Ambiental de la compañía; organización, localización y distribución general de la unidad, riesgos generales y su prevención, áreas restringidas, uso de equipo de protección personal, etcétera.
 - b) Cursos de reforzamiento de los conceptos generales vistos en la inducción.
 - c) Inducción departamental en los aspectos específicos de operación y seguridad de su área de trabajo, riesgos y prevención, conocimientos genéricos del trabajo a desarrollar.
2. Capacitación/entrenamiento en su asignación: secuencia del proceso/operación, matemáticas de la planta, condiciones de operación normal, anormal y de emergencia, procedimientos de operación/métodos de trabajo, procedimientos de emergencia, conocimientos y habilidades en Seguridad y Salud Ocupacional y Control Ambiental requeridos para realizar su trabajo.
3. El tercer nivel aplica para todo el personal con puestos o asignaciones que tengan un impacto directo significativo

en la seguridad y/o confiabilidad del proceso. En este nivel debe alcanzarse la certificación del personal como verdaderos expertos en su puesto; deben saber y comprender los cómo y los porqués de sus operaciones, las consecuencias reales y potenciales de sus acciones y las de otros que operen o den mantenimiento o inspeccionen la unidad de proceso, así como los procedimientos aplicables. En este nivel descansa la verdadera seguridad del proceso, tanto por el grado de conocimientos y habilidades adquirido como por el de conciencia, madurez y criterio profesional necesario.

Investigación de eventos de pérdida

Definiendo evento de pérdida como aquel evento que impacta negativamente la seguridad y/o confiabilidad del proceso, se entenderá la importancia de la investigación y el cumplimiento de las acciones derivadas. Como ejemplos de eventos de pérdida tenemos: incendios, explosiones, fugas, derrames, paros de proceso de emergencia o no programados, arranques fallidos, entrada en condiciones de operación críticas o riesgosas, y producto fuera de especificaciones, entre otras.

La investigación requiere de un método que asegure determinar las causas y especificar las medidas correctivas, de control y preventivas mínimas necesarias. No es conveniente establecer sistemas de investigación cuyo objetivo sea el de encontrar culpables, ya que se parte de la base que todo evento de pérdida tiene su origen en algún error humano, ya sea operativo o administrativo.

El sistema de análisis de seguridad en procesos es apli-

cable para la investigación de eventos de pérdida, requiriéndose una descripción precisa de la secuencia y consecuencias del evento. Por tal motivo es necesario que participen los testigos y determinar las acciones del personal antes, durante y después del evento. El uso de formatos y la integración de comités de investigación, son elementos indispensables para lograr investigaciones objetivas y la especificación de medidas técnicas y administrativas viables y prácticas.

Los comités de investigación deben incluir a la supervisión mayor, media y de línea de la unidad. Las medidas especificadas deben ser validadas, priorizadas y programadas, así como recibir seguimiento periódico para asegurar se cumplan en tiempo y forma. De esta manera se asegura una tendencia descendente en la ocurrencia de los eventos de pérdida, con la consecuente disminución de los costos asociados.

Respuesta a emergencias

La preparación contra emergencias es el dispositivo más efectivo para minimizar las consecuencias asociadas a estas situaciones. Respuesta a emergencias considera todas las actividades tendientes al control de situaciones de emergencia derivadas de la operación del proceso que puedan afectar al personal, instalaciones y/o comunidad o medio ambiente, y situaciones externas que puedan afectar al personal o a las instalaciones. Tiene los siguientes componentes:

1. Plan de emergencia: especifica cómo y quiénes responderán. Usualmente se establece una organización soporte con las responsabilidades y funciones antes, durante y después, de las secciones:

- a) Comando.
- b) Comunicación.
- c) Producción.
- d) Servicios.
- e) Seguridad.
- f) Enmfermería o primeros auxilios.
- g) Brigada de emergencia.

Incluye los criterios y directrices para solicitud de ayuda externa, avisos a comunidad y autoridades y la emisión de reportes.

2. Preplaneación: generalmente enfocada al desarrollo de estrategias para estimar las situaciones potenciales de emergencia, definir la secuencia más lógica y práctica de combate y control, determinar las necesidades de personal y equipos, y establecer las responsabilidades y actividades específicas del personal involucrado.
3. Integración, capacitación y entrenamiento de brigadas de emergencia: es el dispositivo clave para el control de la situación. Su efectividad depende del nivel de capacitación y entrenamiento que alcancen, equipos y recursos suficientes y adecuados, y de la capacidad y preparación del comandante de la brigada.
4. Prueba y actualización del plan de emergencia, organización soporte, estrategias y efectividad de la brigada mediante simulacros periódicos, los cuales sirven de eventos de capacitación para todo el personal de la unidad.

Prácticas seguras de trabajo

En este componente se engloban todos aquellas prácticas y procedimientos para efectuar trabajos en la unidad, que no se relacionan directamente con la operación pero que la pueden afectar; también incluye aquellos aspectos administrativos que deben cumplirse para asegurar la competitividad de la operación, productos y costos. Algunas de estas prácticas son: procedimientos y normas de seguridad, higiene y medicina industrial o de control ambiental, permisos de seguridad para trabajos peligrosos, producción de fuego y chispas, entrada en áreas confinadas, trabajos en alturas, trabajos eléctricos en caliente o equipo de protección vital fuera de operación, procedimiento para toma de muestras y monitoreo de materiales y productos, uso del equipo de protección personal, auditivo y respiratorio requerido, manejo de materiales y desechos.

Este componente considera la forma de efectuar trabajos, considerando los aspectos de seguridad, productividad, calidad y costos.

Auditorías

La administración de la unidad debe tener mecanismos que le permitan evaluar el nivel de cumplimiento y efectividad de los sistemas y programas con que opere la unidad. Las auditorías son un elemento indispensable para lograrlo.

Las auditorías difieren de las inspecciones en que deben cubrir los siguientes aspectos:

1. Procedimiento escrito y actualizado que especifique las responsabilidades de auditores y auditados, frecuencia de auditoría y seguimiento a hallazgos.

2. Integración y capacitación del grupo de auditoría. Designación del líder del grupo.
3. Aplicación de protocolos y listas de verificación.
4. Sistema para el reporte, validación, priorización y cumplimiento de los hallazgos.

La implantación de todos los componentes de la Ingeniería de Seguridad de Procesos es una condición indispensable para lograr la continuidad del proceso productivo en su máximo nivel de resultados.

Criterios operativos

1. La revisión de los aspectos de Control Ambiental, Seguridad y Salud Ocupacional en los proyectos, se efectúa mediante cuestionarios anexos a las requisiciones de fondos, listas de verificación que los ingenieros del proyecto deben cubrir y juntas de especialistas en estos campos con el responsable del proyecto para acordar las medidas a implantar y sus alternativas viables. El contar con un responsable de estas funciones en la organización del proyecto, asegura el seguimiento a los acuerdos, la certificación de que lo mostrado en planos ha sido instalado y la solución de problemas antes de que se reflejen en operación normal. Usualmente los aspectos de salud ocupacional derivan en programas de detección, evaluación y control de agentes peligrosos y monitoreos de salud al personal, durante las etapas de pre-arranque, arranque y operación normal, aunque se tomen acciones preventivas durante el diseño.

2. El concepto de administración de cambios es de mayor alcance que el de disciplina de operación. En la práctica se refleja en el involucramiento de la organización en todo cambio en el proceso, por mínimo que sea, mediante la autorización del cambio por la alta gerencia responsable del proceso, de las áreas Técnica, Procesos, Calidad, Ingeniería y, de ser necesario, Seguridad Industrial y Control Ambiental. Como resultado lógico, los cambios se planean de manera que los riesgos potenciales de seguridad y confiabilidad se previenen y controlan, generándose una cultura organizacional operativa de evidente tendencia al logro y de alta exigencia en seguridad. Estos aspectos se refuerzan minimizando la instalación de dispositivos riesgosos y con el registro de fallas y acciones correctivas, incluyendo las que no fueron correctas, lo que sirve de base para el establecimiento de procedimientos para situaciones de falla previsibles y listas de trouble shooting
3. Los componentes Información de Seguridad del Proceso y Procedimientos de Operación son complementarios. La clave es que la información, los procedimientos y las instrucciones de operación estén por escrito, con el grado de detalle necesario, en formatos estándar, claramente identificados y accesibles. Una forma es por listas de verificación, otra es por procedimientos descritos paso a paso (quién hace qué), indicando los aspectos de productividad, calidad y seguridad a cumplir. Deben evitarse explicaciones extensas no requeridas o redundantes. La

identificación debe permitir al personal reconocer el documento a consultar. Se deben localizar en un mismo lugar y orden.

4. Los programas de ingeniería y mantenimiento deben enfocarse hacia el control de riesgos de seguridad y confiabilidad del proceso. En la práctica se refleja en rutinas y programas que se cumplen en tiempo y forma, así como en la aplicación balanceada de los tres tipos de mantenimiento:
 - a) Predictivo: para equipo muy crítico sin posibilidad de contar con una unidad similar en paralelo. El equipo o componente se cambia periódicamente sin importar el grado de deterioro, de acuerdo con criterios estadísticos de vida útil.
 - b) Preventivo: para equipo crítico. El equipo o componente se monitorea periódicamente y se cambia o repara al iniciar la falla.
 - c) Correctivo: para equipo no crítico o para equipo crítico con una unidad en paralelo con entrada automática. El equipo o componente se cambia o repara hasta que falla.
5. El sistema para mantener las especificaciones de diseño es un área de traslape con el de administración de cambios, ya que las especificaciones originales deben cambiarse sólo si mejoran el nivel de seguridad y/o confiabilidad del proceso.
6. El sistema de capacitación y entrenamiento mostrado ha probado su efectividad en las industrias que lo han apli-

cado, ya que su potencia está en el seguimiento operativo por el jefe inmediato, con todas las implicaciones lógicas de involucramiento, sin embargo no es el único, cualquier otro que se aplique, independientemente del tipo de capacitación que se seleccione, es igualmente aceptable, siempre y cuando refleje los cambios esperados en campo y que cubra a todos los niveles de la organización.

7. El cubrir los tres niveles de capacitación/entrenamiento es uno de los factores clave para una operación competitiva. No puede esperarse que el personal desarrolle su trabajo con el máximo de eficiencia, si no se le ha enseñado cómo lograrlo.
8. Investigar los eventos de pérdida permite determinar las causas y tomar las acciones necesarias para evitar su repetición. Los formatos deben permitir registrar:
 - a) Identificación: lugar, área, departamento, unidad.
 - b) Equipos, materiales y personal involucrado.
 - c) Descripción del evento.
 - d) Consecuencias y costo.
 - e) Causas directas, indirectas y administrativas.
 - f) Recomendaciones, planes de acción, responsables y fechas compromiso de terminación.
9. Los comités de investigación de eventos de pérdida se integran de acuerdo con la gravedad real y potencial del evento. La supervisión media y de línea en eventos menores y la alta gerencia en los de consecuencias reales o potenciales significativas. En cualquier caso, los resultados de la investigación deben difundirse a toda la

organización, para facilitar la identificación de situaciones potenciales similares y prevenirlas.

10. La preparación contra emergencias se aplica para disminuir las consecuencias potenciales de un evento de pérdida. Aunque normalmente se aplica para eventos mayores, el esquema cubre también desviaciones menores. Una vez reconocido que existe una probabilidad de ocurrencia de un evento, puede aproximarse cómo se irá desarrollando, planear acciones de combate y control, aunque se sepa de antemano que habrá cambios inesperados (por condiciones atmosféricas, reacciones no esperadas u otras causas).
11. Las prácticas seguras de trabajo son el reflejo del nivel de seguridad e involucramiento de la organización de una unidad de proceso, que demuestra el tipo de cultura organizacional y operativa, principios, valores y filosofía prevalente. El aspecto básico vuelve a ser el compromiso de la organización para demostrar la importancia de cumplir con estas prácticas, usualmente mediante la implantación de políticas, principios operativos y procedimientos, junto con el modelaje de la supervisión y el establecimiento de un criterio de supervisión enfocado al personal.

Un criterio de supervisión recomendado es:

- a) Operaciones riesgosas o críticas.
- b) Condiciones de operación riesgosas o críticas.
- c) Personal de nuevo ingreso o nuevo en el puesto.
- d) Condiciones de operación anormales.
- e) Operaciones no rutinarias.

- f) Operaciones rutinarias no críticas o riesgosas.
 - g) Personal experimentado.
 - h) Condiciones normales de operación.
12. No debe confundirse auditoría con inspección. La auditoría determina el nivel de implantación o grado de cumplimiento o efectividad de un sistema administrativo. La inspección detecta desviaciones, a tiempo real, al sistema administrativo. Por tanto, ambas son muy importantes en su contexto específico. En la práctica, auditar anualmente los sistemas administrativos críticos es requisito indispensable. Los sistemas no críticos deben auditarse cada dos o tres años. Las inspecciones se efectúan con frecuencias mucho mayores (semanales, quincenales, mensuales o trimestrales como máximo).

V. DISPOSITIVOS DE CONTROL Y SEGURIDAD DE PROCESOS

Instrumentación

En la actualidad, la instrumentación de un proceso es de vital importancia tanto para el control de las operaciones como para la seguridad del personal y de las instalaciones.

Cada vez es más difícil que el operador se dé cuenta de las múltiples variables importantes que existen en cada etapa de un proceso.

Contrariamente a lo que se piensa, los incendios y las explosiones en las unidades de procesos no son causados por la debilidad de los materiales con que se construyen los equipos, si no que tienen sus causas más importantes en las reacciones incontroladas y en la combustión interna, lo que generalmente es consecuencia de una distribución o secuencia de equipos inadecuada o mal diseñada o de una operación confusa, como lo demuestran las estadísticas de la Factory Mutual Association de 1972 a 1976 en Estados Unidos y que se indican a continuación:

Tipo de pérdida	%
Combustión interna	54
Reacción fuera de control	33
Falla del metal	13
	—
Total	100

La misma fuente proporciona los siguientes datos estadísticos de las causas de pérdidas por fuego y explosión en el mismo país, durante el periodo 1964 - 1975:

Causa de pérdida	%
Error de operación	32
Diseño de equipo	30
Proceso químico	20
Riesgo del material	10
Mantenimiento	8
	—
Total	100

El análisis de los datos anteriores muestra la importancia de instrumentar correctamente un proceso, ya que las variables a controlar tienen una compleja interdependencia, además de variar rápidamente. Las variables comunes a todo proceso son: temperatura, flujo, tiempo, presión, nivel, frecuencia y velocidad, siendo los dispositivos más comúnmente utilizados para control los medidores, mecanismos actuados por reloj, sensores, alarmas, mecanismos neumáticos, eléctricos y computadoras.

Para fines de seguridad de procesos, la instrumentación debe cumplir con los siguientes puntos:

1. La instalación debe realizarse de manera que, en caso de falla, las válvulas y partes controladas queden en la posición más segura. Por ejemplo: la válvula que alimenta material inflamable a un reactor, en caso de falla de control, debe quedar en posición "cerrada"; o bien, la válvula de alimentación de líquido enfriador para control de la temperatura de una reacción exotérmica, debe quedar en posición "abierta".

2. Las variables críticas o importantes para la seguridad del proceso, deben ser controladas por instrumentación exclusiva. Por ejemplo: la temperatura de una reacción exotérmica debe controlarse por un sensor o por un juego de sensores dedicados.
3. Las variables críticas deben ser medidas directamente y no por sus efectos o causas. Por ejemplo: la temperatura no debe medirse por la presión generada o el gasto de una bomba por la velocidad del motor.
4. La instrumentación crítica debe ser redundante, esto es, múltiple, en la misma zona, para asegurar el control.
5. Se requiere de una visión centralizada, ya sea en el cuarto de control o por computadora, de modo que sea posible el control del proceso tanto en condiciones normales como en paros y arranques y condiciones de emergencia, desde un solo lugar. Esto asegura que se cumpla la secuencia del proceso, así como detectar y corregir oportunamente las desviaciones que puedan afectar su continuidad.
6. La falla de los instrumentos críticos de control debe originar una alarma sonora y visual, así como quedar registrada en el cuarto de control, lo mismo que si la variable se sale de control. De esta manera se asegura la respuesta inmediata del operador.

Conceptualmente se acepta que el control óptimo de un proceso se logra con el balance entre lo que el operador puede supervisar y lo que se controla automáticamente.

La figura 8 muestra la instalación típica de un tanque alimentador de líquido inflamable muy volátil, donde existen

los siguientes controles críticos:

1. Control de nivel por válvula de alimentación.

ICAN = indicador, controlador y alarma de nivel

2. Control de presión por válvula de venteo.

ICP = indicador y controlador de presión

3. Control de presión peligrosa por válvula de seguridad a recuperación de venteos. VS = válvula de seguridad

4. Control de presión por válvula de recirculación de bomba y por válvula de recirculación al tanque de alimentación.

IP = indicador de presión

5. Paro de emergencia por falla en el área de reacción.

El control se complementa con otros dos instrumentos:

IN = indicador de nivel e IT = indicador de temperatura

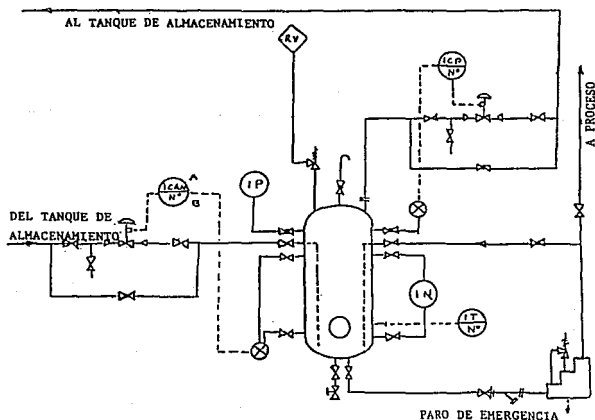


Figura 8. Instrumentación tanque alimentador de inflamable

En los procesos actuales las variables son tantas, tan complejas y críticas que la ayuda de las computadoras se hace indispensable. Las utilizadas para el control de procesos son de dos tipos:

1. Analógicas: dan indicaciones y hacen cálculos a tiempo actual con respuesta inmediata a condiciones presentes. Son las más sencillas.
2. Digitales: requieren que las señales de las variables del proceso, que son continuas, se reciban a intervalos regulares y se conviertan en señales numéricas para poder utilizarlas; y que las señales de control sean convertidas de digitales a analógicas para operar el proceso. Su funcionamiento es más complicado que el de las analógicas; de hecho, se requiere que una de sus partes sea una unidad analógica, pero son las más versátiles y seguras, ya que, además del control del proceso, pueden programarse para efectuar paros de emergencia, secuencias de paro normal, arranques e historia del proceso.

El punto crítico del control por computadora consiste en asegurar el suministro de energía al sistema, por lo que es necesario contar con sistemas de energía de emergencia.

Aunque se asegure una instrumentación y un control adecuados del proceso, pueden existir condiciones fuera de control que provoquen la ocurrencia de un evento de pérdida. Por tal razón, toda unidad de proceso debe contar con dispositivos de protección para equipos críticos, tales como equipos a presión, equipos que contengan inflamables y equipos de reacción de difícil control, entre otros.

Estos dispositivos de protección permiten aliviar presión o vacío excesivos, flujos peligrosos, evitar explosiones e incendios internos, limitar fugas y derrames peligrosos y la generación de electricidad estática.

La característica principal de estos dispositivos de protección es que pueden actuar independientemente de la instrumentación de control y su operación debe ser automática.

Estos dispositivos se complementan con otros sistemas, que deben incluirse desde la etapa de diseño, como son: apantarrayos, cimentación y piloteo, recubrimiento contra fuego a las estructuras metálicas, puertas contra incendio, presurización positiva a cuartos de control y centros de control de motores, clasificación eléctrica de áreas, sistema de drenaje, sistema de tratamiento de efluentes y disposición de desechos.

Dispositivos de alivio de presión o de vacío

A continuación se describen las características básicas de los dispositivos de alivio de presión o de vacío:

1. Válvula de alivio: se utiliza en equipos que contienen líquidos a alta presión. Operan en respuesta a la acumulación de presión, abriendo completamente al 25 % de sobrepresión. Mantienen la presión constante.
2. Válvula de seguridad: se utiliza en equipos que manejen gases o vapores. Están diseñadas para abrir completa e instantáneamente utilizando la fuerza de expansión del material. Cierra al bajar la presión.
3. Disco de ruptura: generalmente se usan para gases y vapores, pero pueden instalarse bajo válvulas de alivio o de

seguridad si el material es corrosivo para la válvula o es un producto sucio o forma gomas que puedan obstruirla. Debido a que se construyen con metal o grafito, su resistencia varía con la temperatura, por lo que se especifican la presión y temperatura a la que deben operar.

Para lograr un máximo de vida útil, la presión de operación del equipo no debe ser mayor que 70 % de la presión de operación de discos metálicos, 85 % de la presión de operación de discos metálicos para vacío y 90 % en discos de grafito.

4. Válvula de presión - vacío: se utiliza en equipos que operan a baja presión (0-15 psig). Está diseñada para mantener una presión interna constante, a través de aliviar la presión o el vacío excesivos.

La figura 9 muestra una válvula de seguridad o de alivio de tipo resorte cargado, y la figura 10, una válvula de presión - vacío.

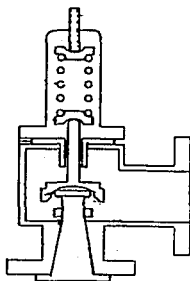


Figura 9. Válvula de seguridad o alivio por resorte cargado

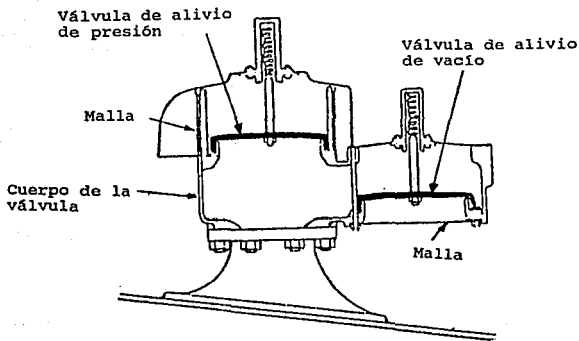


Figura 10. Válvula de presión-vacío

La selección de un dispositivo de alivio se realiza mediante la siguiente secuencia de cálculo:

Determinación de los requerimientos de alivio. Se calcula analizando cada una de las siguientes condiciones:

- a) Exposición a un incendio: se aplica a recipientes que contengan un líquido y su vapor, sin blanqueo y que no reacciona con la temperatura. La velocidad de alivio es función directa del calor que pueda absorber el material, calculado por:

$$Q = 21000 F A^{**} 0.82 \quad Q = W/L$$

donde

- Q = Calor absorbido a través de la superficie húmeda BTU/h
 F = Factor de exposición: 1.0 para recipientes sin aislamiento, 0.15 para recipientes con 2 pulg de aislante para alta temperatura
 A = Area húmeda total interior mojada por el líquido que contiene pie²
 W = Velocidad de alivio lb/h
 L = Calor latente de vaporización a la temperatura correspondiente a

la presión de operación del dispositivo BTU/lb

- b) Equipos con fuente de calor: deben tener un dispositivo capaz de aliviar los vapores que puedan generarse en caso de falla de enfriamiento, falla de reflujo o salida bloqueada. Debe considerarse que el equipo opera normalmente al ocurrir la falla. La capacidad de alivio debe ser aproximadamente igual a la velocidad normal del vapor. La capacidad de alivio se considera igual a 1.25 veces la velocidad de diseño de generación de vapor, considerando el reflujo y el blanqueo, si existe.
- c) Equipo de proceso capaz de generar vapores: se aplica la fórmula del inciso a), donde Q es la cantidad de calor que llega desde los rehervidores, hornos, etc., en BTU/h.
- d) Expansión térmica: si la presión de operación del dispositivo está sobre el punto crítico del material, la velocidad de alivio se calcula como en el inciso a), con base en la expansión como resultado del calor absorbido.
- e) Intercambiador de calor con el lado de enfriamiento bloqueado: si el líquido enfriador no vaporiza, la velocidad de alivio está dada por:

$$W = QB/\rho_e$$

donde

W = Velocidad de alivio lb/h
Q = BTU/h del intercambiador
B = Coeficiente de dilatación térmica del líquido
 ρ_e = Densidad específica del líquido en BTU/lb °F

Si el líquido vaporiza:

$$W = Q/L$$

donde

W = Velocidad de alivio lb/h
 Q = BTU/h del intercambiador
 L = Calor latente de vaporización del líquido a la presión de operación del dispositivo de alivio

- f) Intercambiador de calor con falla interna sin generación interna de vapor: se calcula el área de alivio con:

$$A = Na((Pa+14.7)/(1.25Pb+14.7))^{.5}$$

donde

A = Área de alivio pulg²
 N = Número de tubos rotos (mínimo 2)
 a = Área seccional del tubo pulg²
 Pa = Presión de operación alta psig
 1.25 Pb = Presión de operación baja con 25% de acumulación psig

- g) Reacción exotérmica fuera de control: el factor que determina la capacidad requerida de alivio es la cantidad de vapores o gases producto de la reacción que pueda tenerse, de acuerdo con las condiciones termodinámicas.

- h) Sobrellenado o vaciado: la capacidad de alivio será igual a la máxima alimentación desde una bomba o desde un equipo de mayor presión, considerando las entradas o las salidas bloqueadas. Si el recipiente tiene más de una conexión de vaciado o llenado, el tamaño del alivio debe calcularse considerando el mayor flujo combinado posible.

El diámetro de las válvulas de alivio se calcula con:

$$A = F(\rho_e / P)^{.5} / 27.2$$

donde

A = Área de alivio pulg²
 F = Flujo a aliviar gpm
 ρ_e = Densidad específica del líquido en BTU/lb °F
 P = Presión diferencial = Presión de operación - contrapresión psi

El diámetro de la válvulas de seguridad se calcula con:

$$A = W((T/M)**0.5)/(306*P)$$

donde

A = Area de alivio	pulg ²
W = Flujo a aliviar	lb/h
T = Temperatura absoluta interior	°R
M = Peso molecular promedio	
P = Presión de operación de la válvula	psi

Si el calculado está entre dos diámetros estándar, se usa el mayor.

La válvula debe instalarse en posición vertical y en un punto de fácil acceso para inspección y mantenimiento. Los discos de ruptura deben instalarse en la sección de vapor y en el sentido correcto.

Si el equipo contiene inflamables clase I o combustibles calentados arriba de su punto de flama, debe instalarse un arrestaflamas en la línea de descarga del dispositivo de alivio, tomando en cuenta la caída de presión de las tuberías de admisión, descarga y del arrestaflamas para dimensionarlo.

No debe instalarse ni en la línea de admisión ni en la de descarga ningún dispositivo que restrinja el flujo (a excepción del arrestaflamas en la línea de descarga).

En recipientes atmosféricos o de baja presión de diseño (menor de 15 psig) el dispositivo de alivio son dos venteos, uno normal y otro de emergencia. Los venteos son aberturas con muy poca o sin ninguna restricción que comunican al equipo con la atmósfera o a sistemas de compensación; deben calcularse de modo que el flujo de gases, vapores o líquidos impida que la presión o el vacío interior rebase los límites de diseño.

Los venteos para alivio normal son llamados respiraderos y son de dos tipos:

1. Venteo de conservación con válvula de presión - vacío, sellos de agua o cámaras desecantes.
2. Venteos libres con o sin arrestaflamas (dependiendo del material) sin otra restricción.

Los venteos de emergencia generalmente son alguno de los siguientes:

1. Venteos de conservación diseñados para altos flujos.
2. Pasahombres de 18, 20, 24 y 30 pulg de diámetro con pesos calibrados en sus tapas.
3. Soldadura calibrada tapa - coraza.

Los respiraderos deben tener como mínimo el diámetro de la conexión más grande de llenado o vaciado.

Si el equipo maneja líquidos inflamables, debe instalarse un arrestaflamas en el respiradero.

Tanto el respiradero como los dispositivos de alivio deben descargar en un punto donde no expongan al personal, al equipo o las instalaciones, y alejados de puntos de ignición.

El venteo de emergencia debe ser normalmente cerrado y operar cuando el respiradero sea insuficiente y antes de que se alcance la presión de diseño del equipo. La National Fire Protection Association en su National Fire Code (NFC) No. 30 "Flammable and Combustible Liquids, Storage of", indica los diámetros requeridos del respiradero y del venteo de emergencia para tanques y recipientes superficiales expuestos a un incendio, los que se muestran en la siguiente tabla:

Capacidad del tanque (m ³)	Diámetro mínimo venteo normal (pulg)	Diámetro mínimo venteo de emergencia (pulg)
3.8 a 7.6	1 1/2	8
7.6 a 15.1	2	10
15.1 a 37.9	2	12
37.9 a 75.7	3	16
75.7 a 189.3	3	20
189.3 a 378.5	4	20
378.5 a 567.8	4	22
567.8 a 757	6	22
757 a 1514	6	24
1514 a 3028	8	24
mas de 3028	8	30

Tabla 1. Diámetro de venteo

Para tanques superficiales no expuestos se aplica:

Capacidad (m ³)	Diámetro mínimo (pulg)
Hasta 2	1 1/2
2 a 8	1 1/2
8 a 38	2
38 a 189	3
189 a 568	4
568 a 1514	uno de 4 y uno de 3
1514 a 3028	6
más de 3028	uno de 6 y uno de 3

Tabla 2. Diámetro del respiradero

Para tanques subterráneos:

Capacidad (m ³)	Diámetro mínimo (pulg)
Hasta 2	1 1/2
2 a 4	1 1/2
4 a 23	1 1/2
23 a 45	2
45 a 95	2 1/2

Tabla 3. Diámetro del respiradero

Inertización

Para prevenir una posible explosión o un incendio interno se utiliza el sistema conocido como inertización.

Todo recipiente donde se manejen líquidos o gases inflamables, líquidos combustibles calentados sobre su punto de ebullición o polvos combustibles, en los que puedan formarse atmósferas peligrosas con aire, deben estar inertizados para asegurar el desplazamiento del oxígeno a niveles seguros.

Desde el punto de vista de seguridad de proceso, los gases inertes son aquellos que no reaccionan con el oxígeno y/o con vapores inflamables, y que son capaces de desplazar el oxígeno del aire a niveles de concentración menores que los requeridos para iniciar la reacción de combustión con los materiales presentes. Los inertes más comunes son el dióxido de carbono CO₂ y el nitrógeno N₂, aunque también pueden usarse gases de combustión de calderas y hornos, vapor de agua y gases inflamables como el metano.

En las siguientes tablas se muestra el máximo porcentaje permisible de oxígeno para el CO₂ y el N₂ como inertes:

Material	Nitrógeno	Bióxido de carbono
Acetona	11	12.5
Alcohol etílico	8.5	10.5
Alcohol metílico	8	11
Benceno	9	11
Bisulfuro de carbono	4	6.5
Butadieno	8	10.5
Butano	9.5	11.5
Dietil éter	8.5	10.5
Etano	9	11
Etileno	8	9
Gas natural	9.5	11
Gasolina	9	11
Hexano	9.5	11.5
Hidrógeno	4	5
Isobutano	9.5	12
Keroseno	9	11
Metano	9.5	11.5
Monóxido de carbono	4.5	5
Propano	9	11

Tabla 4. Máximo porcentaje permisible de oxígeno para líquidos inflamables

Material	Nitrógeno	Bióxido de carbono
Acetato de celulosa	2	5
Acetato de polivinilo	9.8	11
Acido tereftálico	7.2	9
Anhídrido ftálico	5.9	8
Butadieno estireno	4.6	7
Celulosa	4.6	7
Dimetil tereftalato	3.3	6
Etil celulosa	2	5
Metil celulosa	4.6	7
Metil metacrilato	2	5
Pentaeritritol	5.9	8
Poliacrilonitrilo	4.6	7
Polímero Nylon	4.6	7
Triacetato de celulosa	3.3	6

Tabla 5. Máximo porcentaje permisible de oxígeno para polvos combustibles

Para utilizar los gases de combustión como inertes, deben ser enfriados (para evitar una vaporización excesiva) y filtrados para evitar la contaminación del material. Para utilizar el vapor de agua, debe alimentarse al flujo necesario para mantener la temperatura del equipo por lo menos a 71°C.

Deben tomarse las medidas preventivas necesarias para evitar que la condensación del vapor arrastre, por enfriamiento, oxígeno de la atmósfera o que colapse el recipiente (implosión).

En el caso de que el material no pueda manejarse con ninguno de los inertes mencionados, pero sea necesario manejarlo en una atmósfera libre de oxígeno, pueden utilizarse gases inflamables como medio de inertización, siempre que se asegure el total desplazamiento del oxígeno del espacio de vapor del equipo. Antes de introducir el gas inflamable al equipo, es necesario tener una atmósfera inerte (con CO_2 o N_2), para evitar la formación de mezclas explosivas con el propio gas.

Existen dos métodos de inertización:

1. Purga o por baches.
2. Continua.

El método de inertización por purga o por baches se realiza por cualquiera de los siguientes sistemas:

- a) Purga sifón: el equipo se purga llenándolo con un líquido (agua u otro material) y se alimenta el gas inerte por el espacio de vapor hasta drenar el líquido. El volumen de inerte será el del recipiente, y el flujo será igual a la velocidad de drene.

- b) Purga por vacío: en equipos que operan a baja presión, durante paros, la purga puede realizarse rompiendo el vacío con gas inerte. El proceso debe repetirse si la presión inicial no es suficientemente baja para asegurar la concentración final requerida.
- c) Purga por arrastre: se alimenta inerte por una entrada, permitiendo la salida libre por un venteo, con arrastre continuo de vapores.
- d) Purga por presión: se alimenta el inerte a presión y después de que se ha mezclado con los vapores, se ventea a la atmósfera. Se necesitan varios ciclos para asegurar la concentración final requerida.

La cantidad de inerte necesario en purgas sifón, por vacío y por presión se calcula mediante:

$$V2 = (P2 - P1) * V1/P2$$

donde

- P1 = Presión absoluta en el equipo antes de alimentar el inerte
- P2 = Presión absoluta en el equipo después de alimentar el inerte
- V1 = Volumen del equipo
- V2 = Volumen requerido de inerte a P2

Contenido de oxígeno después de un ciclo con inerte sin oxígeno:

$$O2 = O1 * P1/P2$$

donde

- O1 = % de oxígeno antes de la purga
- O2 = % de oxígeno después de un ciclo

Contenido de oxígeno después de un ciclo con inerte con oxígeno:

$$O2 = (O1 * P1/P2) + (O3 * (P2 - P1)/P2)$$

donde: O3 = % oxígeno en el inerte

La inertización continua se realiza por los siguientes sistemas:

- a) Flujo fijo: alimentación continua y flujo constante de inerte.
- b) Flujo variable: alimentación de inerte de acuerdo con la demanda. Requiere de instrumentación tal como sensores de flujo y de nivel y válvula reguladora de presión.

Para el diseño adecuado de un sistema de inertización continua, debe considerarse que la cantidad y el flujo del inerte están determinados por la demanda pico, calculada por:

1. Para un recipiente conteniendo líquidos, la demanda pico será igual a la capacidad de la bomba más grande que pueda vaciar el equipo o la velocidad máxima de vaciado.
2. La demanda pico está afectada por cambios de temperatura tales, que puedan condensar bruscamente los vapores. El cálculo se hace considerando para recipientes de capacidad igual o mayor que 3000 m^3 un factor de $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ por m^2 de área total de coraza y tapas; para recipientes menores se considera $1 \text{ m}^3/\text{h}$ por cada 5.3 m^3 de capacidad.

Los sistemas de inertización requieren de instrumentación de control para presión y flujo de inerte, de trampas para eliminar basuras, purgas para condensados, así como estar aterrizados para evitar la formación de estática.

Contención de derrames

Para un control adecuado de materiales peligrosos derramados, el dispositivo más utilizado consiste en la instalación de diques y sardineles de contención, en conjunto con sistemas de drenajes.

Los diques deben, como mínimo, cumplir lo siguiente:

1. Ser de construcción sólida, diseñados para soportar la presión hidráulica del líquido a contener.
2. La capacidad mínima de diseño será la del mayor recipiente dentro del dique más 20 % como factor de seguridad, por el agua contra incendio que se utilice.
3. La altura máxima de las paredes es 1.8 m.
4. Deben instalarse escaleras por lo menos en dos puntos opuestos.
5. El piso debe tener una pendiente mínima del 2 % que permita el flujo de los líquidos derramados hacia un sistema de drenaje. La salida del dique al drenaje consiste en un tubo de 4 a 6 pulg de diámetro, con una válvula de control en el exterior del dique, en posición normalmente cerrada. Este tipo de descarga debe instalarse, en al menos, dos extremos opuestos del dique.
6. El piso debe ser de un material tal que impida que el líquido derramado se infiltre en el subsuelo y pueda contaminar tierra o acuíferos.

El sistema de drenaje debe cumplir lo siguiente:

1. Tener capacidad suficiente para manejar el volumen máximo de material que pueda fugar o derramarse o el 75% del contenido total de la unidad de proceso.
2. El piso debe ser de un material tal que impida que el líquido derramado se infiltre en el subsuelo y pueda contaminar tierra o acuíferos.
3. Poder ser canalizado hacia una fosa de retención, la cual tiene por objeto contener el derrame para su control y/o recuperación del material. Esta fosa debe ser diferente de

las de la planta de tratamiento de efluentes o de descarga del drenaje pluvial. La capacidad debe ser la del total del contenido del proceso.

Electricidad estática

Uno de los riesgos recientemente reconocidos como causa directa de incendios y explosiones es la electricidad estática, la cual es una energía que se genera al existir una diferencia de potencial entre dos superficies conductoras contiguas, que al tender a igualar su potencial, producen un arco eléctrico. Si este arco se forma en una atmósfera que se encuentre dentro de los límites de inflamabilidad, el resultado es un incendio o una explosión.

Para prevenir la ocurrencia de estos eventos de pérdida, es necesario contar con una instalación de aterrizaje, es decir, un sistema que permita canalizar toda la energía peligrosa a un receptor eléctricamente neutro: la tierra.

El punto de descarga de la energía al receptor recibe el nombre de "tierra" y consiste en una varilla conductora (generalmente de cobre) de 3 a 7 m de largo, enterrada en un registro con sales conductoras para disminuir su resistencia.

La clave del sistema está en asegurar la continuidad eléctrica entre la varilla conductora y los equipos, tuberías y recipientes, así como una resistencia eléctrica en el sistema, de máximo 5 ohm.

Algunas causas reconocidas de generación de estática son:

1. Líquidos inflamables que caen libremente dentro de un tanque metálico. La diferencia de potencial se establece en-

tre el punto de descarga y el fondo del recipiente, debido a que el líquido acumula estática por fricción con el aire que lo circunda.

2. Trasvases en recipientes metálicos: es un caso similar al anterior pero la diferencia de potencial está entre los recipientes.
3. Materiales inflamables o polvos combustibles en tuberías: la acumulación de energía se realiza por fricción con la tubería.

La continuidad se logra de la siguiente forma:

Caso a) Continuidad eléctrica al sistema de tierras, de la tubería y del recipiente, asegurando que la tubería de carga llegue al fondo del recipiente.

Caso b) Continuidad eléctrica entre los recipientes e interconexión con el sistema de tierras.

Caso c) Asegurar la continuidad eléctrica en toda la tubería, en cada brida y conexión, al sistema de tierras.

Todo sistema de tierras debe ser revisado periódicamente, verificando el estado físico de la tierra, de las conexiones y del cableado, y midiendo la resistencia entre el equipo y la barra. El valor máximo recomendable es de 5 ohm (aunque comúnmente se acepte un valor máximo de 25 ohm, éste no garantiza la adecuada conducción eléctrica a "tierra").

Criterios operativos

1. La clave para la instrumentación de procesos, es asegurar la redundancia para las variables críticas, generalmente presión, temperatura y flujo. Los criterios para la redundancia se basan en la probabilidad de falla del ins-

trumento o sensor, del grado de automatización del proceso y de las acciones esperadas al registrarse la señal de falla.

2. Cuando se instala instrumentación redundante, las acciones deben ser automáticas. Las acciones por el operador del tablero de control son aceptables si se cuenta con tiempo suficiente y si están previamente especificadas, es decir, no entra en juego el criterio del operador o de la supervisión. Las acciones manuales en campo no deben considerarse ni aunque haya tiempo suficiente; éstas sólo deben tomarse para corregir la falla en la operación de algún componente, si el tiempo lo permite.

3. Los criterios de redundancia que pueden aplicarse son:

a) Una señal de falla de dos esperadas: debe producirse la acción esperada.

b) Una señal de falla de tres posibles: procede la verificación de la condición o del instrumento, a menos que la variable sea crítica, caso en que debe producirse la acción esperada.

c) Dos señales de falla de tres o cuatro posibles: debe producirse la acción esperada.

d) Una señal de falla de cuatro posibles: procede la verificación de la condición o del instrumento.

No es usual instalar más de cuatro instrumentos redundantes.

4. Los sistemas computarizados para control de procesos son el mejor sistema con el que puede contarse en la actua-

lidad. Requieren instalaciones especiales bajo condiciones ambientales controladas, suministro eléctrico ininterrumpido y niveles de autoridad (claves de acceso) para intervenir o modificar el programa de control. Su punto más débil es que los componentes son altamente sensibles al humo y a la temperatura. Los sistemas de emergencia se basan en la detección oportuna de humo y variaciones de temperatura que accionan sistemas automáticos de extinción por gases inertes como HALON 1301 y CO₂.

5. Se ha escrito mucho acerca del diseño de dispositivos de alivio (relevo) de presión o vacío, razón por la cual sólo se han incluido los puntos básicos para dimensionarlos. En equipo atmosférico el concepto clave es asegurar un venteo normal o de conservación o respiradero, y uno de emergencia; en equipo a presión las válvulas de alivio o de seguridad o los discos de ruptura, conforman el venteo de emergencia. Dado que no es aceptable instalar ningún dispositivo de bloqueo entre el alivio y el recipiente, es práctica común instalar dos dispositivos en paralelo, interconectados por una válvula de tres vías, de manera que siempre exista un dispositivo protegiendo al equipo.
6. Como regla general, las válvulas de alivio y de seguridad deben ser revisadas y calibradas una vez por año, a menos que el proveedor o fabricante, o la experiencia, indiquen una mayor frecuencia.
7. La inertización se considera un sistema crítico tanto por seguridad como por sus aplicaciones para mantener la ca-

lidad del material. Existen muchos casos en que el equipo se inertiza sólo para que no varíen las especificaciones del material. Los criterios enunciados se aplican con fines de seguridad y no necesariamente son aplicables a calidad, caso en el que las especificaciones para el contenido de oxígeno u otros contaminantes, determinan el inerte y tipo de inertización.

8. El sistema de contención de derrames se conceptualiza en tres partes:

- a) Contención primaria: en el área de derrame.
- b) Sistema de conducción: drenajes y trincheras.
- c) Contención secundaria: fosa remota de colección, normalmente vacía.

La descarga de la contención primaria al sistema de conducción se hace por válvula asegurada en cerrado, de manera que los operadores sean los que abran la válvula para descargar el agua de lluvia o el material desechado o sólo cuando sea necesario y esté autorizado.

9. Los drenajes químico, pluvial y sanitario deben estar separados, con objeto de que el agua de lluvia no se contamine o sea enviada a tratamiento o a las instalaciones de disposición de desechos. El agua que llegue a la fosa de contención secundaria o al drenaje químico debe ser analizada y tratada de acuerdo con los resultados.
10. El drenaje químico debe ser abierto o bajo rejilla tipo Irving para evitar la formación de atmósferas explosivas.
11. Existen una gran cantidad de fuentes de generación de electricidad estática. En este trabajo se consideran las

- producidas por la transferencia de materiales; la mayoría de las otras fuentes son producto del manejo de sólidos y semisólidos, como el caso de empaques plásticos al desenrollarlos o desenvolverlos, o el paso de fibras sintéticas por los puntos de contacto con la maquinaria. Por tal motivo, la secuencia a seguir para prevenirla es:
- a) Identificar los puntos potenciales de generación.
 - b) Determinar las alternativas prácticas para eliminar la fuente.
 - c) Aterrizaje efectivo.
12. Al sistema de tierra debe conectarse todo el equipo eléctrico fijo o portátil, ya que su principal objetivo es el de drenar a tierra la energía peligrosa para el personal o las instalaciones.
 13. El sistema de tierras para los apartarrayos debe ser independiente del sistema para equipo eléctrico ya que si están interconectados, existe la probabilidad de que la energía de un rayo no drene completamente a tierra, sino que se desvíe hacia el equipo dañándolo o exponiendo al personal.
 14. El sistema de tierras es un dispositivo de seguridad para el personal y las instalaciones, por lo que en la práctica, el valor máximo de resistencia es de 5 ohms.

VI. SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA INCENDIO PARA UNIDADES DE PROCESO

Desde el momento en que existe en operación una unidad de proceso, existe la probabilidad de un evento de pérdida. La prevención se basa en los sistemas de seguridad de procesos, la instrumentación de control y los dispositivos de protección antes descritos.

La probabilidad de ocurrencia no puede ser cero debido a factores tales como falla humana, falla de instrumentos y errores de operación. Por estas razones se debe contar con instalaciones adecuadas que permitan controlar los efectos peligrosos que lleguen a presentarse, no sólo en la unidad de proceso, sino también en las instalaciones auxiliares como talleres de mantenimiento, almacenes, oficinas y de tratamiento de desechos.

Red de agua contra incendio

El sistema de protección estándar es la red de agua contra incendio ya que es el dispositivo que provee los medios necesarios para combatir y controlar incendios, enfriar instalaciones expuestas, barrer derrames de líquidos peligrosos hacia un lugar seguro y, sobre todo, proteger al personal.

Consta básicamente de:

1. Recipiente de almacenamiento.
2. Sistema de bombeo.
3. Sistema de tuberías o red de distribución.
4. Hidrantes y monitores.
5. Mangueras y boquillas.
6. Caseta de equipo contra incendio.

A continuación se describen las características principales de cada componente.

Recipiente de almacenamiento

Puede ser un tanque atmosférico superficial, tanque elevado, cisterna o río. Debe almacenar agua que será utilizada exclusivamente para el servicio contra incendio. Los materiales de construcción deben ser no combustibles (acero al carbón o concreto armado).

Debe localizarse en un área libre de riesgos de explosión u otros que pudieran dañarlo, destruirlo o contaminar el agua con líquidos combustibles o inflamables.

En caso de tenerse dos recipientes, deben localizarse en extremos opuestos de la planta.

Debe contar con un sistema de llenado automático que permita recuperar el total del volumen de agua contra incendio en un máximo de 8 horas.

Cuando el recipiente alimente agua para otros servicios, las tomas de las bombas correspondientes deben instalarse de manera que no afecten el volumen de agua exclusiva contra incendio.

El recipiente debe identificarse ya sea con letreros visibles que indiquen "AGUA CONTRA INCENDIO" y/o una franja roja en la parte media.

El agua contra incendio debe estar, en lo posible, libre de sólidos sedimentables y acidez o alcalinidad, para evitar taponamientos, corrosión o sedimentación.

El volumen de agua debe poder alimentar la demanda máxima probable por un mínimo de 2 horas para asegurar el combate y

control de una emergencia en las condiciones más adversas.

La demanda máxima probable se determina de la siguiente forma, seleccionando la que resulte mayor:

a) En función de los equipos contra incendio que sería necesario utilizar en el caso más crítico probable, tanto para el combate y control del incendio como para enfriar los equipos y estructuras expuestas, considerando los flujos siguientes:

manguera 2 1/2 pulg de diámetro	237 gpm @ 50 psi
manguera 1 1/2 pulg de diámetro	42 gpm @ 50 psi
cañón monitor	500 gpm @ 50 psi
sistema de rociadores	densidad de descarga = 0.35 gpm/ft ²

b) Considerando el enfriamiento de la superficie expuesta de los recipientes, de los equipos de proceso y de las estructuras del área afectada, con las siguientes densidades de flujo:

recipientes y equipos de proceso	0.30 gpm/ft ²
miembros estructurales metálicos	0.35 gpm/ft ²
cama de tuberías un solo nivel	0.25 gpm/ft ²
cama de tuberías varios niveles	0.35 gpm/ft ²
transformadores	0.30 gpm/ft ²

La Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS) indica en su reglamento, que la cantidad de agua exclusiva contra incendio debe ser de 456 m³ para riesgos a la intemperie y de 312 m³ para riesgos a cubierto de la intemperie. Estas cantidades resultan insuficientes en la mayoría de los casos, pero puede tomarse como valor mínimo siempre y cuando se asegure la alimentación del faltante calculado, en máximo

2 horas, por un sistema automático de bombeo impulsado por una fuente confiable que, generalmente, resulta ser un motor de combustión interna (diesel) o un motor eléctrico conectado a un generador diesel de emergencia.

El diseño de los tanques de acero al carbón debe hacerse de acuerdo con los estándares API (American Petroleum Institute), deben ser soldados y los cordones radiografiados, el espesor mínimo de placa para partes en contacto con el agua es 1/4 pulg y 3/16 pulg para partes que no estén en contacto; en el caso de tenerse agua alcalina, el espesor debe incrementarse en 1/16 pulg.

En el diseño de tanques superficiales deben considerarse, como mínimo, los siguientes valores:

1. Carga muerta - peso de la construcción y conexiones: para tanques de acero al carbón 7849 kg/m^2 (1607.6 lb/ft^2), para tanques de concreto 2307 kg/m^2 (144 lb/ft^2).
2. Carga viva: peso del agua cuando el tanque está totalmente lleno, considerando la densidad 1000 kg/m^3 (62.3 lb/ft^3); cuando el techo tenga una pendiente menor a 30 %, el tanque debe diseñarse para soportar un peso uniforme de 122 kg/m^2 (25 lb/ft^2) en proyección horizontal.
3. Carga de viento: debe considerarse 147 kg/m^2 (30 lb/ft^2) en las superficies planas verticales, 88 kg/m^2 (18 lb/ft^2) en las superficies cilíndricas, y 73 kg/m^2 (15 lb/ft^2) en áreas cónicas y superficies de doble curva. Estos valores corresponden a una velocidad de viento de 161 km/h (100 millas/h), en caso de velocidades mayores los valores deben incrementarse en relación directa con el cuadrado de

la velocidad.

Los tanques con techo o tapa deben tener un pasa-hombre, así como venteo o drene de diámetro mínimo de la mitad de la tubería más grande de alimentación o de descarga.

Los tanques elevados deben estar soportados en estructuras firmes y seguras, bien ancladas y con cimentación calculada; los soportes deben ser metálicos y la estructura debe ser independiente de otras estructuras y edificios. Si el tanque está localizado en un área donde pueda estar expuesto a incendios, la estructura debe recubrirse para una resistencia mínima de 2 horas al fuego.

Los niveles deben medirse por varilla y flotador, no deben utilizarse niveles de vidrio o plástico u otros materiales que puedan romperse, ni mirillas de vidrio.

Sistema de bombeo

El agua para combate y control de incendios y otros eventos de pérdida, requiere suministrarse, desde el recipiente, por medio de un sistema de bombeo confiable. Dicho sistema consiste en un mínimo de tres unidades de bombeo, dos de las cuales deben poder suministrar el total de la demanda máxima probable independientemente; la tercera es una bomba mantenedora de presión de agua en el sistema de tuberías.

Las bombas contra incendio deben ser tipo centrífugas, ya sean horizontales en tanques superficiales o verticales en cisternas, aljibes o ríos y deben estar impulsadas por motores con fuente de energía confiable y diferente; generalmente uno es eléctrico y el otro es de combustión interna (diesel), aunque pueden utilizarse motores diesel exclusivamente, siem-

pre que el suministro de combustible sea de tanques independientes.

Estas unidades no deben utilizarse para mantener la presión del sistema de tuberías o para otro servicio que no sea el de contra incendio.

Las bombas deben tener succión independiente desde el recipiente de agua contra incendio.

Las bombas horizontales contra incendio deben cumplir con la siguiente especificación de presión de descarga y flujo (fig. 11):

Dar el flujo nominal a la presión nominal.

Dar el 150 % del flujo nominal a una presión mínima del 65% de la presión nominal.

A flujo cero, la presión no debe exceder el 120 % de la presión nominal.

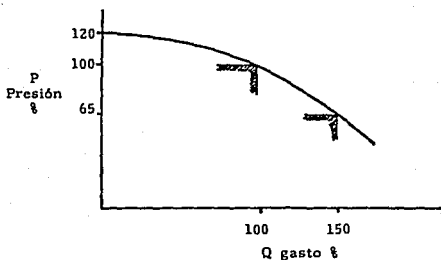


Figura 11. Curva presión vs flujo bombas horizontales contra incendio

Las bombas verticales deben cumplir los dos primeros puntos de la especificación de presión y flujo de las bombas horizontales, siendo la diferencia que a flujo cero la presión no debe exceder el 140 % de la presión nominal (fig. 12).

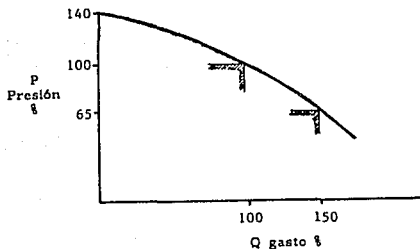


Figura 12. Curva presión vs flujo bombas verticales contra incendio

La tubería de succión debe tener instalados los siguientes accesorios y conexiones (fig. 13):

1. Mampara de succión: es una placa de 120 x 120 cm, que elimina la turbulencia en la línea de succión. Debe estar colocada a un máximo de dos diámetros de la línea de succión del fondo del tanque.
2. Codo de succión: codo estándar de 90° acoplado a la mampara de succión.

3. Válvula de compuerta tipo indicadora por vástago saliente: permite efectuar operaciones de mantenimiento al tanque o a la bomba; en operación normal debe estar asegurada en abierto
4. Junta de expansión: absorbe la vibración de la bomba, evitando dañar la línea de succión, cuando tanque y bomba tienen cimentaciones distintas.
5. Indicador de presión de carátula con rango de -10 a 100 #.
6. Reducción excéntrica cónica en la conexión de la línea con la succión de la bomba: evita la formación de bolsas de aire que pueden hacer cavitar y dañar la bomba o restringir el flujo.

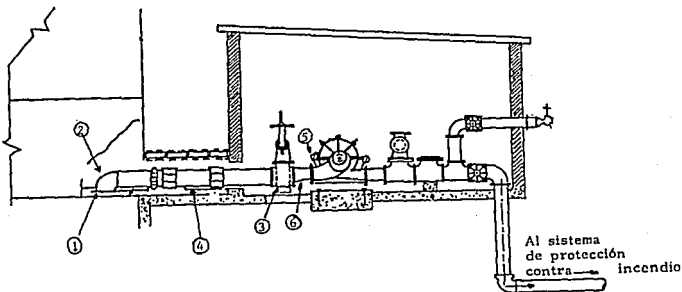


Figura 13. Arreglo línea de succión bombas horizontales contra incendio

La tubería de descarga, de ambos tipos de bombas, debe tener instalados los siguientes accesorios y conexiones (fig. 14):

1. Válvula check: impide que la presión en la red de tuberías regrese el agua hacia el tanque.
2. Válvula de alivio: desfogó una posible sobrepresión en la red de tuberías, por desbocamiento del motor o por cualquier otra causa; generalmente se calibran a 160 psi.
3. Válvula de compuerta tipo indicadora por vástago saliente asegurada en abierto, en operación normal.
4. Indicador de presión de carátula con rango de 0 a 200 psi.

Si en la bomba horizontal pueden formarse bolsas de aire por cualquier causa, en la parte superior de la carcasa debe instalarse una válvula de alivio de aire que puede ser de operación automática o manual.

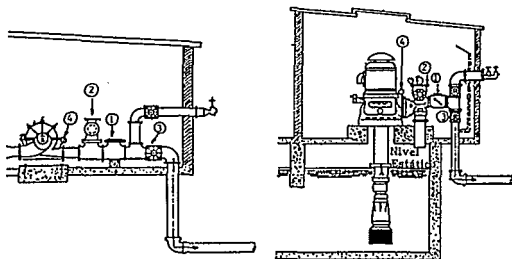


Figura 14. Arreglo línea de descarga bombas contra incendio

Para asegurar que las unidades de bombeo operen correctamente, es necesario realizar una prueba de verificación de la curva presión-flujo por lo menos una vez al año, por lo cual es necesario instalar un cabezal de pruebas, cuyos componentes son:

1. Válvula de compuerta tipo indicadora por vástago saliente asegurada en cerrado, en operación normal.
2. Tubería de alimentación de diámetro adecuado.
3. Tomas de prueba con válvula de compuerta o de ángulo para hidrante.

El cabezal de pruebas debe instalarse cerca de las unidades de bombeo.

Las especificaciones para los diámetros de las tuberías de succión y de descarga, válvula de alivio y cabezal de pruebas se muestran en la tabla 6, en función del gasto nominal de las bombas contra incendio.

Capacidad de bombeo gpm	Succión pulg	Descarga pulg	Válvula de alivio pulg	Tubería Desc.VAP pulg	Aliment. cabezal pulg	Tomas cabezal de pruebas pulg	N°
150	2 1/2	2 1/2	2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	1
200	3	3	2	2 1/2	2 1/2	2 1/2	1
250	3 1/2	3	2	2 1/2	3	2 1/2	1
300	4	4	2 1/2	3 1/2	3	2 1/2	1
400	4	4	3	5	4	2 1/2	2
450	5	5	3	5	4	2 1/2	2
500	5	5	3	5	4	2 1/2	2
750	6	6	4	6	6	2 1/2	3
1000	8	6	4	8	6	2 1/2	4
1250	8	8	6	8	8	2 1/2	6
1500	8	8	6	8	8	2 1/2	6
2000	10	10	6	10	8	2 1/2	6
2500	10	10	6	10	10	2 1/2	8
3000	12	12	8	12	10	2 1/2	12

Tabla 6. Especificaciones para los arreglos de succión y descarga de bombas contra incendio

La bomba mantenedora de presión es conocida como bomba jockey, es una unidad de poco flujo, nunca mayor que 100 gpm, su función es la de mantener la presión del sistema de tube-

rías en un valor mayor que la presión de arranque de las unidades contra incendio, evitando su operación sin motivo real.

Las unidades contra incendio deben arrancar automáticamente, al bajar la presión en la red de tuberías a un nivel que la bomba jockey sea incapaz de mantener; cuando esto ocurra, debe contarse con personal que supervise la operación del sistema de bombeo, tomando las acciones necesarias para evitar un paro no necesario por sobrecalefacción, baja presión de aceite o sobrevelocidad.

El motor eléctrico debe cumplir lo siguiente:

1. Operar a plena capacidad a los 5 segundos del arranque.
2. El amperaje no debe aumentar en más de 10% a máxima carga.
3. La alimentación de corriente debe ser por un circuito independiente directo de la subestación principal.
4. Parar automáticamente por alta presión en la red.

El motor diesel debe cumplir con lo siguiente:

1. Ser de tipo turbocargado.
2. Arrancar automáticamente a velocidad nominal.
3. Contar con un gobernador que mantenga la velocidad dentro de un rango del 5 % de la velocidad nominal.
4. Contar con un tanque independiente de diesel de 200 gal de capacidad sin niveles de vidrio o de plástico.
5. Tener sistema de enfriamiento confiable, por intercambiador de calor.
6. Contar con paro automático por sobrevelocidad, calibrado a 20 % arriba de la velocidad nominal.
7. Contar con alarmas, visual y sonora, por alta temperatura del agua de enfriamiento y por baja presión de aceite.

8. Las conexiones de alimentación y retorno de diesel deben ser tubería metálica flexible.

Las unidades de bombeo deben estar instaladas en una casa de bombas que cumpla con los siguientes puntos:

1. Proteja a las unidades del medio ambiente.
2. Cuento con sistemas de iluminación normal y de emergencia.
3. Cuento con un sistema de drenaje que permita el desalojo del agua, aceite o combustible que puedan derramarse, evitando mojar los motores o que se produzca un incendio.
4. Permita el acceso para mantenimiento o pruebas.
5. No se utilice como almacén.
7. Mantenerse limpia y ordenada.

Sistema de tuberías

Por sistema de tuberías se entiende el arreglo de tuberías que permite el transporte y la distribución de agua, desde las unidades de bombeo hasta los equipos contra incendio; consta de:

1. Circuito principal.
2. Ramales principales: alimentan edificios, sistemas de rociadores o más de tres equipos contra incendio.
3. Ramales secundarios: alimentan hasta tres equipos contra incendio.

El circuito principal debe formar un circuito cerrado desde la descarga de las bombas, de manera que cualquier equipo o sistema contra incendio reciba la alimentación de agua desde dos direcciones opuestas.

Los ramales principales deben estar interconectados al circuito principal en dos puntos opuestos y tener, al menos,

una válvula seccional entre las dos interconexiones.

Los ramales secundarios pueden estar interconectados al circuito principal o derivarse de los ramales principales.

Los diámetros del circuito principal y de los ramales deben calcularse hidráulicamente.

La tubería debe ser de acero al carbón, con o sin costura y cédula 40 para líneas menores de 8 pulg de diámetro; puede utilizarse cédula 30 para tubería con mayor diámetro.

Las tuberías pueden instalarse superficiales o subterráneas, siendo preferible la instalación superficial, si no están expuestas a riesgos de explosión, por las ventajas para inspección y mantenimiento. La decisión depende de los posibles riesgos de explosión y de las características de corrosión del suelo y de la atmósfera.

En las partes donde deba instalarse subterránea, debe hacerse en trincheras; si eso no es posible, debe enchaquetarse y recubrirse contra corrosión. La profundidad mínima es de 70 cm si el área no esta sujeta a tráfico de vehículos, 1 m bajo carreteras y caminos y 1.3 m bajo los rieles del ferrocarril.

Un método de enchaquetamiento consiste en meter la línea contra incendio dentro de un tubo de acero al carbón cédula 40 y protegido contra corrosión, con un diámetro mayor en una pulgada que el de la línea. Otro método es por un sistema de protección catódica, asegurando el suministro de energía.

La red de tuberías debe pintarse de color rojo para su identificación.

En todo punto donde existan cambios bruscos de dirección de flujo, para evitar el golpe de ariete que podría dañar la

tubería, debe ser reforzado con atraques de concreto armado, capaces de absorber el exceso de energía cinética. Esta protección debe instalarse en todos los cambios a 90°.

Las líneas contra incendio no deben estar soportadas en las camas de tuberías de proceso o que transporten líquidos inflamables o combustibles, ni instalarse bajo edificios.

En los pasos de la tubería a través de muros, debe existir un espacio libre mínimo de una pulgada alrededor de la tubería.

La red de tuberías debe resistir una presión de 200 psi durante 2 horas, sin presentar fugas mayores de 1.9 l/h por cada 100 juntas, más 300 ml por cada pulgada de diámetro de válvula seccional, más 150 ml por cada hidrante, en el tramo de prueba.

El sistema de tuberías debe tener instaladas válvulas seccionales que permitan aislar tramos del sistema, dejando el resto en operación.

Cada ramal principal debe contar con una válvula seccional en la interconexión con el circuito principal.

El número de válvulas seccionales debe ser el suficiente para que, al cerrar dos consecutivas, quede fuera un máximo de cinco equipos contra incendio.

Las válvulas deben ser de compuerta tipo indicadora, ya sea por vástago saliente o de poste, aseguradas en abierto en operación normal.

En el cabezal de descarga de las bombas contra incendio, deben instalarse válvulas seccionales de modo que exista una entre cada dos descargas.

Si la tubería es subterránea y no cuenta con válvulas seccionales de poste, la válvula indicadora debe instalarse dentro de un registro que permita el acceso fácil y rápido, diseñado de modo que no interfiera con la operación de la válvula. El registro debe proteger a la válvula contra posibles daños causados por el tránsito de vehículos o personas.

Hidrantes y monitores

Los hidrantes son equipos fijos de combate de incendios, en los que se conectan las mangueras contra incendio, consisten en:

- a) Cuerpo: tubo de acero al carbón cédula 40, de 4 o 6 pulg de diametro para hidrantes exteriores y de 2 pulg de diámetro para hidrantes interiores.
- b) Válvula de control: válvula de compuerta indicadora por vástago saliente, instalada en el cuerpo del hidrante.
- c) Salida del hidrante: tramo corto (5 a 10 cm) de tubo de acero al carbón cédula 40, de 3 pulg de diámetro en hidrantes exteriores y de 2 pulg de diámetro en los hidrantes interiores.
- d) Válvula de hidrante: válvula de compuerta o de ángulo, de bronce, de 2 1/2 pulg de diámetro en hidrantes exteriores y de 1 1/2 pulg de diámetro en hidrantes interiores, con conexión terminal macho roscada para conectar la manguera. El asiento de la válvula debe ser de bronce o de neopreno.
- e) Tapón cachucha: protege la conexión terminal macho de la válvula de hidrante.

Los hidrantes exteriores son aquellos que protegen áreas abiertas de proceso o exteriores de edificios; normalmente

tienen dos bocas de 2 1/2 o de 2 pulg de diámetro cada una.

Los hidrantes interiores protegen áreas cerradas y se instalan en los interiores de los edificios; normalmente tienen una sola boca de 1 1/2 pulg de diámetro.

Los hidrantes exteriores deben estar alimentados por una línea de 4 pulg de diámetro como mínimo; la separación máxima entre cada dos es de 75 m.

Los hidrantes interiores deben estar localizados a una distancia máxima de 30 m entre cada dos.

La boca de conexión debe estar a una altura máxima de 1.6 m; la rosca de la conexión macho debe ser estándar (8 hilos por pulgada para 2 1/2 pulg de diámetro y 11 1/2 hilos por pulgada para 1 1/2 pulg de diámetro).

Los hidrantes deben localizarse en los edificios y áreas que protegen o en sus cercanías, de manera que no puedan ser dañados en caso de un evento de pérdida, o bloqueados en caso de tráfico o en operación normal. Los hidrantes interiores no deben considerarse para proteger exteriores.

Los hidrantes deben estar pintados de color rojo; además deben identificarse numéricamente y de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana S-15 de modo que sean visibles desde 15 m de distancia los interiores y desde 30 m los exteriores.

La red contra incendio debe contar, como mínimo, con una toma siamesa conectada directamente al circuito principal por una línea de 4 pulg de diámetro, con el fin de que el departamento de bomberos local pueda alimentar agua a la red desde sus autotanques. Esta toma debe localizarse en el exterior de la propiedad, en una vía de fácil acceso. La línea de alimen-

tación debe tener instalada una válvula check que permita el paso de agua únicamente hacia la red. Las bocas de la toma siamesa deben protegerse con tapones cachucha.

Los monitores son equipos fijos de combate de incendios, diseñados para manejar grandes flujos de agua (de 500 a 750 gpm) a suficiente presión y gran alcance (50 m), para combatir y controlar incendios desde una distancia segura. Tienen un giro horizontal de 360° y una elevación vertical de 135°.

Pueden ser instalados en estructuras elevadas o a 1.6 m del nivel de piso. Se utilizan para proteger áreas de almacenamiento de inflamables o combustibles, equipos de proceso elevados o áreas de grandes estibas de material combustible.

La boquilla debe ser tipo 3 pasos (cerrado, chorro directo y niebla).

Deben estar conectados al sistema de tuberías por una línea de mínimo 4 pulg de diámetro, con una válvula de acción rápida.

los monitores deben localizarse de manera que cubran totalmente el área que protegen, por lo que, generalmente, son necesarios un mínimo de dos.

Los monitores deben estar pintados de color rojo e identificados numéricamente.

Mangueras y boquillas

Las mangueras contra incendio deben ser 100 % de fibra poliéster con forro interior de neopreno de 1.02 mm (0.04") de espesor mínimo.

Deben soportar una presión de prueba de 200 psi/ 15 seg sin sufrir roturas, desgarramientos ni desacomplamientos.

Las conexiones deben ser de bronce: una es conexión hembra giratoria para acoplar la manguera al hidrante, que debe contar con un empaque de hule en buen estado y la otra es una conexión macho que se acopla a la boquilla.

Las mangueras para áreas con ambientes corrosivos deben tener un recubrimiento protector de 1.27 mm (0.05 pulg) de espesor mínimo.

Las boquillas deben ser de tres pasos (cerrado, chorro directo y niebla) con una conexión hembra giratoria para acoplarlo a la manguera.

Se debe contar con una boquilla de diámetro adecuado por cada boca de hidrante.

Las mangueras, boquillas, herramientas y conexiones necesarias, deben estar protegidas de la intemperie y de materiales que puedan dañarlas, por lo que se colocan en cajas llamadas "cajas de mangueras", construidas en madera, lámina, plástico u otro material resistente; así mismo se pintan de color rojo y se numeran para su identificación y control.

Estas cajas deben estar localizadas a una distancia máxima de 1 m del hidrante.

No es recomendable el uso de cajas donde se tenga que romper un cristal para tener acceso al equipo. El diseño debe permitir sacar fácilmente el equipo sin riesgos al personal, y deben poderse abrir con facilidad por lo que no deben tener cerraduras ni candados.

La caja debe contener:

1. Dos tramos de manguera del diámetro adecuado.
2. Una llave universal para hidrante y para conexiones.

3. Una boquilla de tres pasos por cada boca de hidrante.
4. Una tarjeta de inspección indicando el contenido de la caja con las fechas y la firma del inspector.

Las cajas de hidrantes exteriores que protegen áreas de alto riesgo o que protejan áreas interiores, deben contener, adicionalmente:

5. Una conexión "Y" de 2 1/2 x 1 1/2 x 1 1/2 pulg.
6. Dos tramos de manguera de 1 1/2 pulg de diámetro, de 30 m de largo cada uno.
7. Una llave universal para conexiones de 1 1/2 pulg ϕ .
8. Dos boquillas de tres pasos de 1 1/2 pulg de diámetro.

Caseta de equipo contra incendio

En los puntos de reunión de las brigadas de emergencia, debe contarse con una caseta donde se encuentre el equipo tanto de bomberos como el necesario para el combate y control de una emergencia, que puede construirse de metal, concreto o madera, y sin cerraduras ni candados para que pueda abrirse fácilmente. El contenido por bombero (ocho equipos completos como mínimo):

1. Un chaquetón para bombero del tipo aprobado por NFPA.
2. Un par de guantes de algodón o de asbesto aluminizado.
3. Un par de botas para bombero de hule vulcanizado con puntera, plantilla y talón de acero, de 75 cm de alto si no se usan pantalones para bombero o cortas si se cuenta con este complemento (un pantalón para bombero del tipo aprobado por NFPA, por bombero).
4. Un casco para bombero con protector facial de policarbonato de 4 o 6 pulg ancho.

Además debe contener:

5. Ocho pico-hachas.
6. Ocho palas.
7. Equipos de respiración autónoma, en número necesario.
8. Camillas para transporte y rescate de lesionados.
9. Cuerda de nylon, mosquetones y ochos para rescate.
10. Equipos de aproximación al fuego, en número necesario.
11. Stock de mangueras, boquillas, extintores y cilindros para equipos de respiración autónoma.
12. Lista del contenido.

La localización de la caseta debe ser tal que esté libre de riesgos de fuego, explosión o de exposición a materiales tóxicos.

Sistema de rociadores

Otro sistema de control y combate de incendios es el de rociadores. Este sistema se utiliza en áreas donde el control de la emergencia es riesgoso para el personal o debe realizarse desde un lugar alejado o es inaccesible.

El sistema de rociadores proporciona agua directamente en el área de riesgo, en pequeñas gotas (niebla), las que, por su gran superficie de contacto, absorben una gran cantidad de energía calorífica y se vaporizan, extinguiendo el fuego por los mecanismos de enfriamiento y sofocación (desplazamiento del oxígeno por el vapor generado).

Este sistema se define como el arreglo de ingeniería que sirve para proteger áreas específicas. Existen cuatro tipos de sistemas de rociadores, con los siguientes elementos básicos:

1. Rociador: es un equipo fijo de combate y control de incendios que opera respondiendo a la temperatura o a otros sistemas de detección y disparo automático o manual, que forma un patrón cónico de descarga de agua. Sus partes son: cuerpo, boquilla (diámetro estándar de 1/2 pulg), fusible si es automático de respuesta a la temperatura o sin éste si es un sistema diluvio, y deflector. La calibración del fusible determina el rango de temperatura de operación. Los rociadores son de dos tipos: montados (sobre la línea) o suspendidos.

El deflector es una mamapara sobre la que incide el flujo de agua y que permite la formación del patrón. La boquilla descarga el flujo de agua sobre el deflector. Si el diámetro de la boquilla es estándar (1/2 pulg) el patrón protegerá un área circular de 3 m de diámetro. El rociador debe colocarse a una distancia mínima del equipo o área a proteger de 1.2 m para formar el patrón máximo de cobertura.

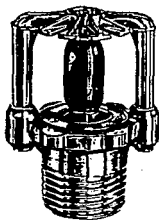


Figura 15. Rociador típico

2. Tubería ascendente de alimentación: es la línea que se conecta directamente al sistema de tuberías y alimenta agua al sistema.
3. Tubería central de distribución: línea que distribuye el agua a los ramales.
4. Ramales: líneas donde se instalan los rociadores.
5. Válvula de control: de compuerta tipo indicadora por vástago saliente o de poste, instalada en la tubería ascendente de alimentación, en posición normalmente abierta, para control del sistema.
6. Indicador de presión: de carátula y rango de 0 a 200 #.
7. Sensor de flujo: instalado en la tubería ascendente de alimentación con alarma visual y sonora por flujo de agua en el sistema.
8. Línea de 2 pulg de diámetro: instalada después de la válvula de control, se utiliza para pruebas de operación y drene del sistema. Cuenta con una válvula de ángulo en posición normalmente cerrada.
9. Línea de purga: de 1 pulg de diámetro con conexiones fácilmente removibles en su extremo terminal, instalada en el final del sistema de rociadores, sirve para purgar el sistema y probar la sensibilidad y respuesta del sensor de flujo.
10. Soportes de tubería: permiten el movimiento longitudinal y soportan el peso de la línea cargada más 114 kg en el punto de soporte. Deben localizarse a 4.5 m de separación entre sí en líneas con diámetro mayor que 2 pulg; en líneas con diámetro menor o igual que 2 pulg deben locali-

zarse a un máximo de 3.5 m.

Los cuatro tipos básicos de sistemas de rociadores son:

1. Sistema húmedo: es el más común, simple, económico, de más fácil instalación y el que requiere de menor atención y mantenimiento. Se le conoce como húmedo debido a que las tuberías están cargadas con agua, por lo que, al ocurrir un fuego, acciona el fusible y el agua fluye de inmediato, lográndose un rápido control y una eficiente extinción. La experiencia industrial indica que, en la mayoría de los casos, el incendio es controlado por la operación de uno o dos rociadores. Los componentes del sistema son los básicos. Los rociadores son de fusible. Este sistema se instala en áreas de alto riesgo donde no se tienen problemas por congelamiento de agua.
2. Sistema seco: cuando en el área a proteger se puedan tener temperaturas lo suficientemente bajas para congelar el agua dentro de las tuberías, debe utilizarse el sistema seco. En este sistema las líneas desde la válvula de control se encuentran cargadas con aire o nitrógeno, lo que se logra por medio de una válvula conocida como válvula seca (fig. 16). Este sistema requiere de alimentar aire o nitrógeno a presión y flujo adecuados. La válvula seca opera bajo el principio de diferencial de presión, es decir, el aire ejerce presión sobre una superficie mayor que la que presiona el agua en una relación, para la mayoría de las válvulas, de seis a uno; significa que una unidad de presión ejercida por el aire contrarresta 6 unidades de presión ejercida por el agua. La presión de aire requeri-

da se calcula como sigue:

$$P \text{ aire} = (P \text{ agua}/6) + 20 \quad P \text{ en psi}$$

El número 20 representa el factor de seguridad para garantizar que la válvula no permita el paso de agua al sistema y se congele, en caso de una fluctuación de la presión en la red contra incendio.

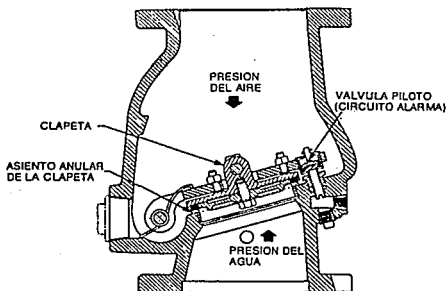


Figura 16. Válvula seca

En este sistema los rociadores son con fusible; en caso de incendio se funde el fusible y deja salir el aire, lo cual permite el paso del agua hacia los rociadores. Este sistema es más lento que el sistema húmedo en el tiempo de respuesta, por lo que debe calcularse para que el agua descargue por el rociador más alejado en un tiempo máximo

de un minuto. Normalmente se considera un volumen interno máximo de 500 gal. Los puntos críticos en este sistema son:

- a) Mantener cebada la cámara de la válvula, para asegurar un buen sello.
- b) Asegurar el suministro de aire o nitrógeno.

Los componentes son los básicos más la válvula seca instalada después de la válvula de control.

3. Sistema preacción: es básicamente un sistema seco, con la diferencia que la válvula seca opera en respuesta a la señal eléctrica de un sistema de detección de humo, de ionización de flama, de temperatura o de velocidad de cambio de temperatura. Los rociadores son de fusible. Se instala en áreas donde la descarga accidental de agua es inaceptable, tales como museos, bibliotecas o centros de cómputo.

En este sistema el daño a tuberías o rociadores no provoca la descarga de agua. Requiere de estrecha supervisión y mantenimiento especializado.

4. Sistema diluvio: utiliza rociadores sin fusible por lo que al operar, todos los rociadores descargan al mismo tiempo. Es básicamente un sistema preacción donde la válvula seca opera en respuesta a detectores de los tipos ya mencionados o a un sistema piloto de rociadores cargados con agua o aire (dependiendo del riesgo de congelación del agua). Se instala en áreas con altas concentraciones de materiales inflamables o combustibles o en áreas donde pueda generarse un incendio por derrame de grandes volúmenes de

líquidos inflamables o combustibles calentados sobre su punto de flama.

Espuma contra incendio

La espuma es otro sistema contra incendios producidos por líquidos inflamables o combustibles. La espuma contra incendio se define como un estado de agregación de pequeñas burbujas con aire, con densidad menor que la de los aceites o a la de los líquidos inflamables o combustibles o la del agua, que puede cubrir superficies horizontales o verticales. Se conocen cuatro tipos:

1. Espuma proteica: son productos de proteínas hidrolizadas, con aditivos estabilizadores e inhibidores.
2. Espuma fluoroproteica: similar a la proteica, pero con un aditivo surfactante sintético fluorinado.
3. Espuma sintética: son productos basados en la espuma fluoroproteica o derivados de hidrocarburos surfactantes.
4. Espuma formadora de película acuosa: productos que forman una barrera insoluble en la superficie del líquido.

Dependiendo de las características del líquido, se cuenta con espumas para combatir fuegos de líquidos no polares, como gasolina o diesel, o para líquidos polares (llamada tipo alcohol) como alcoholes, cetonas o aldehídos.

Los concentrados de espuma deben diluirse en agua en proporciones de 3% o 6% en volumen.

Existen dos métodos de adición de espuma:

1. Alimentación directa del concentrado en la corriente de agua a través de equipos especiales llamados proporcionadores.

2. Premezclado del concentrado en la proporción correcta, en un tanque de agua, con agitación periódica. Se usa para alimentar sistemas fijos como los rociadores.

Dependiendo del volumen de espuma producido, las espumas se clasifican en:

1. Espuma baja expansión: un volumen de solución produce de 2 a 8 volúmenes de espuma. Se utiliza una boquilla proporcionaladora (fig. 17) que succiona el concentrado por un venturi, por cuya garganta fluye el agua formando el vacío. La solución pasa por una rejilla o cámara de turbulencia donde se produce la espuma al ocluirse aire. Este equipo se utiliza conectado en mangueras o monitores.

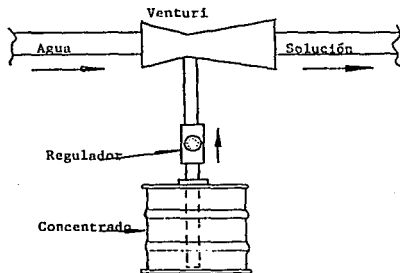


Figura 17. Proporcionador de espuma baja expansión

2. Espuma media expansión: un volumen de solución produce hasta 100 volúmenes de espuma. Para producir este tipo de espuma se utiliza un sistema similar al de la espuma de baja expansión, pero con un proporcionador en forma de canasta o cernidor, o un sistema de ventilador mecánico (fig. 18).

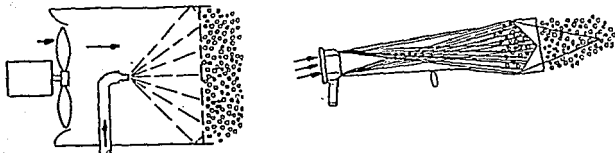


Figura 18. Proporcionadores espuma media expansión

3. Espuma alta expansión: un volumen de solución produce hasta mil volúmenes de espuma. Para producirla se utilizan equipos llamados generadores de espuma, que consisten en un ventilador mecánico impulsado por un motor de combustión interna (gasolina) que provoca una alta turbulencia en la solución espumante que incide sobre él, proyectándola hacia una malla de alambre de 1 m^2 de superficie. La espuma generada debe depositarse mediante un ducto de lona. Este tipo de equipos producen $5000 \text{ ft}^3/\text{min}$ de espuma.

Las aplicaciones de la espuma son:

- a) Extinguir incendios causados por líquidos más ligeros que el agua y evitar la reignición.
- b) Prevenir incendios en fugas y derrames de líquidos inflamables o combustibles al evitar la generación de vapores.
- c) Proteger al personal de brigadas del calor radiante.
- d) Puede extinguir fuegos tipo A (materiales combustibles que dejan brasa).

Las limitaciones de la espuma son:

- a) No son efectivas en incendios producidos por gases o gases licuados con temperatura de ebullición menor que la temperatura ambiente, o por líquidos criogénicos.
- b) No son efectivas en el combate de incendios por fugas de materiales a presión o por líquidos que fluyen.
- c) No deben utilizarse en fuegos tipo C (eléctricos).
- d) No deben utilizarse en fuegos de materiales que reaccionen violentamente con el agua.
- e) Las espumas proteica y fluoroproteica no son efectivas en fuegos causados por líquidos polares o solubles en agua.

Al utilizar las espumas debe considerarse la contaminación potencial del medio ambiente.

Debe evitarse aplicar al mismo tiempo agua y espuma, ya que el agua evita la formación de la espuma por dilución excesiva o destruye la formada. Es muy importante que el personal involucrado en la inspección, el mantenimiento y la operación de los sistemas y equipos de espuma esté capacitado en los procedimientos de operación, componentes, cuidados requeridos, tiempos de vida útil y en las características de los concentrados.

La cantidad de espuma requerida se calcula con:

$$C = A * I * T * P/100$$

dónde

C = Cantidad de líquido espumante (l)
A = Área a proteger (m²)
I = Índice de aplicación (lpm/m²)
T = Tiempo de aplicación (min)
P = Concentración de líquido espumante en agua (3% o 6%)

Área a proteger: es el área más grande que se protegerá con espuma, que pueda ser delimitada por diques o sardineles.

En caso de descargar a un sistema de drenajes, debe incluir la superficie de los canales hasta los puntos de bloqueo o hasta el punto donde no afecte a otra área. En caso de diques debe considerarse el área neta de contención. En tanques donde la espuma se descargue en la superficie del líquido, el área se determina en función del diámetro del tanque.

Índice de aplicación: es el flujo de solución que debe aplicarse en el área que se protege y depende del tipo de líquido involucrado. En su código NFC - 11, la NFPA marca los siguientes índices:

Para líquidos polares (solubles en agua) $I = 9.8 \text{ lpm/m}^2$

Para líquidos no polares $I = 6.5 \text{ lpm/m}^2$

Sin embargo, estos índices pueden variar de acuerdo con las características de cada agente espumante, siendo parte de las especificaciones de cada fabricante; así por ejemplo, en caso de no conocerse los valores de I especificados por el fabricante, deben utilizarse los especificados por la NFPA (National Fire Protection Association).

Tiempo de aplicación: depende del área a cubrir, de las condiciones de temperatura del fuego, del tipo de material involucrado y del tipo de líquido espumante a aplicar. La NFPA en el código NFC-11 indica tiempos que varían entre 15 y 55 min, debe utilizarse el reportado.

Concentración de líquido espumante: 6 % para líquidos polares y 3 % para no polares.

La secuencia de cálculo se aplica para cada área a proteger. La cantidad mínima necesaria de líquido espumante será el máximo valor calculado. En la selección de las áreas a prote-

ger, deben considerarse las limitaciones de la espuma contra incendio ya mencionadas.

Ejemplo: tanque de almacenamiento de acrilonitrilo

Diámetro = 23.16 m

Area del tanque = $r^2 = 412.3 \text{ m}^2$

Indice de aplicación = I = 9.8 lpm/m²

Tiempo de aplicación = T = 55 min

Concentración = P = 6 %

Cantidad de líquido espumante

$$C = 412.3 \text{ m}^2 * 9.8 \text{ lpm/m}^2 * 55 \text{ min} * 0.06 = 13334 \text{ l}$$

Extintores

Son el primer medio de combate de incendios y se utilizan para extinguir incendios incipientes o en conjunto con otros sistemas contra incendio. No sustituyen a la red de agua contra incendio, a los sistemas de rociadores o a cualquier otro sistema contra incendio.

Para que la protección con extintores sea efectiva, deben cumplirse los siguientes puntos:

1. Extintores del tipo adecuado para la clase de fuego que pueda ocurrir en el área que se protege.
2. Suficiente cantidad, de tamaño adecuado y permanentemente instalados.
3. Localización de fácil acceso e identificación clara.
4. Estar mantenidos en condiciones de operación.
5. Todo el personal del área debe estar entrenado en el uso, cuidados e inspección de los extintores.

De acuerdo con la clase de fuego contra la que están diseñados, los extintores se clasifican como sigue:

- a) Extintores clase "A": para materiales que dejan brasa, como madera, papel, celulosa y algodón, donde se requiere principalmente un efecto de enfriamiento. Se identifican con un triángulo color verde con la letra "A" inscrita.
- b) Extintores clase "B": para fuegos producidos por líquidos inflamables o combustibles y gases inflamables, como pinturas, aceites, solventes, gasolinas, entre otros, donde se requiere el mecanismo de sofocación o de inhibición de la reacción de combustión. Se identifican con un cuadrado color rojo con la letra "B" inscrita.
- c) Extintores clase "C": para incendios que involucren equipos, líneas o sistemas eléctricos, donde la aplicación de un agente extinguidor no conductor y limpio (que no deje residuos) es muy importante. Se identifican con un círculo color azul con la letra "C" inscrita.
- d) Extintores clase "D": se utilizan para fuegos producidos por metales combustibles como sodio, potasio, magnesio o aluminio en polvo, donde se utiliza el mecanismo de inhibición de la reacción de combustión. Se identifican por una estrella de 5 puntas color amarillo con la letra "D" inscrita.

La identificación debe ser visible desde una distancia mínima de 4.6 m.

Existen extintores que pueden utilizarse para combatir incendios de más de una clase; pueden ser tipo AB o BC o ABC o ABCD.

El potencial relativo de extinción se indica numéricamente combinándolo con la letra de la clase del extintor; así

por ejemplo un extintor marcado 4A:10B:C indica que el equipo es adecuado para fuegos pequeños clase A, es mejor para fuegos clase B y puede utilizarse con seguridad en fuegos clase C. Las letras C y D carecen de número. El caso de la letra C se debe a que un fuego de esta clase involucra materiales tipo A y/o B, siendo sus números una identificación suficiente; la letra D carece de número dado que los extintores se aplican en riesgos específicos.

Los extintores deben localizarse considerando que protegen un área neta circular de 15 m de radio, como máximo, y en puntos de fácil acceso, evitando el ser obstruidos. Los puntos donde se instalan deben identificarse claramente mediante señales rojas, numeradas y visibles desde una distancia mínima de 15 m.

La inspección periódica de estos equipos es de vital importancia para asegurar su operabilidad, la cual debe quedar registrada en una tarjeta donde se anote la fecha y la firma del responsable de la inspección. Todo extintor que no se encuentre en condiciones óptimas de operación debe enviarse a de inmediato a recarga y mantenimiento.

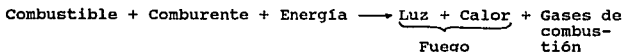
Los extintores que operen a presión deben ser probados hidrostáticamente cada cinco años. Debe llevarse un registro por extintor, donde se concentre la información sobre las fechas de recarga, fallas encontradas y fechas de las pruebas hidrostáticas.

Los extintores son equipos diseñados para descargar un agente extinguidor adecuado al tipo de fuego que pueda presentarse. Los sistemas de impulsión más comunes son el de

presión de nitrógeno o bióxido de carbono, contenido en el cuerpo del equipo, y el de cartucho externo que contiene el gas impulsor a alta presión. También están los agentes que se autoexpelen, como es el caso del bióxido de carbono.

Los agentes extinguidores actúan sobre el fuego por alguno o algunos de los siguientes mecanismos:

- a) Enfriamiento: eliminación de calor.
- b) Sofocación: desplazamiento del oxígeno.
- c) Inhibición de la reacción en cadena de combustión:



- d) Ahogamiento: evitar el desprendimiento de vapores combustibles.

Los agentes extinguidores más comúnmente utilizados son:

- a) Agua: actúa por el mecanismo de enfriamiento; en forma de niebla tiene un efecto de sofocación, debido a que el vapor generado por la evaporación de las pequeñas gotas, desplaza al oxígeno.
- b) Polvo químico seco: con cuatro tipos de agentes activos básicos: bicarbonato de sodio, bicarbonato de potasio, cloruro de potasio y fosfato de amonio. Actúan por el mecanismo de inhibición.
- c) Espuma: actúa principalmente por ahogamiento (al formar una barrera entre el material y el oxígeno) aunque tiene un pequeño efecto de enfriamiento.
- d) Bióxido de carbono: actúa por sofocamiento; condensa humedad ambiental al expelerse.
- e) Compuestos halogenados (HALON 1211 y 1301): actúan por

inhibición; son más seguros y eficientes que el bióxido de carbono, por requerirse menor concentración (CO₂ 22 %, HALON 7 %).

f) Polvos especiales (fuegos clase D) : actúan inhibiendo la reacción. Básicamente son compuestos de grafito con fosfatos orgánicos o de sales como cloruro de sodio con aditivos especiales. En algunos casos existe un mecanismo adicional de enfriamiento al ser el grafito o los aditivos buenos conductores de calor.

La tabla 7 muestra las características de los extintores más comunes en la industria.

CLASE	A	BCoABC		BC		D	AB
AGENTE EXTINGUIDOR	Agua	Polvo Químico Seco		HALON 1211	Bióxido de Carbono	Polvos Especiales	Espuma AFFF
TIPO	Presurizado	Presurizado	Cartucho	Presurizado	Autoexpelido	Cartucho	Presurizado
CAPACIDADES	10 lt	Portátiles de 2.5 a 10 lb Sobreruedas 150 a 300 lb	Portátiles de 4 a 30 lb Sobreruedas 50 a 350 lb	9 a 22 lb	Portátiles de 5 a 20 lb Sobreruedas 50 a 100 lb	Portátil 30 lb Sobreruedas 150 a 350 lb	Portátil 10 lt Sobreruedas 125 lt
ALCANCE HORIZONTAL	10 a 13 m	Portátiles de 3 a 5 m Sobreruedas 5 a 15 m	Portátiles de 3 a 6 m Sobreruedas 10 m	5 a 6 m	Portátiles de 1 a 3 m Sobreruedas 3 m	Portátil 2 m Sobreruedas 5 m	Portátil 6 a 8 m Sobreruedas 10 m
TIEMPO DE DESCARGA	1 min	Portátiles de 8 a 25 seg Sobreruedas 30 a 60 seg	Portátiles de 8 a 25 seg Sobreruedas 20 a 60 seg	10 a 18 seg	Portátiles de 8 a 15 seg Sobreruedas 30 seg	Portátil 20 seg Sobreruedas 70 a 105 seg	Portátil 50 seg Sobreruedas 60 seg

Tabla 7. Características de los extintores

Bases para el diseño hidráulico

Para asegurar una operación eficiente de los sistemas de protección por agua, deben diseñarse partiendo de un cálculo hidráulico, por lo que es requisito indispensable para la red de agua contra incendio y los sistemas de rociadores.

Los objetivos del diseño hidráulico son:

1. Determinar el flujo (gpm) y la presión (psi) de agua requeridos.
2. Determinar el tipo y la capacidad del sistema de bombeo o del sistema de alimentación.
3. Asegurar una descarga de agua, dentro de la variación permitida por los estándares y las especificaciones.
4. Lograr un diseño económicamente viable, al asegurar la instalación de unidades de bombeo, recipiente de agua contra incendio, tuberías de diámetro requerido, accesorios y conexiones necesarias.

Red de agua contra incendio

El diseño de una red contra incendio debe incluir el sistema de bombeo, la red de tuberías y la localización de los equipos contra incendio.

El diseño hidráulico se inicia calculando la demanda máxima probable, con lo que se especifican:

1. Volumen mínimo exclusivo de agua contra incendio, para una reserva de 2 h de duración a demanda máxima.
2. Capacidad del sistema de bombeo considerando que, con una fuera, las restantes deben poder suministrar la demanda máxima.

3. La cantidad de agua que fluirá por el sistema de tuberías.

El diseño continúa definiendo el arreglo de tuberías: circuito principal, ramales principales y ramales secundarios y se procede a localizar hidrantes, monitores y sistemas de rociadores necesarios, de acuerdo con los riesgos específicos de cada área. Asimismo, se localizan las válvulas seccionales requeridas. Con el arreglo de tuberías, accesorios y conexiones, se calcula el diámetro óptimo.

Las redes contra incendio se construyen, generalmente, de acero al carbón cédula 40 para tubería hasta de 8 pulg de diámetro y de cédula 30 para diámetros mayores. También puede utilizarse tubería de fierro fundido o de acero galvanizado o de plásticos especiales, siempre que resistan una presión mínima de 14.1 kg/cm² (200 psi). La protección contra corrosión que se utiliza depende de los siguientes factores:

1. Ubicación de las tuberías: superficial, subterránea o elevada, dependiendo del riesgo de explosión o daño.
2. Características de corrosión del subsuelo o del ambiente.
3. En caso de no ser superficiales o elevadas, si se instalan enterradas o en trincheras.

El diámetro óptimo se calcula por un método de prueba y error, partiendo de las siguientes bases de diseño:

1. Presión en la descarga de las unidades de bombeo. Las bombas contra incendio se especifican de acuerdo con listados de laboratorios de prueba especializados reconocidos (Factory Mutual System o Underwriter's Laboratories), donde, por lo general, la presión nominal de descarga está entre 8.8 a 9.1 kg/cm² (125 a 130 psi). Para fines de diseño se

utiliza 125 psi como valor máximo.

2. Presión requerida en el equipo del punto más alejado del sistema de bombeo. Esta presión está especificada en el reglamento de la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS) como 3.5 kg/cm². La presión requerida por los sistemas de rociadores es de 6.3 kg/cm² (90 psi).

Con los dos valores de presión se calcula el diámetro óptimo, aplicando el siguiente método:

Para las pérdidas por fricción en psi/pie de tubería se aplica la fórmula de Hazzen-Williams:

$$Pf = (4.52 * (Q **1.85)) / ((C**1.85) * (D**4.87))$$

donde: Pf = Pérdida por fricción por pie (psi/ft)
Q = Gasto de agua (gpm)
D = Diámetro de tubería (pulg)
C = Coeficiente del material. Depende del tipo y de la edad del material, por ejemplo, para tubería galvanizada nueva C = 120 y para tubería de acero al carbón nueva C = 100

La secuencia de cálculo se aplica, en primer término, para el circuito o circuitos principales, luego para los ramales principales y, por último a los ramales secundarios.

En la práctica se ha encontrado que el diámetro del circuito principal no debe ser menor de 8 pulg, el de los ramales principales debe ser de 6 pulg mínimo, de 3 pulg para los ramales secundarios, y las líneas que alimenten un hidrante interior de 1 1/2 pulg deben ser de 2 pulg, por lo que se han aceptado como valores mínimos.

Una vez que se ha terminado el diseño hidráulico, se continúa con la ingeniería de detalle y con la civil del sistema, selección e ingeniería para el recipiente de agua y con

la ingeniería de detalle e instrumentación de las unidades de bombeo contra incendio.

Sistemas de rociadores

Debido a que los sistemas de rociadores se especifican para áreas de alto riesgo de incendio o de difícil o riesgoso acceso o para áreas con contenidos muy valiosos, su diseño debe apegarse a estándares y especificaciones estrictos, contenidos en el National Fire Code N° 13 de la NFPA.

El diseño debe ajustarse a las siguientes bases:

1. Densidad de operación (gpm/ft²) considerando 0.25 para confinar un incendio y de 0.30 a 0.60 para extinguirlo. Depende del nivel de riesgo del área a proteger.
2. Área a proteger por rociador: el área máxima que puede proteger un rociador es de 100 ft² y forma el patrón completo de agua a una altura mínima de 1.2 m del equipo o del área que se protege.
3. Área máxima a proteger con un solo sistema de rociadores: el NFC 13 especifica un máximo de 2323 m² (25000 ft²). Sin embargo, un área de esta magnitud requiere de un mínimo de 250 rociadores con un gasto de 6250 gpm, a una densidad de 0.25 gpm/ft², con lo que sería necesario que tres bombas de 2000 gpm operaran simultáneamente; por ello se prefiere instalar sistemas reducidos, que aseguren un nivel de eficiencia y una subdivisión razonable del área a proteger.
4. Número de rociadores en función del diámetro de tubería. Para áreas de alto riesgo se sigue lo indicado en la tabla 8.
5. Rociadores por ramal: se especifica un máximo de seis.

6. Temperatura de operación (tabla 9): se selecciona en función de la temperatura máxima de techo, determinada a 30 cm del mismo, durante las condiciones más adversas posibles de calor ambiental.

Diámetro (pulg)	Rociadores (número)
1	1
1 1/4	2
1 1/2	5
2	8
2 1/2	15
3	27
3 1/2	40
4	55
6	150

Tabla 8. Rociadores por diámetro de tubería para área de alto riesgo

Color de identificación	Temperatura máxima de techo (°C)	Rango de operación (°C)	Clasificación del riesgo
sin color	38	57 - 77	ordinario
blanco	66	79 - 107	intermedio
azul	107	121 - 149	alto
rojo	149	163 - 191	extra alto

Tabla 9. Rangos de operación de rociadores

7. Los sistemas de rociadores deben instalarse suspendidos del techo, exceptuando aquellos que protegen fondos de equipos, soportados de elementos estructurales firmes, nunca de techos falsos o plafones. Los soportes deben permitir el movimiento paralelo al techo y resistir el peso de la tubería cargada con agua, más 114 kg en el punto de soporte. Para tubería con diámetro menor o igual que 1 1/2" el espaciamiento máximo entre soportes es 3.7 m, y

para tuberías mayores, de 4.7 m.

8. El espaciamiento máximo entre rociadores y entre ramales es de 3 m, con lo cual se asegura la intersección de los patrones de protección. La distancia máxima del rociador a la pared es de 1.5 m, y entre rociadores y techo es de 30 cm. La distancia mínima entre el rociador y el equipo o el área a proteger es de 1.2 m.
9. La elevación máxima del rociador sobre la base de vigas o traveses es función de la distancia del rociador al elemento estructural y se muestra en la tabla 10.

Distancia del rociador al elemento estructural (cm)	Elevación máxima del sobre el elemento estructural (cm)
menos de 31	0
31 a 60	2.5
61 a 75	5.1
76 a 90	7.6
91 a 100	10.2
101 a 121	15.2
122 a 136	17.8
137 a 151	22.9
152 a 167	27.9
168 a 185	35.6

Tabla 10. Elevación máxima del rociador sobre vigas o traveses

10. La presión máxima requerida en la alimentación del sistema de rociadores es de 90 psi.

De acuerdo con las especificaciones anteriores y cumpliendo los siguientes cinco puntos, se logra un diseño adecuado del sistema:

1. Definir el área a proteger y los equipos involucrados.
2. Definir el área máxima a proteger por rociador (100 ft² máximo).

3. Asegurar una interferencia mínima de los elementos estructurales.
4. Localizar correctamente los rociadores respecto de traveses, techo, columnas, otros rociadores y ramales.
5. Selección del tipo de sistema más adecuado de acuerdo con los riesgos del área o equipo a proteger y las condiciones ambientales de temperatura y corrosión más adversas que puedan presentarse.

Una vez localizado el sistema sobre el diagrama de distribución del área a proteger, se verifica hidráulicamente que las condiciones de presión y flujo en la alimentación sean las requeridas.

Las fórmulas que se aplican son:

- a) Hazzen-Williams para determinar las pérdidas por fricción:

$$P_f = (4.52 * (Q ** 1.85)) / ((C ** 1.85) * (D ** 4.87))$$

donde: P_f = Pérdida por fricción por pie (psi/ft)
 Q = Gasto de agua (gpm)
 D = Diámetro de tubería (pulg)
 C = Coeficiente del material

- b) $Q = K / (p) ** 0.5$ para evaluar el flujo de descarga del rociador, donde:

Q = Gasto (gpm)
 K = Constante de descarga (5.6 para rociador estándar 1/2 pulg de diámetro)
 P = Presión en el punto de descarga (psi)

- c) $Q_2 = Q_1 * (P_2/P_1) ** 0.5$ para evaluar flujos a diferentes condiciones de presión y viceversa.

El cálculo hidráulico considera que todos los rociadores del área o equipo operan simultáneamente; se inicia suponiendo una presión de descarga (generalmente de 10 psi) en el rociador más alejado, calculando el flujo correspondiente con la fórmula del inciso b) anterior. Con estos valores inicia-

les de presión y flujo, se calculan las caídas de presión entre rociadores y entre ramales, evaluando el flujo de cada ramal hasta evaluar todo el sistema, incluyendo las pérdidas de presión por alturas; se obtienen así los valores calculados de presión y flujo (P_c y Q_c).

El área total a proteger se multiplica por la densidad de diseño, con lo que se determina el flujo requerido (Q_r).

$$Q_r = A * D$$

Si Q_c es mayor o igual que Q_r , y P_c es menor o igual que la presión máxima requerida (90 psi), entonces el diseño se considera correcto; si Q_c es menor que Q_r y/o P_c es mayor que 90 psi se procede como sigue:

1. $Q_c < Q_r$ y $P_c < P_{max}$: se aplica el inciso c) anterior para determinar la presión requerida (P_r) para el flujo requerido (Q_r), si del cálculo resulta que $P_r > 90$ psi se aplica el punto siguiente.
2. $P_c > P_{máx}$: se incrementan los diámetros, de media en media pulgada, de los tramos donde el cálculo hidráulico muestra caídas de presión considerables y se repite la verificación hidráulica del sistema hasta lograr las condiciones requeridas de diseño.

La figura 19 muestra la memoria de cálculo hidráulico de un sistema de rociadores automáticos tipo húmedo, para una área de tamboreo de líquidos inflamables y la figura 20 muestra el croquis de distribución.

SISTEMA				COMPLEJO/PLANTA			FECHA		HOJA	
AREA DE TAMBORO DE LIQUIDOS INFLAMABLES									1/1	
SISTEMA AUTOMÁTICO TIPO HÚMEDO										
PASO NUM.	IDENTIFICACION, NOZZLE LOC.	CASTO FLOW (GPM)	DIAM. PIPE SIZE (IN)	ACCESORIOS FITTINGS	LONG. EQUIV. EQ. LENGTH (FT)	FRICTION FRICT. LOSS (PSI/FT)	PRESTION PRESSURE SUMM. (PSI)	PRESTION NORMAL PRESSURE (PSI)	OBSERVACIONES NOTES	
1	a+c b-c	q 17.7	1	C 90°	L 7.4	0.13	Pt 10		Kroc = 5.6 C = 120 Pa = 10 psi	
		q 17.7		T 3"	C 14.9		f 2.9			Pv
		q 17.7		Red. 3a 1	T 22.3		f 2.9			Pn
2	c	q 35.4	1	L			Pt 12.9			
		q 35.4		C			f			Pv
		q 35.4		T			f			Pn
3	c-d	q 35.4	3	L	5.7	0.002	Pt 12.9		Caída de presión de cada depreciable	
		q 35.4		C			f 0.01			Pv
		q 35.4		T	5.7		f 0.01			Pn
4	d	q 17.7	3	T 3"	L	0.006	Pt 10		Caída de presión de cada depreciable	
		q 20.1		C	10.7		f 2			Pv
		q 20.1		T			f 2			Pn
5	d-e	q 55.5	3	T 3"	L 5.7	0.005	Pt 12.91			
		q 55.5		C	3.6		f 0.05			Pv
		q 55.5		T	9.3		f 0.05			Pn
6	g-c f-c	q 17.7	1	C 90°	L 7.4	0.13	Pt 10			
		q 17.7		T 3"	C 14.9		f 2.9			Pv
		q 17.7		Red. 3a 1	T 22.3		f 2.9			Pn
7	e-alim	q 91.1	3	4 Gals J"	L 28.9	0.013	Pt 13			
		q 91.1		C	21.4		f 0.7			Pv
		q 91.1		T	50.3		f 0.7			Pn
8	Alimentación	q 132.5		L			Pt 26.2		Corrección por ajuste a demanda.	
		q 132.5		C			f			Pv
		q 132.5		T			f			Pn

Figura 19. Memoria típica de cálculo hidráulico para sistemas de rociadores

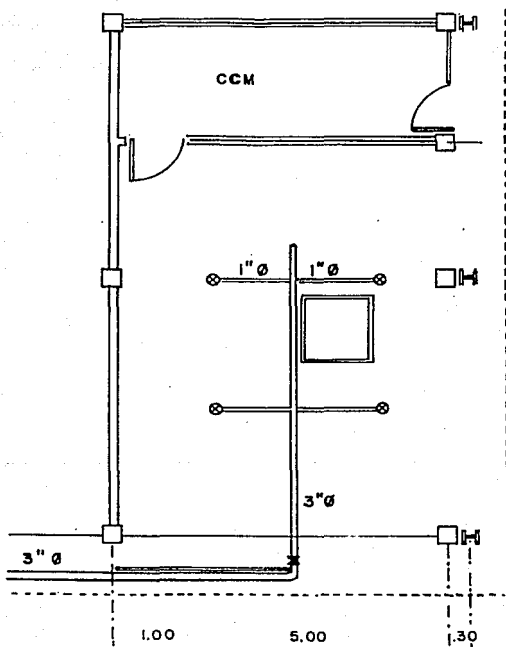


Figura 20. Croquis de localización de un sistema de rociadores

Criterios operativos

1. Existen otros sistemas contra incendio además de los mencionados, como los fijos de HALON 1301, CO₂ o polvo químico seco, que fueron excluidos debido a que sus aplicaciones son más específicas para áreas como centros de cómputo, oficinas, casas de fuerza y otras similares. Los sistemas descritos son los básicos para cualquier unidad de proceso químico o petroquímico.
2. Tampoco se describen sistemas de detección de humo, ionización de flama, variación de temperatura o sensores de vapores orgánicos, por ser dispositivos complementarios y de alarma para los mencionados.
3. Como regla de dedo, el volumen mínimo de agua contra incendio debe ser 1000 m³, aun cuando la cantidad calculada sea menor.
4. No se requiere necesariamente un recipiente de almacenamiento de agua contra incendio; ésta se puede alimentar desde ríos o del mar, purgando periódicamente la tubería para eliminar sedimentos y arena.
5. Si el recipiente se alimenta con agua que contenga sedimentos, arena o tierra, por lo menos debe limpiarse una vez al año.
6. En general, la cantidad de agua se determina con base en el equipo contra incendio que se utilizaría en el caso más crítico probable, siempre y cuando esté distribuido de acuerdo con los estándares y se consideren todos los equipos que se utilizarían para combatir y controlar el evento en sí y para proteger las áreas expuestas.

7. En recipientes utilizados para alimentar agua al proceso y al sistema contra incendio, la reserva exclusiva de agua contra incendio puede no ser la requerida para la demanda máxima por dos horas, siempre y cuando el total almacenado sí lo sea, considerando la demanda de agua para otros servicios críticos que no puedan ser interrumpidos, por razones de seguridad, durante un incendio o emergencia mayor.
8. Como regla práctica, las bombas contra incendio deben tener una capacidad mínima de 2000 gpm @ 125 psi. Generalmente son un mínimo de dos unidades, una diesel y la otra eléctrica, siempre y cuando se garantice el suministro de energía al motor eléctrico y a los cargadores de los bancos de baterías del motor diesel durante la situación de emergencia. Sin importar el número de unidades y la garantía del suministro de energía eléctrica, sólo se debe contar con una unidad eléctrica; el resto serán diesel.
9. La bomba jockey debe ser eléctrica, con capacidad máxima de 100 gpm @ 125 psi. La capacidad usual es de 50 gpm @ 125 psi, ya que su propósito es el de mantener la presión en la red de tuberías, no alimentar equipos contra incendio.
10. El arranque de las bombas contra incendio debe ser automático por baja presión en la red. Para prevenir daños en las unidades de bombeo, la bomba jockey debe mantener la presión de la red a 125 psi como mínimo; las unidades deben arrancar en secuencia, iniciando la eléctrica, por caídas de presión de 10 a 15 psi.

11. Es poco común contar con bombas de más de 3000 gpm @ 125 psi. Por ejemplo, si la demanda máxima probable es de 6000 gpm, lo usual es instalar cuatro bombas de 2000 gpm en lugar de tres de 3000 gpm, debido a las características de potencia y consumo de energía de los motores.
12. Existen bombas contra incendio con presiones nominales mayores a 125 psi, que se utilizan si debe suministrarse agua a una gran altura y el diámetro de la red está restringido.
13. La curva estándar Q vs P de las bombas contra incendio, representa sólo una porción de las curvas de especificación, pero sí indica los tres puntos clave que deben cumplir. Debido a que la eficiencia de una bomba varía por la potencia requerida y el tamaño del impulsor, los tres puntos requeridos pueden cumplirse con un motor con potencia suficiente (considerando la altura SNM a la que se instalará) y con el tamaño de impulsor o número de tazones adecuado.
14. Pueden utilizarse motores diesel enfriados por radiador si se garantizan rutinas de inspección para verificar que el nivel del agua de enfriamiento se mantenga en todo momento.
15. No deben utilizarse motores de gasolina para bombas contra incendio (de hecho, tampoco para plantas de emergencia o UPS), ya que son poco confiables en su operación, requieren mayor frecuencia de mantenimiento y el almacenamiento de gasolina es un riesgo adicional para un equipo de protección vital, como lo son estas unidades.

16. Debe haber un operador para las unidades de bombeo debidamente capacitado en los componentes, la operación, qué hacer en caso de que se accionen las alarmas, qué puntos deben revisarse y cuándo parar las unidades diesel. La unidad eléctrica puede parar automáticamente al restablecerse la presión en la red, las diesel deben parar después de operar durante un mínimo de 20 min a plena capacidad. El operador debe registrar su rutina en una lista de verificación.
17. Las unidades de bombeo deben probarse semanalmente a plena capacidad (sin descargar agua por los equipos, el exceso de presión se liberará por la válvula de alivio) por 30 min las diesel y por 15 min la eléctrica, "puenteando" el paro automático. El operador debe aplicar la lista de verificación.
18. El responsable de las unidades de bombeo contra incendio debe mantener el registro de cada una, incluyendo las especificaciones y curvas, histórico de fallas y acciones tomadas, pruebas semanales y anual de verificación de la curva Q vs P y mantenimiento aplicado.
19. Es recomendable que la válvula de alivio descargue a un punto donde pueda recuperarse el agua. Puede descargar al mismo recipiente, siempre y cuando la columna de agua a vencer no represente una contrapresión tal que impida la operación de la válvula a la presión de calibración.
20. No deben instalarse válvulas seccionales que no sean de compuerta indicadoras por vástago saliente o poste. Las válvulas deben asegurarse en abierto por cadenas y/o can-

dados. Las llaves de los candados deben estar identificadas y bajo control del responsable del sistema.

21. Las válvulas seccionales deben inspeccionarse y probarse mensualmente.
22. El sistema de tuberías debe purgarse una vez al año. Si la temperatura ambiente puede descender abajo de 0°C, la purga será semanal durante esa época. Esta condición ambiental es otro factor para decidir si la red de tuberías se instala superficial o subterránea.
23. Los cañones monitores sirven para proteger equipos o instalaciones elevados o de difícil acceso durante una emergencia (torres, columnas, tanques de almacenamiento, estibas de tambores o de materiales sólidos, entre otros). Pueden instalarse a nivel de piso o en plataformas. Existen dispositivos para operarlos remotamente, ya sea manual (cadenas) o por servomecanismos. También hay boquillas especiales para descargar espuma contra incendio además de agua, que requieren una presión de operación de 100 psi.
24. Los hidrantes exteriores pueden proteger interiores, pero los interiores no deben considerarse para proteger áreas exteriores. Este concepto es importante cuando se distribuyen los hidrantes, ya que puede omitirse la instalación de hidrantes interiores, si existen exteriores que puedan cubrir esa área con acceso franco.
25. En edificios con escaleras exteriores al área de proceso, pueden instalarse hidrantes en cada acceso, los cuales se consideran exteriores. Si las áreas interiores son muy

grandes, deben instalarse suficientes hidrantes interiores considerando un radio de cobertura de 15 m.

26. En el nuevo concepto de combate de incendios, las mangueras de 2 y 2 1/2 pulg se utilizan para alimentar dos mangueras de 1 1/2 pulg, lo cual provee mayor alcance y movilidad de la brigada. Por esta razón, es necesario contar con suficientes "Y" de 2 o 2 1/2 x 1 1/2 x 1 1/2 pulg, mangueras de 30 m de 1 1/2 pulg y boquillas de tres pasos de 1 1/2 pulg. Las razones principales son:
 - a) Una manguera de 1 1/2 pulg descargando 95 gpm @ 100 psi, puede ser manejada por dos brigadistas; una de 2 1/2 pulg descargando 300 gpm @ 100 psi requiere un mínimo de cuatro brigadistas.
 - b) Las mangueras de 1 1/2 pulg son más fáciles de manejar en áreas interiores o restringidas que las de 2 1/2.
27. Los equipos de bombero deben ser profesionales y reponerse al deteriorarse (cambio de color, roturas y otros daños significativos). Los cascos y las botas no deben repararse. Los chaquetones y pantalones pueden repararse si el daño es menor y se utiliza el mismo material (Nomex o FBI).
28. Debe contarse con un equipo de aire autónomo por cada brigadista que deba entrar en un área cerrada y mínimo un cilindro de aire de repuesto para cada equipo.
29. Cada componente de la red contra incendio debe ser inspeccionado y probado con la siguiente frecuencia:
Cada 7 años: prueba hidrostática de equipos de aire autónomo.

Cada 5 años: prueba hidrostática para los extintores presurizados.

Anual:

- a) Recipiente.
- b) Flujo por la red de tuberías y operación de las válvulas seccionales (tramo por tramo).
- c) Curva Flujo vs Presión de las bombas.
- d) Purga del sistema de tuberías.
- e) Prueba hidrostática de mangueras.

Mensual:

- a) Mangueras y boquillas.
- b) Hidrantes y monitores.
- c) Válvulas seccionales.
- d) Caseta de equipo y contenido.

Semanal: prueba de bombas contra incendio.

El registro de inspecciones, pruebas y mantenimiento, es vital para el control adecuado del sistema y del equipo.

30. Los sistemas aplicables a las unidades de proceso son el húmedo automático y el diluvio, dependiendo del tipo de área a proteger y de la posibilidad de un derrame grande de líquidos inflamables o combustibles. El sistema seco se instala sólo si la temperatura ambiente puede congelar el agua en las tuberías; el preacción se instala en áreas que tengan valores irremplazables como museos, librerías o galerías de arte.
31. Aunque no es recomendable, pueden instalarse sistemas diluvio operados manualmente, siempre y cuando se asegure que una persona accionará la válvula desde un punto remo-

- to o adecuadamente protegido.
32. El sistema húmedo debe inspeccionarse cada mes y probarse cada 6 meses por la línea de 2 pulg de diámetro (prueba de alarma de flujo) y por la conexión de 1/2 pulg (operación y purga del sistema).
 33. El sistema diluvio debe inspeccionarse cada mes y operarse cada año para verificar que no haya rociadores tapados.
 34. En la actualidad, el tipo de espuma contra incendio más utilizado es la formadora de película acuosa (AFFF), ya que permanece más tiempo sobre el material que los otros tipos.
 35. La espuma de alta expansión se aplica para áreas cerradas o en diques. El principal problema es que la aplicación se hace a través de un ducto (manga) de lona o nylon, lo cual requiere que el personal se aproxime al lugar del fuego; por ello es común iniciar el ataque con espuma de baja expansión por mangueras o monitores, y después aplicar la espuma de alta expansión.
 36. La espuma contra incendio no sólo sirve para extinguir un fuego, sino para evitar la generación de vapores en derrames de líquidos inflamables, tóxicos o irritantes.
 37. La selección de extintores no se basa únicamente en el tipo de fuego; también se consideran la capacidad, el tamaño y el peso del aparato. Por ejemplo: un extintor de 20 lb de CO₂ es tan grande y pesado, que puede ser difícil de manejar y pierde su efectividad; por otro lado, un extintor de 2.5 lb de CO₂ pese a ser muy ligero, contiene

muy poca cantidad de agente extinguidor, de manera que su eficacia es restringida. Lo común es instalar extintores de 20 lb de polvo químico seco y de 10 lb de CO₂ o HALON 1211. Si se estima requerir una gran cantidad de agentes extinguidores (no agua o espuma) en un área determinada, deben instalarse extintores sobre ruedas.

38. Las bases del diseño hidráulico de la red de agua contra incendio y de los sistemas de rociadores, se fundamentan en estándares internacionales; los valores tope indicados son criterios operativos derivados de la experiencia industrial en este campo.

VII. ASPECTOS ECONOMICOS

Para tomar la decisión sobre la instalación del tipo de sistema de protección más adecuado y del monto de la inversión a realizar, tanto en recursos económicos como humanos, es necesario evaluar la relación entre el costo del sistema y el beneficio potencial que se obtendrá. La evaluación de esta relación se efectúa considerando los aspectos de:

Interrupción de operaciones

Sin duda, la posible interrupción, sea parcial o total, de las operaciones productivas, es el aspecto de mayor impacto y el que, por lo general, determina el tipo y grado de complejidad del sistema de protección y la "velocidad" de implantación de las medidas de prevención. La interrupción de operaciones se evalúa considerando los daños esperados de la ocurrencia del caso más crítico probable, determinado por el costo de la producción no vendida, más el valor de los materiales almacenados, más el costo por inventarios, más el costo por reposición y reparación de equipos, más el costo de la mano de obra y materiales de construcción y el tiempo necesario para reconstrucción y arranque. Así mismo, se incluyen la pérdida de información vital o crítica, otros costos administrativos, la pérdida potencial de mercado y el freno a expansiones planeadas.

La pérdida potencial de mercado obliga a los especialistas financieros a evaluar el tiempo de recuperación económica y las posibilidades de éxito y crecimiento. Las estadísticas disponibles indican que, en Estados Unidos, del total de uni-

dades de proceso que sufrieron eventos de pérdida por fuego o explosión, el 20% continuó operando normalmente debido a que los eventos fueron de pequeña magnitud, el 40% continuó operando pero a baja capacidad, y el 40% restante paró definitivamente sus operaciones debido al evento de pérdida en sí o porque la competencia los desplazó.

Dado que la interrupción de operaciones está en función del riesgo asociado a la unidad de proceso, no podemos esperar un daño similar en un proceso textil al que ocurriría en una unidad de proceso químico o petroquímico, por ejemplo una unidad productora de acetaldehído; aunque ésta requiere de menos equipo y personal, producirá daños de consecuencias potenciales catastróficas.

La evaluación de este aspecto incluye la importancia estratégica del producto, es decir, la posición actual del producto en el mercado y su proyección a futuro, ya que si un producto es altamente rentable o tiene una proyección optimista, justificará la protección de la unidad con sistemas de alta eficiencia, así como la implantación de medidas preventivas que aseguren, en la medida de lo posible, la continuidad del proceso.

Por el contrario, si el producto está en decadencia o no tiene proyección, requerirá de un nivel mínimo de protección, a menos que exponga severamente a otras unidades rentables.

Aspecto legal

Esta básicamente determinado por las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley Federal del Trabajo, por los reglamentos e instructivos emanados de ella y por la Ley

del Instituto Mexicano del Seguro Social; esta última especifica el impacto de los accidentes y enfermedades ocupacionales que sufra el personal.

El IMSS clasifica a las empresas en cinco clases de riesgo, según su giro productivo, y cobra una prima por concepto de riesgos de trabajo, determinada en función del grado de riesgo; éste, a su vez, está en función del Índice de Siniestralidad (Is) calculado con:

$$Is = (n*1000/90)*((S/365)+(0.16*I)+(16*D))*1'000,000/N^2$$

Donde:

Is = Índice de siniestralidad
n = Casos terminados
S = Total de días subsidiados por casos terminados
I = % de incapacidad permanente
D = Número de defunciones
N = Número promedio de trabajadores

El costo por estos conceptos lo cubre en su totalidad la empresa.

La Ley Federal del Trabajo marca los porcentajes que se aplican por las incapacidades permanentes por accidente o enfermedad ocupacional o de trabajo.

Durante un incendio o una explosión, el personal está expuesto a sufrir lesiones muy graves y en muchos casos, hasta una lesión fatal. Esto trae como consecuencia, además de las lesiones al personal y las consecuencias a la familia, el pago de cantidades no presupuestadas, en primas al IMSS y en indemnizaciones, que repercuten directamente en la planeación de operaciones de la empresa, así como en el deterioro de su imagen en la comunidad, clientes y empleados.

La Ley Federal del Trabajo, sus reglamentos e instructivos, en especial el Reglamento General de Higiene y Seguridad en el Trabajo y sus 21 instructivos, obligan a las empresas a implantar medidas de Seguridad e Higiene Industrial, cuyo fin es preservar la integridad física del personal y de las instalaciones, al establecer las medidas preventivas y los sistemas de protección como un requisito indispensable en la operación de las unidades de proceso.

Compañías aseguradoras

La Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS) en su reglamento sección incendio, fija las primas a pagar de acuerdo con los riesgos presentes, tales como:

1. Almacenamiento de materiales combustibles o inflamables.
2. Tipo de construcción.
3. Materiales que se manejan.
4. Tipo de operaciones que se realizan.
5. Experiencias de pérdidas anteriores, etcétera.

Así mismo indica las protecciones contra incendio y para prevención de pérdidas necesarias para obtener las primas mínimas a pagar. Las medidas consideradas son:

1. Puertas contra incendio.
2. Extintores portátiles y sobre ruedas.
3. Localización de hidrantes, mangueras y boquillas.
4. Diámetro de tuberías.
5. Presión requerida en el hidrante más alejado de las bombas
6. Volumen exclusivo de agua contra incendio.
7. Número de bombas contra incendio.
8. Localización de los sistemas de rociadores.

Sin embargo, los requisitos marcados en este reglamento están, por lo general, muy por debajo de las necesidades reales, además de que no consideran los dispositivos de protección para los equipos críticos, ni la instrumentación de control ni la de seguridad, ni la existencia de los monitores contra incendio.

Independientemente de la conveniencia de contar con un seguro contra el tipo de eventos de pérdida descrito, debe considerarse que la suma asegurada no considera muchos de los costos que se generan como consecuencia de incendios y explosiones. Cuando ocurre un evento de pérdida mayor, esta cantidad resulta insuficiente para reponer las instalaciones dañadas, debido a que los costos se incrementan continuamente por efectos inflacionarios; entonces, el seguro es únicamente una solución parcial.

Resulta evidente que cualquier compañía productiva debe considerar los sistemas de prevención y control de pérdidas y los de protección contra incendios, como una inversión.

VIII. CONCLUSIONES

Las conclusiones a esta tesis son las siguientes:

1. Toda unidad de proceso involucra riesgos de ocurrencia de eventos de pérdida, por sí misma o por falla de alguno de sus componentes.
2. Estos riesgos deben ser determinados, evaluados y prevenidos, para lo cual se cuenta con diferentes técnicas de análisis de riesgos, que deben aplicarse de acuerdo con el campo de riesgo que se considere. Los campos de riesgo son: Fuego y explosión, Nubes explosivas, Operabilidad, Sistemas críticos y Efectos de paro y arranque.
3. Las medidas de prevención son técnicas y administrativas; ambas deben ser consideradas para lograr un alto nivel de seguridad.
4. Un sistema de análisis de seguridad en procesos requiere de una organización soporte que asegure la operación del sistema, la integración de grupos de trabajo y el cumplimiento de las recomendaciones.
5. La adecuada instrumentación de un proceso, con base en el control de las variables críticas y utilizando los elementos redundantes necesarios, aunado a prácticas y procedimientos seguros de operación y de emergencia, y con suficiente entrenamiento al personal, permitirán operar el proceso dentro de los límites de seguridad necesarios para asegurar, dentro de lo posible, la continuidad de la operación productiva.
6. Los equipos críticos de proceso deben protegerse con dispositivos de alivio de presión, de contención y de pro-

tección eléctrica, calculados de acuerdo al tipo y a las condiciones de operación.

7. Aunque se cuente con dispositivos de protección para el equipo crítico, instrumentación suficiente, procedimientos seguros y personal bien entrenado, pueden presentarse eventos de pérdida por diferentes causas, ya que la probabilidad de ocurrencia sólo es cero cuando el potencial de pérdida es cero, por lo cual es necesario contar con dispositivos y sistemas que permitan el combate y control del evento, con un mínimo de lesiones al personal y daños a comunidades, medio ambiente e instalaciones.
8. Los dispositivos de protección a las unidades de proceso, tales como la red de agua contra incendio y los sistemas de rociadores, deben ser calculados hidráulicamente y diseñados de acuerdo con normas y estándares aceptados, para asegurar una operación eficiente.
9. Para las unidades de proceso químico y petroquímico, la prevención y el control de pérdidas requiere de conocimientos profundos en las áreas de procesos, servicios, instrumentación, ingeniería básica y de detalle. La Ingeniería de Seguridad en Procesos es la aplicación de la Ingeniería Química con enfoque de seguridad.
10. La complejidad de los sistemas de prevención y de protección está en función de la preservación de la integridad física del personal, de la comunidad y del medio ambiente, así como de la relación costo-beneficio, determinada por los tres aspectos siguientes:

- a) Interrupción de operaciones.
 - b) Aspecto legal.
 - c) Compañías aseguradoras.
11. Los sistemas de prevención y control de pérdidas son una inversión redituable, ya que aseguran la preservación de la integridad física del personal, la continuidad del proceso, la protección de las comunidades y la conservación del medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

1. Hoechst Celanese Co., *Manual de Revisión de Seguridad de Procesos*, EUA, 1986.
2. Dow Chemical Co., *Índice Dow de fuego y explosión*, quinta edición, EUA, 1981.
3. Hoechst Celanese Co., *Guía de cálculo de nubes explosivas*, EUA, 1986.
4. Hoechst Celanese Co., *Análisis de paro y arranque*, EUA, 1981.
5. Celanese Mexicana S.A., *Arbol de fallas*, adaptación del Departamento Corporativo de Seguridad e Higiene Industrial, 1982.
6. NFPA (National Fire Protection Association), *National Fire Codes, NFC No. 10, "Portable Fire Extinguishers"*, EUA, 1990.
7. NFPA, NFC N° 13, *"Sprinkler Systems"*, EUA, 1991.
8. NFPA, NFC N° 14 *"Standpipe and Hose Systems"*, EUA, 1990.
9. NFPA, NFC N° 20 *"Centrifugal Fire Pumps"*, EUA, 1990.
10. NFPA, NFC N°22 *"Water Tanks"*, EUA, 1987.
11. NFPA, NFC N° 30 *"Flammable and Combustible Liquids Code"* EUA, 1990.
12. NFPA, NFC N° 291 *"Fire Flow Testing and Marking of Hydrants"*, EUA, 1988.
13. *Sistema Mutuo Industrial (Factory Mutual System - FM), "Loss Prevention Data"*, Vols. 1 a 7, EUA, 1979.
14. Celanese Mexicana S.A., *Manual de Bombas Contra Incendio*, México, 1987.
15. Celanese Mexicana S.A., *Manual Red de Agua Contra Incendio*, México, 1986.
16. Celanese Mexicana S.A., *Manual de Procedimientos sobre: Seguridad Industrial, Higiene Industrial, Medicina Industrial y Control Ambiental*, México, 1992.
17. N. Irving Sax, *Dangerous Properties of Industrial Materials*, séptima ed., Van Nostrand Reinhold Co., EUA, 1989.

18. Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS), *Sección de Incendio. Reglamento y Tarifa*, Mexico 1985.
19. Ley Federal del Trabajo de la República Mexicana.
20. Secretaría del Trabajo y Previsión Social, *Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, México.
21. Secretaría del Trabajo y Previsión Social, *Instructivos 1 al 21 del Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, Diario Oficial de la República Mexicana, 1992.
22. Ley del Seguro Social, IMSS, México.
23. IMSS, *Reglamento de Clasificación de Empresas*, México.
24. National Safety News, *Guías para Extintores Portátiles*, EUA, junio de 1983.