



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**INTEGRACIÓN DE LAS GUÍAS NFPA 550 Y NFPA 551  
PARA MEJORAR LA SEGURIDAD CONTRA  
INCENDIOS EN CASOS ESPECIALES.**

**TRABAJO ESCRITO VÍA CURSOS DE EDUCACIÓN  
CONTINUA  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERA QUÍMICA**

**P R E S E N T A**

**LAURA ELIZABETH CHÁVEZ GRANADOS**



**México, D. F.**

**2014**



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 esta 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.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE: Profesor: Eduardo Guillermo Ramón Marambio Dennett**

**VOCAL: Profesor: José Agustín García Reynoso**

**SECRETARIO: Profesor: Raúl Sánchez Meza**

**1er. SUPLENTE: Profesor: Alma Delia Rojas Rodríguez**

**2do. SUPLENTE: Profesor: Jorge Rafael Martínez Peniche**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

INTERNATIONAL FIRE SAFETY CONSULTING (IFSC) DE MÉXICO, S.A. DE C.V.

RÍO LERMA 277-402, COL. CUAUHTÉMOC, MÉXICO D.F., C.P. 06500.

**ASESOR DEL TEMA:**

**I. Q. Raúl Sánchez Meza**

\_\_\_\_\_

**SUSTENTANTE (S):**

**Laura Elizabeth Chávez Granados**

\_\_\_\_\_

# CONTENIDO

---

1	Introducción.....	7
2	Resumen .....	8
3	La industria química mexicana.....	10
3.1	Accidentes en industrias químicas.....	10
3.2	Principales causas de incendios en los centros de trabajo.....	11
4	Administración del riesgo .....	16
4.1	Definición y características de los riesgos. ....	16
4.2	Tipos de riesgos .....	18
4.3	Normatividad Nacional e Internacional Relacionada .....	20
4.4	Sistemas de Extinción y Control de Incendios .....	22
5	NFPA 551. Evaluación de Análisis de Riesgos de Incendio .....	25
5.1	Alcance de los FRA's. ....	27
5.2	Criterios de Aceptación.....	28
5.3	Selección y Evaluación de los Métodos para FRA.....	28
5.4	Disponibilidad, calidad y aplicabilidad de los métodos FRA. ....	31
5.5	Evaluación de la Confiabilidad, la Disponibilidad y la Eficacia.....	32
5.6	Integridad, Solidez y la Profundidad de los Modelos. ....	32
6	Árbol de Decisiones en la Seguridad Contra Incendios .....	33
6.1	Prevención de la Ignición del fuego.....	33
6.2	Control del Impacto del Incendio .....	36
6.3	Manejo de la exposición .....	39
7	Aplicación de métodos para el análisis de riesgos .....	41
8	Análisis de guías, integración y recomendaciones .....	42
9	Aplicación Guías.....	48
9.1	Planteamiento del problema .....	48
9.2	Primera Etapa del Árbol de decisiones y generación de un FRA. ....	48
9.3	Propiedades y características de elementos de interés .....	49
9.4	Evaluación de riesgos de incendio.....	51
9.5	Cuantificación de riesgos. ....	53

9.6	Medidas de seguridad e implementación de sistemas contra incendio. ....	56
10	Conclusiones .....	59
11	APÉNDICE I. Conceptos básicos .....	60
12	APÉNDICE II. Las propiedades del fuego.....	62
12.1	La química del fuego .....	62
12.2	Proceso de la combustión.....	64
12.3	Llamas de difusión y de premezclado.....	64
12.4	Factores que influyen en la ignición .....	65
12.5	Procesos de transferencia de energía .....	66
13	APÉNDICE III. Normas Oficiales Mexicanas.....	68
14	APÉNDICE IV. Métodos de Análisis de Riesgos .....	70
15	APÉNDICE V. Síntesis de Árbol de Decisiones.....	71
16	Bibliografía .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1.	Base de datos 2012. Información estadística de Incendio.....	13
Tabla 2.	Los accidentes más severos de Pemex desde 1984.....	15
Tabla 3.	Definición de los riesgos de origen químico. ....	19
Tabla 4.	Objetivos de los agentes extintores.....	22
Tabla 5.	Agente Extintor más apropiado según el tipo de fuego. ....	23
Tabla 6.	Sistemas de Detección Contra Incendio.....	24
Tabla 7.	Categorías de Análisis de Riesgos contra Incendio (FRA).....	30
Tabla 8.	Composición del gas Licuado de Petróleo.....	49
Tabla 9.	Propiedades físicas y químicas del gas Licuado de Petróleo.....	50
Tabla 10.	Calificación de fallos mediante su índice de probabilidad.....	53
Tabla 11.	Riesgos asociados al derrame de una esfera de almacenamiento de LPG.....	55
Tabla 12.	Clasificación del fuego de acuerdo al tipo de material combustible. ....	60
Tabla 13.	Características de la combustión de un gas inflamable. ....	64
Tabla 14.	Efecto de la temperatura sobre la inflamabilidad de un combustible. ....	65
Tabla 15.	Características de los límites de inflamabilidad.....	66
Tabla 16.	Técnicas más utilizadas en el análisis de riesgo. ....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Fig. 1. Evolución de accidentes y enfermedades de trabajo, 2003-2012 Nacional. ....	11
Fig. 2. Evolución de incapacidades permanentes 2003-2012 Nacional.....	12
Fig. 3. Causas de Incendio. Base de datos 2012. ....	14
Fig. 4. Ciclo de la Administración .....	16
Fig. 5. Regla de las 4T's para el manejo de riesgos .....	18
Fig. 6. Clasificación de Riesgos Laborales. ....	18
Fig. 7. Legislación mexicana que rige la seguridad laboral. ....	20
Fig. 8. Esquema general para la revisión de procesos. ....	26
Fig. 9. Principales operadores del árbol de decisiones para la seguridad contra incendios con Tres Operadores Inferiores Seleccionados.....	34
Fig. 10. Rama del Árbol de Decisiones en la Seguridad Contra Incendios para la Prevención de la Ignición de un incendio.....	35
Fig. 11. Ramas principales del Control del impacto de Incendio.....	36
Fig. 12. Ramificación de elementos del Control de incendios que integra el Árbol de Decisiones para la Seguridad contra Incendios.....	38
Fig. 13. Elementos para el Manejo de la Exposición. Ramificación del Árbol de Decisiones para la Seguridad Contra Incendios.....	40
Fig. 14. Síntesis Árbol de decisiones y concepción de la protección de un elemento en riesgo.....	46
Fig. 15. Esfera de almacenamiento de gas L. P. ....	48
Fig. 16. Propiedades de inflamabilidad del LPG.....	50
Fig. 17. Propiedades de diseño de tanque problema para almacenamiento de LPG.....	51
Fig. 18. Árbol de fallas de un tanque esférico de almacenamiento de LPG. ....	52
Fig. 19. Típico esquema de instalación de un depósito de gas licuado. ....	57
Fig. 20. Botaguas para obstruir la entrada de agua de lluvia entre los soportes tubulares y el hormigón a prueba de fuego. ....	58
Fig. 21. Energía de activación para llevar a cabo la reacción de combustión.....	62
Fig. 22. Elementos del tetraedro del fuego. ....	63
Fig. 23 Representación esquemática de los procesos de transferencia de calor y masa en la misma de una superficie en ignición. ....	67

# 1 INTRODUCCIÓN

---

*La única ventaja de jugar con fuego es que uno aprende a no quemarse.  
Oscar Wilde (1854-1900).*

La inmersión de la ingeniería en materia de seguridad contra incendios ha permitido optimizar la investigación e identificación de riesgos y diseñar medidas de protección dirigidas a la prevención, control y reducción de los efectos de los incendios, ayudando a arquitectos, diseñadores y propietarios en la evaluación de la seguridad de edificaciones, de los procesos y en la protección de los bienes. Pero, ¿por qué es importante para nosotros introducirnos en materia de seguridad contra incendios?

Durante los últimos años, el crecimiento de la economía en “México ha mostrado un dinamismo menor al observado en otros países emergentes. Actualmente ocupa la 14ª posición en la economía mundial. Las investigaciones realizadas indican que la falta de crecimiento de la economía mexicana está ligada a bajos niveles de productividad, estimando que ésta disminuyó en promedio 0.7% anual en los últimos 30 años” (Secretaría de Economía, 2013). Una de las razones por la cual los trabajadores no son competitivos y no encuentran la motivación para realizar de forma efectiva sus actividades, se debe a las condiciones poco saludables de su entorno laboral o porque no disponen de las herramientas y protecciones necesarias para efectuar sus labores de forma práctica y segura.

La seguridad y la higiene en el trabajo son aspectos que no deben olvidarse durante el desarrollo de la vida laboral de cualquier individuo. Hasta hace unos años esta área ha comenzado a cobrar relevancia en nuestro país. “La liberación de materiales tóxicos, el desarrollo de incendios y explosiones, así como la disposición inadecuada de residuos peligrosos, modifican las condiciones de vida de las personas que se ven expuestas a ellos” (CENAPRED, 2001, pág. 165). La tasa de accidentes por incendios si bien es baja, sus consecuencias son de elevado costo humano y material.

Son múltiples las causas que provocan un incendio. Actualmente existen casos especiales, es decir, situaciones de alto riesgo que no cobran gran relevancia, tales como actos de personas mal intencionadas, rayos, incendios provocados por lluvia o por la acción del agua que no provenía en condiciones adecuadas, por mencionar algunas. Ya que estos casos no se consideran dentro de los protocolos o normatividad para prevenir y dar un control de incendios específico, sus impactos salen de lo convencional.

Por tal motivo, este proyecto tiene la finalidad de integrar esos factores de riesgo de incendio que pasan desapercibidos y que al aplicar los conceptos y procedimientos establecidos por la NFPA 550 y 551 puedan elaborarse protocolos o metodologías más eficientes enfocadas a la Seguridad contra Incendios en el centro de trabajo.

## 2 RESUMEN

---

El presente proyecto es una contribución a la gestión de riesgos enfocado a la seguridad contra incendios. Se estableció como objetivo general determinar los puntos clave para elaborar una metodología de análisis y control de riesgos de incendio cuando no hay normas o protocolos que definan el procedimiento a seguir. A su vez pretende identificar las principales características de la Evaluación de Análisis de Riesgos, NFPA 551, para el combate de incendios especiales, establecer las áreas de oportunidad y puntos débiles del Árbol de decisiones para la Seguridad contra Incendios, NFPA 550 e integrar las guías NFPA 550 y NFPA 551 para control de riesgos de incendios especiales.

Se parte de la hipótesis en la cual se considera que la guía NFPA 551 para la evaluación de un Análisis de Riesgo contra Incendios (FRA), junto con la aplicación de un método cualitativo, el Árbol de decisiones en la Seguridad contra Incendios, pueden permitir la obtención de una óptima metodología de prevención y control de incendios especiales, a la vez de reafirmar la seguridad de los recursos humanos y bienes materiales de interés.

Los puntos clave expuestos para elaborar una metodología enfocada al análisis y control de riesgos que involucran incendios especiales seguirán manteniendo su carácter de recomendación, tal como lo son las guías NFPA 550 y 551 aquí integradas. Dicha información pretende hacer más claro el análisis de los riesgos de un incendio para lograr desarrollar estrategias de prevención y control más completos y eficaces, sobre todo, si estos ocurren dentro de una industria química.

La conformación del presente proyecto involucra 2 capítulos que definen el Estado de Arte referente al área de Seguridad contra Incendios, abordando tres temas principales:

*La industria química mexicana.* En esta se analizan los índices, las causas, y las consecuencias de accidentes laborales, relacionados a un incendio, y su impacto al crecimiento económico de nuestro país.

*Administración del riesgo.* Define lo que es un riesgo, los tipos de riesgo que existen y la forma de medirlos.

A partir de los capítulos 5 y 6, se resumen las características más importantes las guías auxiliares NFPA 551 y NFPA 550, que tratan del Análisis de Riesgos de Incendio (FRA) y del Árbol de decisiones para la Seguridad contra Incendios, respectivamente.

Se hace un breve resumen de la aplicación métodos para el análisis de riesgos y sus modelos más usados a partir del capítulo 7 y en el capítulo 9 se ejemplifican su aplicación para un incendio NO especial, para determinar los riesgos de incendio en un tanque de almacenamiento esférico a fin de ejemplificar el proceso de evaluación de riesgos integrado.

Por último, en el capítulo 8 se analizan a profundidad las guías NFPA 551 y NFPA 550, estableciendo sus fortalezas y debilidades, y se define su importancia para ser aplicadas a cualquier modelo actual de gestión del riesgo. Se muestra una síntesis del árbol de decisiones y se muestra más claramente los puntos en que ambas guías deben aplicarse en conjunto.

### 3 LA INDUSTRIA QUÍMICA MEXICANA

---

La seguridad y la higiene en el trabajo son aspectos que no deben olvidarse durante el desarrollo de la vida laboral de cualquier individuo. Sin embargo, apenas hace unos años ésta área comenzó a cobrar relevancia en nuestro país.

Proveer espacios, equipos, instrumentos, instalaciones y construcciones en óptimas condiciones y poseer personal capacitado y actualizado son los principales objetivos de nuestras empresas para asegurar la continuidad de los procesos. Por otro lado, también es menester preservar la integridad física de las personas, previniendo enfermedades y disminuyendo la posibilidad de que se produzca un accidente o evento no deseado en el centro laboral y que pueda repercutir negativamente en alguno de los siguientes rubros:

- Pleno desarrollo de la vida laboral.
- Impulso a la competitividad.
- Aumento de la productividad.
- Máxima calidad.
- Procesos ecológicos y sustentables.
- Continuidad en el negocio.

El aumento de la productividad es uno de los muchos beneficios obtenidos tras una óptima implementación de sistemas de reconocimiento, evaluación y control de riesgos, al proporcionar al trabajador un ambiente laboral digno, como lo expone la Ley Federal del Trabajo en su última reforma (Noviembre 2012)<sup>1</sup>.

#### 3.1 ACCIDENTES EN INDUSTRIAS QUÍMICAS

El incremento de los accidentes registrados hoy en día en las industrias químicas se debe en gran medida a la diversificación y aumento del uso de sustancias químicas. Si bien los accidentes mayores relacionados a estas sustancias son poco frecuentes, el costo social, ambiental y económico es muy elevado. “La liberación de materiales tóxicos, el desarrollo de incendios y explosiones, así como la disposición inadecuada de residuos peligrosos, modifican las condiciones de vida de las personas que se ven expuestas a ellos” (CENAPRED, 2001, pág. 165).

De esta manera, entre los principales accidentes registrados en una planta química se tienen:

- Derrames.
- Fugas.
- Incendios.

---

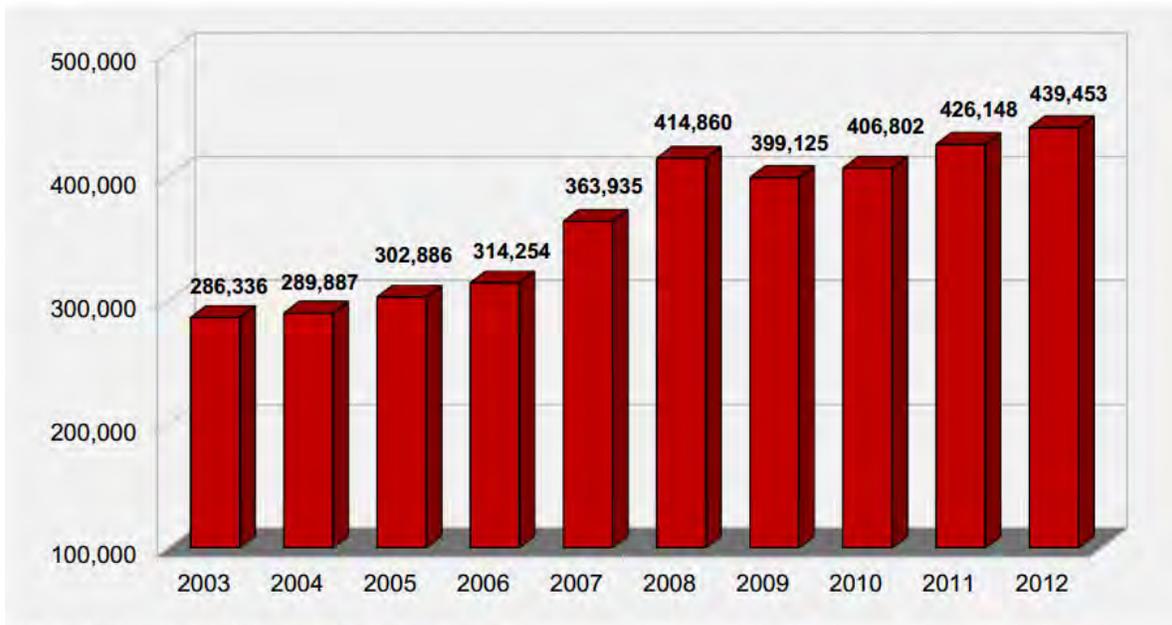
<sup>1</sup> **Ley Federal del Trabajo. Título Primero. Artículo 2º.** “Se entiende por trabajo digno o decente aquél en el que se respeta plenamente la dignidad humana del trabajador; no existe discriminación por origen étnico o nacional, género, edad, discapacidad, condición social, condiciones de salud, religión, condición migratoria, opiniones, preferencias sexuales o estado civil; se tiene acceso a la seguridad social y se percibe un salario remunerador; se recibe capacitación continua para el incremento de la productividad con beneficios compartidos, y se cuenta con condiciones óptimas de seguridad e higiene para prevenir riesgos de trabajo”.

- Explosiones.

Sin embargo, las causas de la mayoría de los accidentes registrados en una industria, o centro de trabajo en general, están más relacionados con factores de carácter estructural, factores ligados a las instalaciones y factores ligados a las máquinas, herramientas o equipos, más que al manejo de sustancias peligrosas. Los peores casos son combinaciones de los anteriores.

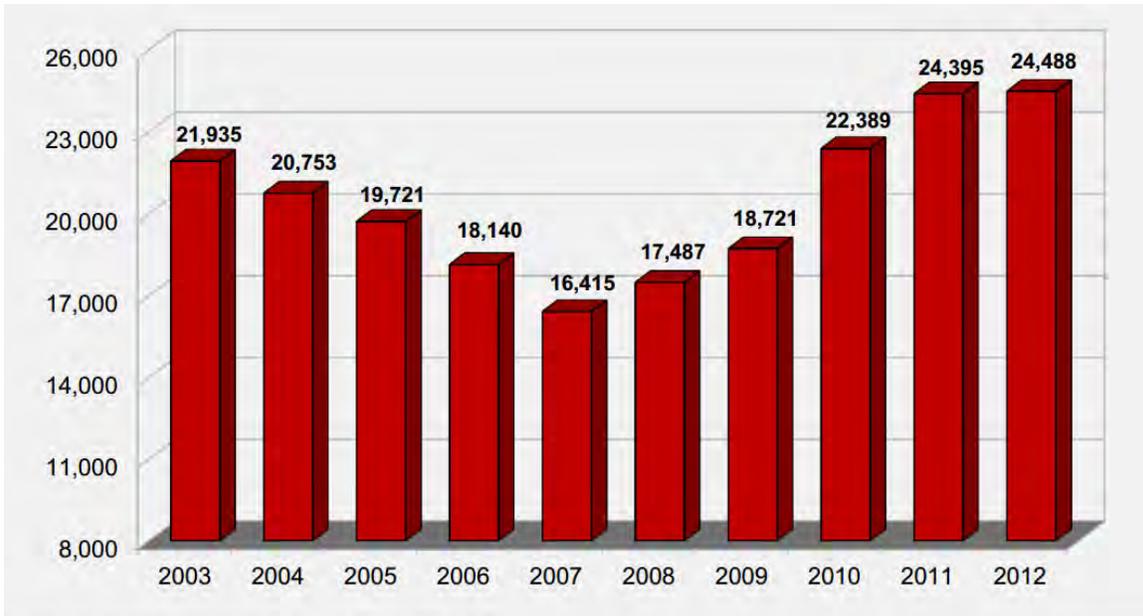
### 3.2 PRINCIPALES CAUSAS DE INCENDIOS EN LOS CENTROS DE TRABAJO

La Secretaría de Trabajo y Previsión Social (STPS), con objeto de transparentar la información recabada respecto a los accidentes y enfermedades de trabajo que acontecen en nuestro país para incentivar la investigación para la prevención de los mismos, pone a disposición del cualquier usuario las estadísticas de los riesgos laborales que dictaminó el Instituto Mexicano del Seguro Social (Memorias estadísticas IMSS, 2003-2012), de las cuales se resalta lo siguiente (ver Fig. 1 y 2):



Fuente: Memorias estadísticas IMSS, 2003 - 2012

*Fig. 1. Evolución de accidentes y enfermedades de trabajo, 2003-2012 Nacional.*



Fuente: Memorias estadísticas IMSS, 2003 - 2012

*Fig. 2. Evolución de incapacidades permanentes 2003-2012 Nacional*

Ambas gráficas muestran un notable incremento de accidentes e incapacidades laborales en los últimos 3 años. Con una cantidad promedio de 15,671,553 trabajadores hasta diciembre del 2012, se registraron casi 439,453 accidentes, 4,853 enfermedades de trabajo, 24,488 incapacidades y 1,152 defunciones.

La Comisión Nacional de Seguros y Fianzas pone a disposición múltiples bases de datos con información estadística de siniestros, entre ellos, los relacionados a incendios, brindando información del movimiento de pólizas, prima emitida, prima retenida, prima devengada, suma asegurada, número y monto de siniestros, entre otras, clasificada por entidad y giro durante el periodo de reporte. La siguiente tabla (ver Tabla 1), muestra las causas de incendio reportadas de Enero a Diciembre de 2012 (CNSF, 2012).

En la Fig. 3, se visualizan cuáles son las cinco principales causas de incendio: actos de personas mal intencionadas (16.2%), corto circuito / electricidad (15%), rayo (14.9%), incendio por lluvia (13.7%) y acción del agua que no provenga en las condiciones adecuadas (6.7%).

Tabla 1. Base de datos 2012. Información estadística de Incendio.

CAUSA DEL SINIESTRO	NÚMERO DE SINIESTROS	%	CAUSA DEL SINIESTRO	NÚMERO DE SINIESTROS	%
Acción del agua que no provenga en las condiciones adecuadas.	1,032	6.7	Durante la soldadura y corte.	1	0.0
Actos de personas mal intencionadas	2,510	16.2	Escape de Materias Inflamables o explosivas	20	0.1
Auto Ignición	59	0.4	Explosión	429	2.8
Caída de antenas	4	0.0	Fallas en el sistema de refrigeración	6	0.0
Caída de árboles	86	0.6	Falta de Mantenimiento	92	0.6
Caída de avión	36	0.2	Falta de suministro de energía eléctrica	42	0.3
Caída de maquinaria o sus partes por rotura de cables	23	0.1	Falta o insuficiencia de drenaje	27	0.2
Caída de nave aérea y objetos caídos de ellos	30	0.2	Fenómenos de la naturaleza	534	3.5
Cerillos y cigarros	9	0.1	Fricción	2	0.0
Combustión espontánea	29	0.2	Guerra	9	0.1
Conmoción Civil	5	0.0	Huelgas, Alborotos Populares	36	0.2
Contenedores e interior de los edificios por deficiencias	55	0.4	Humo o Tizne	36	0.2
Corrosión en tubería	3	0.0	Impacto de vehículos	649	4.2
Corto circuito / Electricidad	2,314	15.0	Incendio por lluvia	2,123	13.7
Daños causados por impericia de trabajo	46	0.3	Material sobrecalentado	294	1.9
Daños en coladeras	3	0.0	Rayo	2,299	14.9
Daños por derrame de sustancias químicas	9	0.1	Remoción de escombros	25	0.2
Derrame de equipo contra incendio	9	0.1	Rotura de techos, vidrios, paredes	253	1.6
Derrame de material fundido	4	0.0	Roturas de tuberías o sistemas de agua	590	3.8
Desbordamiento o desviación de corrientes o depósitos	54	0.3	Vientos tempestuosos	608	3.9
Descargas accidentales de agua o vapor	440	2.8	Otra causa	619	4.0
Desechos orgánicos	2	0.0	<b>TOTAL DE SINIESTROS</b>	<b>15,456</b>	<b>100</b>

De las cinco causas de incendio, es importante mencionar que la lluvia y el agua en condiciones inadecuadas no son causas, sino elementos que propiciaron la propagación de un incendio. En la tabla anterior también se exponen otros elementos

que deben analizarse a profundidad para discernir si son causas o elementos de propagación.

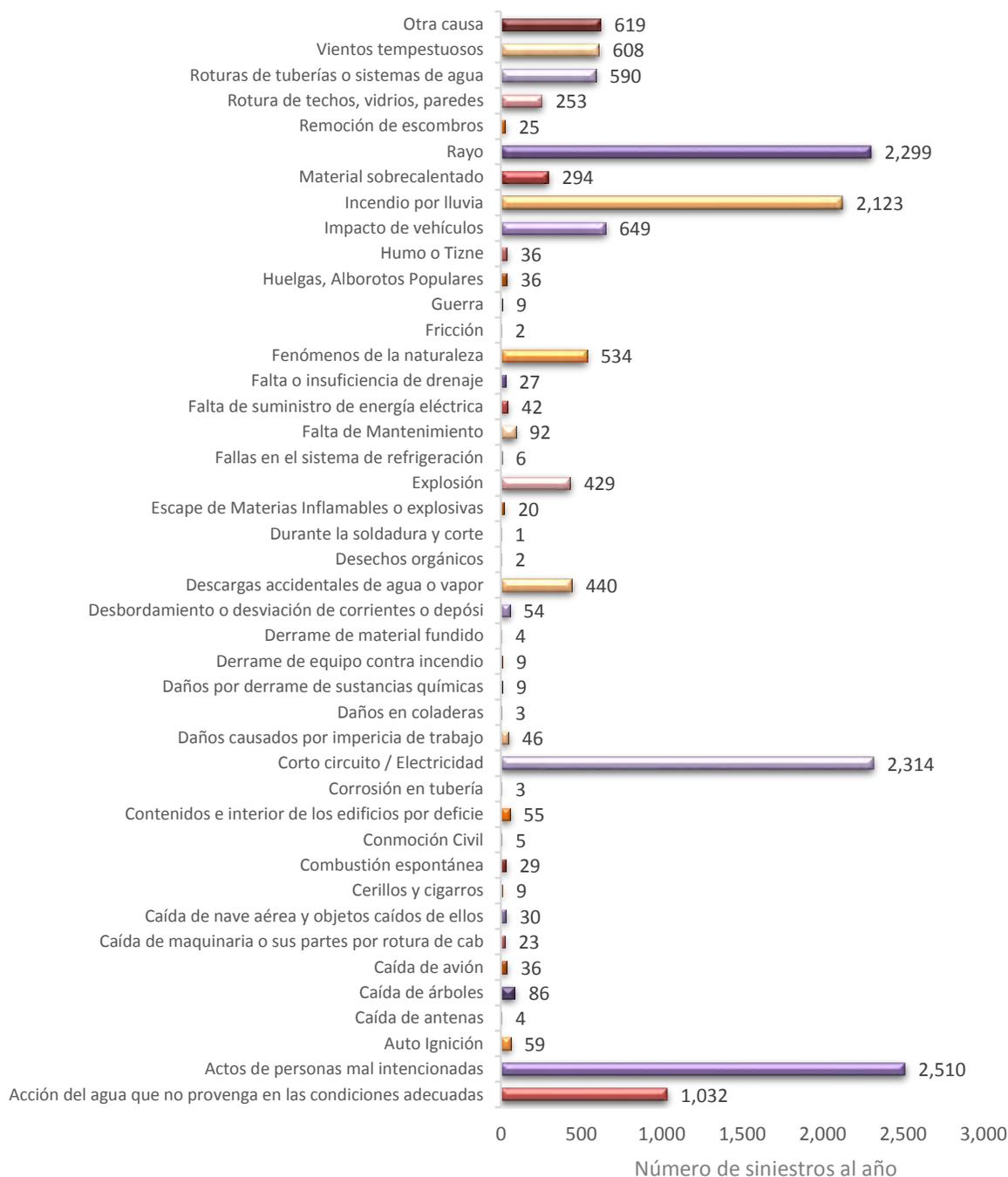


Fig. 3. Causas de Incendio. Base de datos 2012.

Lo interesante de la tabla y gráfica anteriores es señalar las razones por las cuales se provocó un incendio. Se consideran incendios especiales cuando no existe un protocolo o normatividad específica para prevenirlos o confrontarlos, a diferencia de los casos de incendio provocados por fuga o derrame de sustancias químicas que si

poseen. “Los fuegos provocados constituyen una clase de incendio especial. Las causas para provocar deliberadamente un incendio son variadas; fraude, vandalismo, revanchas, motivos políticos, ocultación de crímenes, impulsos de pirómanos y psicópatas. Los fuegos provocados y los sospechosos son de particular importancia, ya que representan la mayor causa de incendios con múltiples víctimas y de aquellos con mayores pérdidas” (Sánchez Meza, 2004, págs. 19-20).

Para enfatizar los daños que puede provocar un incendio, el periódico (Excelsior, 2013) publicó una cronología de los accidentes más graves sufridos por PEMEX desde 1984 hasta 2013, la cual se resume a continuación (ver Tabla 2):

*Tabla 2. Los accidentes más severos de Pemex desde 1984.*

<b>FECHA</b>	<b>CAUSAS ACCIDENTE</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>
31/enero/2013	Explosión de causas desconocidas (supuestamente).	Ocurrida en la sede central de Petróleos Mexicanos (Pemex), que causó 33 muertos y 121 heridos. Es la peor tragedia que sufren instalaciones de la empresa pública en los últimos veinte años.
18/septiembre/2012	Explosión e incendio en una planta de gas de Pemex Exploración y Producción (PEP).	Ubicada a 19 kilómetros de Reynosa, en el nororiental estado de Tamaulipas, que dejó un total de 30 muertos y decenas de heridos.
19/diciembre/2011	Fuga de combustible, explosión y un incendio en un oleoducto de Pemex.	En la población de San Martín Texmelucan, en el estado de Puebla, dejó 30 muertos y 52 lesionados además de 5 mil evacuados y 80 casas afectadas.
23/octubre/2007	Dos plataformas marinas colisionaron en el Golfo de México.	Saldo de 18 personas muertas y dos desaparecidas, y hubo una de las mayores fugas de crudo de un pozo petrolero.
17/octubre/2006	Explosión e incendio del buque tanque Quetzalcóatl.	Anclado en la Terminal Marítima de Pajaritos, dejó ocho muertos, un desaparecido y 14 lesionados.
18/noviembre/1998	Choque de dos helicópteros que transportaban personal de Pemex a las plataformas petroleras en las costas del estado de Campeche.	Accidente en el Golfo de México que dejó un saldo de 22 muertos.
22/abril/1992	Fuga de gasolina de un ducto de Pemex que se vertió al subsuelo y al sistema de drenaje.	Causó una explosión que dejó unos 210 muertos en Guadalajara, Jalisco.
19/noviembre/1984	Fuga de gas provocó una explosión en cadena de varios depósitos de gas en San Juanico, en el Estado de México. Se generó una bola de fuego de centenares de metros en una zona muy habitada.	Dejó, según fuentes oficiales, medio millar de muertos, aunque de manera extraoficial se habló de más de 2 mil.

## 4 ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO

El concepto de administración hace referencia al funcionamiento, la estructura y el rendimiento de las organizaciones. El término proviene del latín *ad ministrare* (“servir”) o *ad manus trahere* (“manejar” o “gestionar”)<sup>2</sup> y básicamente es una disciplina encargada de la gestión de recursos para alcanzar más fácilmente los objetivos definidos por la organización. Una buena administración debe involucrar los siguientes elementos de manera continua y ordenada (ver Fig. 4):



Fig. 4. Ciclo de la Administración

El análisis de riesgos también es un proceso administrativo ya que se ajusta al ciclo previamente mostrado. “La administración de seguridad se orienta hacia un área específica del control de pérdidas, mientras al mismo tiempo se superpone con otras áreas y si es introducida e implantada correctamente tendrá el impacto deseado y profundo sobre el rendimiento” (Control total de pérdidas, pág. 2).

### 4.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS RIESGOS.

En el documento *Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres* (UNISDR, 2009) publicado por las Naciones Unidas en Ginebra, Suiza, se definió la siguiente terminología:

**Riesgo:** Combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Los factores que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad.

<sup>2</sup> Más información en: *Definición de administración - ¿Qué es? Significado y Concepto.* <http://definicion.de/administracion/#ixzz2uGuVofme>

**Amenaza:** es un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales. La amenaza se determina en función de la intensidad y la frecuencia.

**Vulnerabilidad:** son las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza.

Con los factores mencionados se compone la siguiente fórmula de riesgo.

$$RIESGO = AMENAZA \times VULNERABILIDAD$$

Los factores que componen la vulnerabilidad son la exposición, susceptibilidad y resiliencia, expresando su relación en la siguiente fórmula.

$$VULNERABILIDAD = EXPOSICIÓN \times \frac{SUSCEPTIBILIDAD}{RESILIENCIA}$$

El riesgo también puede ser medido mediante la probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado y su impacto tras la materialización del riesgo (grado de afectación) representándose por la siguiente ecuación:

$$RIESGO = PROBABILIDAD \times IMPACTO$$

**Exposición:** es la condición de desventaja debido a la ubicación, posición o localización de un sujeto, objeto o sistema expuesto al riesgo.

**Susceptibilidad:** es el grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso.

**Resiliencia:** es la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas.

Toda acción o decisión llevan inherentes la existencia de riesgos, por tanto, estas deben asumirse con inteligencia. Básicamente con los riesgos solo se pueden hacer dos cosas:

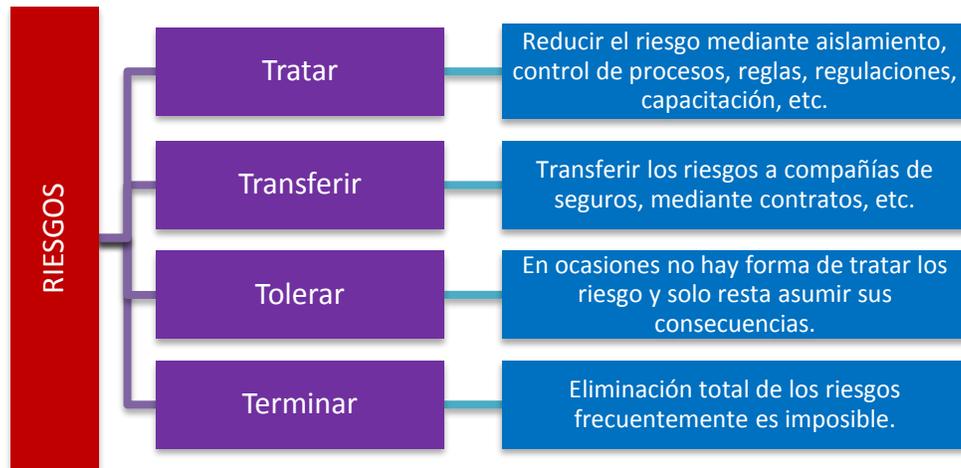
1. Análisis: Para determinar si conviene aceptarlos o no.
2. Evaluación: Para determinar en base al costo-beneficio es conveniente transferirlos o no.

Es función y obligación de los profesionales implicados en la actividad industrial seguir ciertos pasos para lograr:

- “Detectar los riesgos.
- Identificarlos en sus orígenes y consecuencias posibles y probables.

- Medirlos.
- Eliminarlos o atenuarlos reduciendo su frecuencia (probabilidad) y su severidad mediante la prevención en el proyecto y la operación.
- Compararlos con niveles aceptados.
- Eliminar o atenuar sus consecuencias mediante defensa pasiva y activa” (Storch de Gracia, Manual de seguridad industrial en plantas químicas y petroleras., 1998, págs. 193-194).

Lo anterior se complementa considerando una o varias de las opciones que brinda la regla de las 4 T’s (ver Fig. 5):

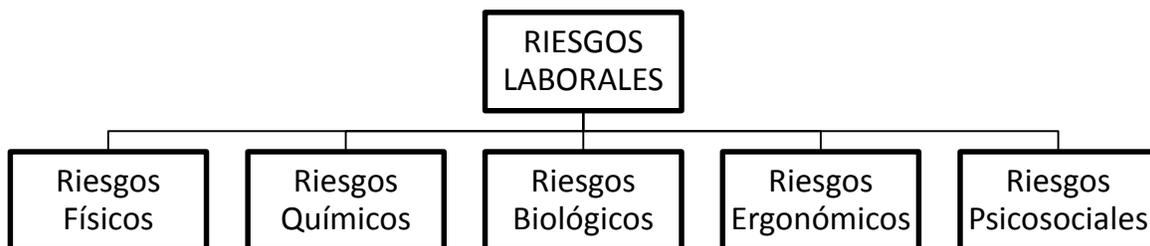


*Fig. 5. Regla de las 4T's para el manejo de riesgos*

#### 4.2 TIPOS DE RIESGOS

Los accidentes no sólo son causados por actos inseguros o negligentes y el prevenirlos o controlarlos no es entera responsabilidad de los empleados, ya que sólo el 15% de los problemas pueden ser controlados por ellos, mientras que el 85% debe ser controlado por la administración (Principio de Pareto).

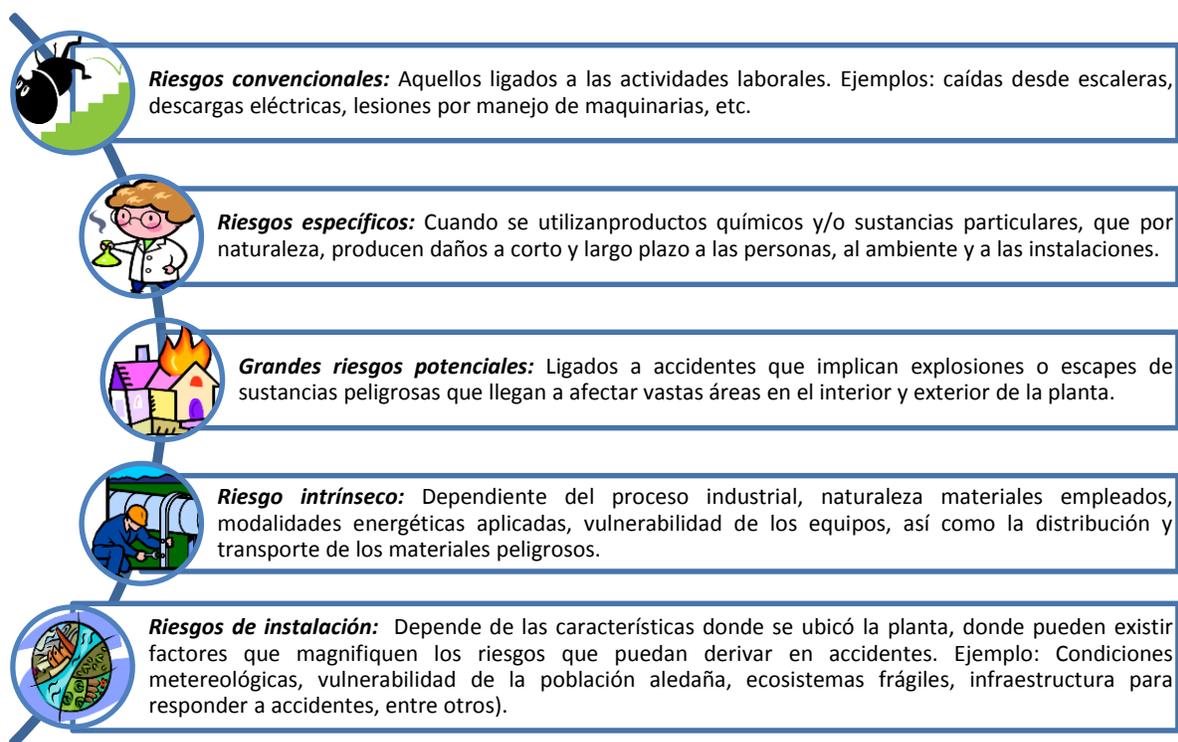
Los riesgos laborales se pueden clasificar del siguiente modo (ver Fig. 6):



*Fig. 6. Clasificación de Riesgos Laborales.*

Por otro lado, el análisis de riesgos en una actividad industrial puede ser clasificado como lo expone el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2001, pág. 162), ver Tabla 3:

*Tabla 3. Definición de los riesgos de origen químico.*



El propósito de la identificación de riesgos en una industria es para obtener información como la siguiente:

1. Localizar las instalaciones industriales que manejan materiales o sustancias peligrosas.
2. Identificar las instalaciones de servicios que usan o almacenan materiales o sustancias peligrosas.
3. Tipo y cantidad de materiales y sustancias peligrosas que se manejan.
4. Identificar las propiedades físicas y químicas de las sustancias peligrosas.
5. Identificar las condiciones de almacenamiento y los sistemas de seguridad.
6. Identificar la trayectoria, longitud y diámetro de las tuberías que transportan sustancias peligrosas.
7. Identificar las rutas de transporte y distribución de sustancias y materiales peligrosos.
8. Identificar y evaluar la naturaleza de los peligros asociados.
9. Conocer la naturaleza de los efectos más probables de acompañar a una liberación de material peligroso: incendio, explosión, nube tóxica, etcétera.

### 4.3 NORMATIVIDAD NACIONAL E INTERNACIONAL RELACIONADA

En todos los países existen leyes y reglamentos relativos a las medidas preventivas y correctivas para la protección contra incendios las cuales engloban los siguientes puntos:

- a) Especificación de agentes extintores según tipos de fuego.
- b) Simulacros de uso de agentes extintores.
- c) Determinación de densidad de aplicación del agente extintor.
- d) Descripción de aplicación del agente extintor.
- e) Disposición y distribución espacial de las unidades de aplicación.
- f) Especificación (normalizada) de los sistemas de aplicación.
- g) Mantenimiento de los sistemas para aplicación.

El conocimiento y consulta de la legislación es imprescindible para el ingeniero o autoridades con jurisdicción que intervienen en los proyectos industriales. “Por una parte deben conocerse los trámites, documentos a preparar y presentar, así como las inspecciones y autorizaciones que son perceptivas” (Storch de Gracia & García Martín , 2008, pág. 233) según establece la legislación vigente. La siguiente figura (ver Fig. 7) muestra la jerarquización de la Legislación Mexicana.

Finalmente, una buena gestión de riesgos involucra una constante comunicación multidireccional y una ardua labor de convencimiento sobre todo en una sociedad como la nuestra que no está acostumbrada a seguir fielmente los procedimientos de seguridad. “Para conseguir buenos resultados hay que establecer continuamente un equilibrio entre la protección privada y la asistencia de los servicios públicos. Así mismo, los códigos de seguridad y los mecanismos para su cumplimiento, deben estar equilibrados; de forma que puedan implantarse sin excesiva imposición” (Sánchez Meza, 2004, pág. 19).

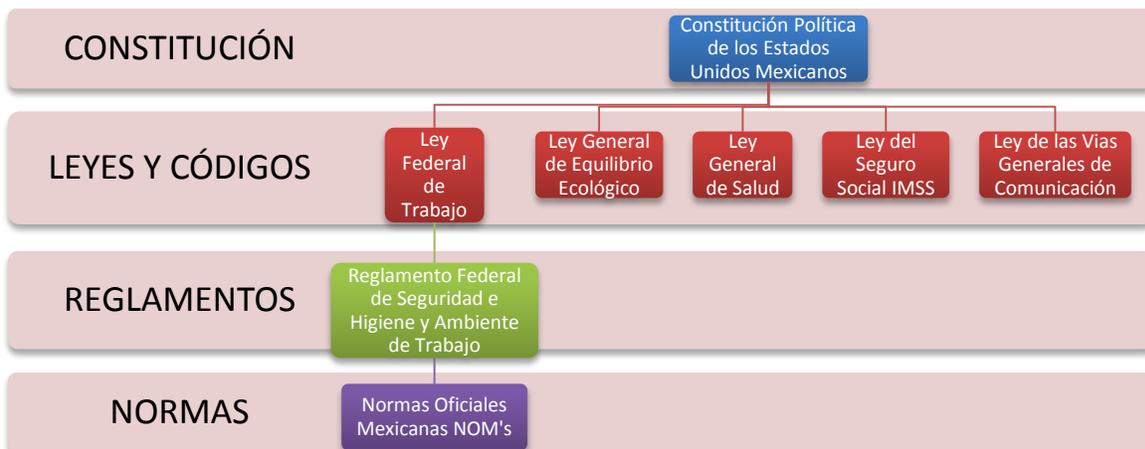


Fig. 7. Legislación mexicana que rige la seguridad laboral.

El Artículo 123 Constitucional establece las condiciones en las relaciones laborales. El Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, en su Título Segundo determina las condiciones de seguridad en el centro laboral, destacando los artículos 26 al 28, que tratan de la prevención, protección y combate de incendios. Los artículos 47 a 51 tratan de las instalaciones eléctricas y del 54 al 75 se habla del manejo, transporte y almacenamiento en general de materiales y sustancias químicas peligrosas. En el [Apéndice III](#) se remarcan algunas Normas Oficiales Mexicanas básicas en relación a la seguridad contra incendios.

La NFPA<sup>3</sup> es una asociación sin fines de lucro, establecida Estados Unidos en 1896, cuyo objetivo es reducir la carga mundial de incendios y otros peligros sobre la calidad de vida, desarrollando más de 300 códigos y normas, de los cuales se destacan los siguientes:

NFPA 10. Clasificación, calificación y desempeño de extintores de incendio.

NFPA 11. Espumas de baja y mediana expansión.

NFPA 12. Sistemas de CO<sub>2</sub>.

NFPA 13. Sistemas de rociadores.

NFPA 14. Sistemas de Rociadores.

NFPA 15. Sistemas de aspersores.

NFPA 16. Sistemas de aspersores agua-espuma.

NFPA 20. Bombas centrífugas.

NFPA 24. Sistemas de hidrantes.

NFPA 25. Mantenimiento de sistemas a base de agua.

NFPA 30. Código de líquidos combustibles e inflamables.

NFPA 70. Código Eléctrico Nacional.

NFPA 72. Sistemas de detección y alarmas.

Si bien el término “nacional” parece acotar su función a su país de origen, la utilización y adopción de los códigos y normas de la NFPA en otros países, sobre todo de Iberoamérica, hace que la acción de la NFPA sea internacional. Los requisitos de las normas NFPA deben entenderse como requisitos mínimos que permiten obtener un nivel de garantía respecto de la salvaguarda de las personas y de los activos de una empresa. Éstos, a su vez, no deben obviar las exigencias de los códigos locales que se encuentran vigentes en una ciudad o un país. En efecto, ante todo debe cumplirse la ley. Por lo tanto, a menos que nos encontremos en uno de los países que han adoptado algunas normas de la NFPA como propias, lo correcto es cumplir tanto los requisitos legales como los requisitos de la NFPA. Con ello estaríamos cubiertos legal y técnicamente.

Por otro lado, con propósito de impulsar, mejorar, legislar, profesionalizar y promover la cultura de prevención, protección y reducción de incendios en nuestro país, a través del desarrollo de normas, códigos, buenas prácticas de diseño, instalación y

---

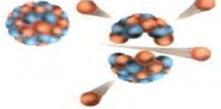
<sup>3</sup> NFPA por sus siglas en inglés, National Fire Protection Association (Asociación Nacional de Protección contra Incendios).

mantenimiento, han surgido organizaciones para lograr dichos objetivos, lo cual facilita la protección de vidas humanas, propiedades y bienes. Algunos ejemplos son la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS) y la Asociación Mexicana de Rociadores Automáticos Contra Incendios. Dichos organismos colaboran con las autoridades federales, estatales, municipales y cuerpo de bomberos revisando y creando reglamentación y normatividad acorde a los parámetros nacionales e internacionales y a la tecnología disponible para la prevención de incendios.

#### 4.4 SISTEMAS DE EXTINCIÓN Y CONTROL DE INCENDIOS

Los incendios se clasifican según el tipo de combustible como se mostró en la Tabla 9 del [Apéndice I](#). A su vez, los agentes extintores se clasifican según su efectividad para combatir un incendio con base al elemento que elimina del tetraedro del fuego. Éstos pueden tener uno o múltiples propósitos de acción como se muestra a continuación (ver Tabla 4):

*Tabla 4. Objetivos de los agentes extintores.*

	<p><b>Enfriamiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimina calor reduciendo la temperatura hasta contrarrestar la ignición del combustible.</li> <li>• Mayor capacidad extintora cuanto mayor sea el calor específico y calor latente de vaporización del agente extinguidor.</li> </ul>
	<p><b>Sofocación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimina o diluye los niveles de comburente (normalmente oxígeno).</li> <li>• Dezplaza el aire en contacto con el combustible ardiente y evita el acceso de aire nuevo.</li> </ul>
	<p><b>Interrupción</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminación o dilución del combustible hasta detener incendio o para evitar su propagación.</li> </ul>
	<p><b>Acción anticatalítica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inhibición química de la llama agregando sustancias que eliminan (combinan) con radicales libres que provocan la reacción en cadena.</li> </ul>

Los *Sistemas para Defensa Contra Incendios* (DCI) son herramientas destinadas a minimizar daños tras haber fallado las medidas preventivas en un siniestro y se clasifican como se expone más adelante en la tabla 6.

Habiendo identificado las sustancias que deterioraban la capa de ozono atmosférico, “en la enmienda del Protocolo realizada en Copenhague en 1992 se estableció la prohibición de la producción de los halones 1301, 1211 y 2402 a partir de 1994” (Torrado del Rey, 2004, pág. 1) que hasta ese momento parecían los mejores agentes extintores (capturan radicales libres) debido a su alto poder de extinción, fácil

proyección y pequeño volumen de almacenamiento. Presentaban una toxicidad muy baja, buena visibilidad y no provocaban daños sobre los equipos electrónicos y eléctricos sobre los cuales se descargaban. La siguiente tabla (ver Tabla 5) resalta los agentes extintores más empleados hoy en día y que sustituyen a los halones.

También deben considerarse medidas pasivas de protección contra incendio para limitar la distribución de llamas y humo a lo largo del edificio y permitir la evacuación ordenada y rápida del mismo. Algunos ejemplos de estas medidas son:

- Compuertas en conductos de aire.
- Recubrimiento de las estructuras (para maximizar el tiempo antes del colapso por la deformación por temperatura).
- Puertas cortafuegos.
- Dimensiones y características de las vías de evacuación.
- Señalizaciones e iluminación de emergencia.
- Compartimentación de sectores de fuego.
- Etc.

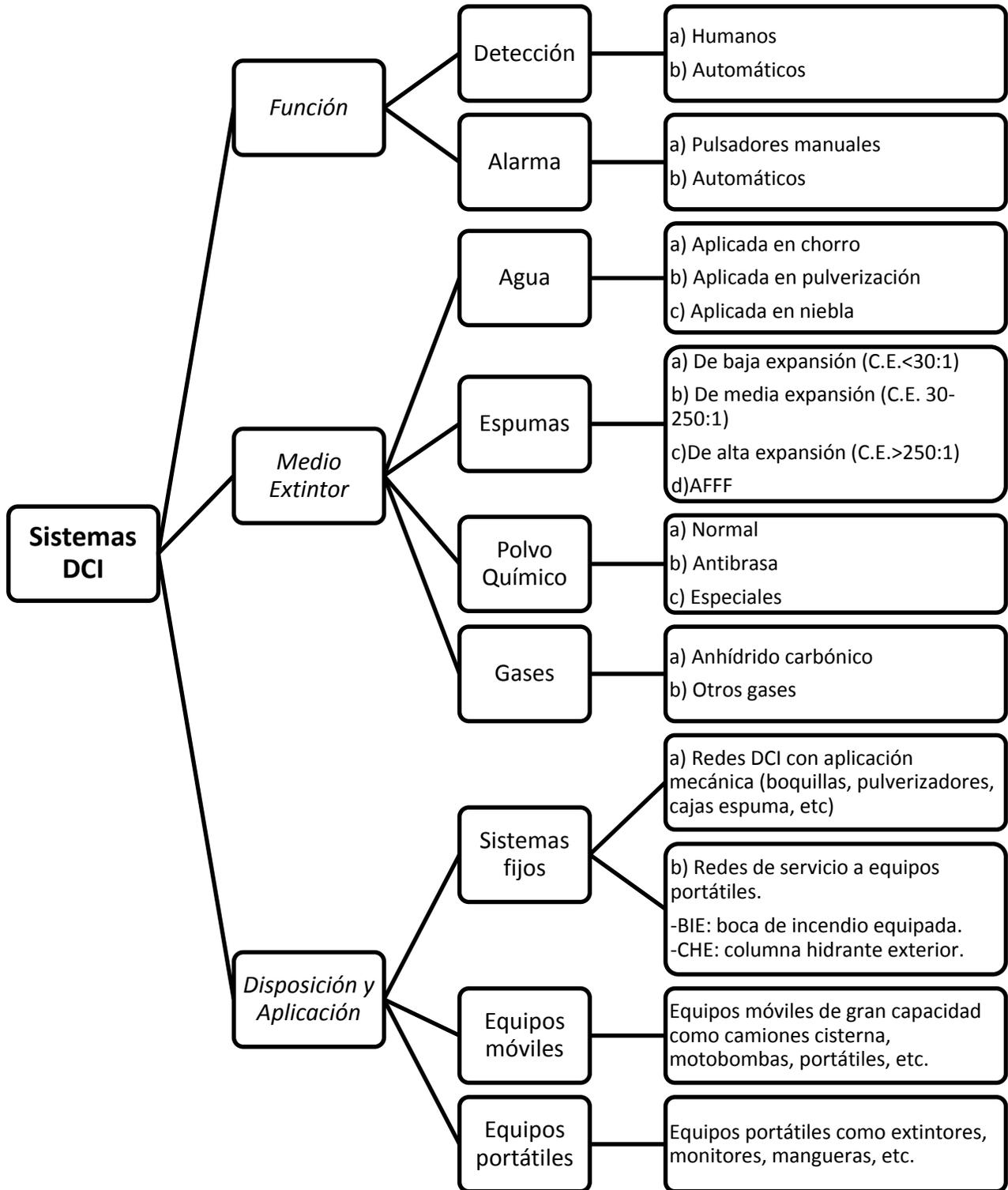
*Tabla 5. Agente Extintor más apropiado según el tipo de fuego.*

CLASES DE FUEGO		AGENTES EXTINTORES							Forma de acción	Observaciones
Identificación	Materiales combustibles	Agua	Espuma AFFF <sup>4</sup>	Polvo químico		CO <sub>2</sub>	Polvos especiales			
				Potásico	ABC <sup>5</sup>					
	Papel, madera, cartón, textil, desperdicios, etc.	SI	SI	NO	SI	NO	NO	Enfriamiento. Interrupción de reacción en cadena. Sofocación.		
	Nafta, gasolina, pintura, aceites y otros líquidos inflamables.	NO	SI	SI	SI	SI	NO	Interrupción de reacción en cadena. Sofocación.	No usar agua en chorros, sólo en niebla.	
	Butano, propano y otros gases.	NO	NO	SI	SI	SI	NO			
	Equipos e instalaciones eléctricas.	NO	NO	SI	SI	SI	NO	Interrupción de reacción en cadena. Sofocación.	No usar agua o espuma (son buenos conductores de corriente)	
	Metales combustibles, magnesio, sodio, etc.	NO	NO	NO	NO	NO	SI	Absorción de calor. Sofocación.	No usar extintores comunes. Seleccionar el producto adecuado para cada metal.	

<sup>4</sup> AFFF (del inglés, Aqueous Film Forming Foam), es una espuma que forma una película acuosa, la cual se deposita sobre la superficie de un hidrocarburo combustible, impidiendo su evaporación y contacto con el oxígeno del aire para así extinguir un incendio.

<sup>5</sup> Mejor conocido como polvo químico universal o polivalente – ABC, debido a su efectividad para combatir fuegos clase A, B y C. Usualmente se componen de fosfato mono amónico al 75% y otros, como sales pulverizadas. Es un supresor de oxígeno y su uso es de alto riesgo al ser altamente corrosivo.

Tabla 6. Sistemas de Detección Contra Incendio



\*C.E. es el coeficiente o índice de expansión de una espuma, lo cual indica su capacidad de generar mayor o menor volumen de espuma a partir de la misma cantidad de espumante. El índice 30:1 indica que con 1 litro de espumante pueden generarse 30 litros de espuma después de añadirle aire.

## 5 NFPA 551. EVALUACIÓN DE ANÁLISIS DE RIESGOS DE INCENDIO

---

El Análisis de Riesgos de Incendio o FRA<sup>6</sup> es una guía auxiliar en la selección y evaluación de los métodos de identificación de riesgos, principalmente en un entorno normativo basado en el desempeño. Se dirige a autoridades con jurisdicción donde se describe el proceso de revisión técnica y la documentación que se necesita.

**Alcance:** Aunque esta guía está destinada a prestar asistencia, sobre todo, a las autoridades competentes y con jurisdicción, denominadas AHJ<sup>7</sup>, también es útil a otras personas que revisan los FRA, como representantes de la compañía de seguros y propietarios de edificios. Esto facilitará el estudio de la viabilidad y ejecución de un FRA para un problema dado de seguridad contra incendios.

**Propósito:** Brindar ayuda en la evaluación de los métodos FRA aplicados principalmente en el desempeño del ambiente regulatorio. No establece los métodos para la utilización en la demostración de riesgo aceptable, sino que describe el proceso de revisión técnica y la documentación que se necesitan en la evaluación de un FRA.

**Aplicación:** Destinada para aplicarse en la evaluación de las soluciones basadas en el desempeño, los estudios, las equivalencias de códigos o en el desarrollo de evaluaciones para el cumplimiento regulatorio utilizando métodos FRA.

**General:** FRA se puede utilizar como herramienta para centrar la atención en lo que es importante para la seguridad contra incendios. Cuando los resultados y las conclusiones de los FRA se consideran junto con otros factores, esto se refiere a menudo como la toma de decisiones informada por el riesgo. Por tanto, el FRA tiene amplia aplicación para abordar las cuestiones de seguridad contra incendios.

**Responsables:** Las partes interesadas del FRA se deben identificar al principio del proceso. Incluyen todos aquellos que tienen una seguridad financiera personal, la seguridad pública, o interés normativo en el riesgo de incendio. Los intereses de quién puede solicitar incluyen, entre otros, los siguientes: Reguladores, los propietarios y los operadores de las instalaciones, los empleados, los equipos de emergencia, las aseguradoras, los vecinos, la comunidad, los inversionistas, el equipo de diseño y construcción, los preparadores de FRA y los inquilinos.

Es importante considerar a todas las partes interesadas durante la planeación, particularmente cuando los intereses entran en conflicto. Deben participar en el establecimiento de los objetivos de la FRA para asegurar que los resultados provean bases apropiadas y creíbles para la toma de decisiones. Para la revisión de un

---

<sup>6</sup> FRA por sus siglas en inglés Fire Risk Assessment. El término en español se definió como Análisis de Riesgos de Incendio ya que es un proceso para caracterizar el riesgo asociado al diseño de posibles escenarios de incendio.

<sup>7</sup> AHJ por sus siglas en inglés Authority Having Jurisdiction. Entiéndase como la autoridad competente, la cual puede ser desde una organización o una persona, responsables de hacer cumplir las disposiciones de un código o norma, o para la aprobación de equipos, materiales, instalaciones o procedimientos.

proyecto es recomendable aplicar un Análisis de Riesgos de Incendio (FRA) siguiendo los siguientes pasos (ver Fig. 8):

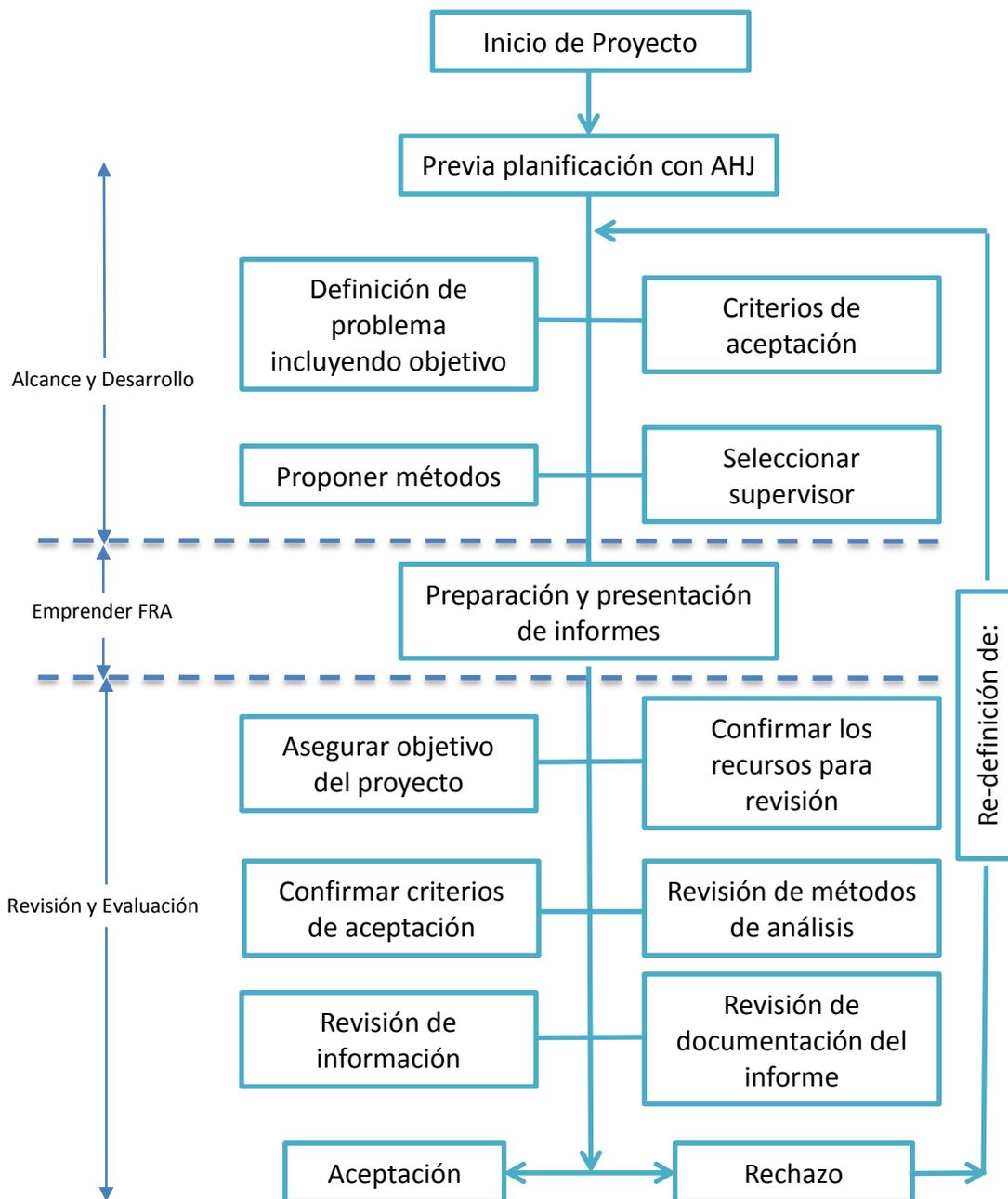


Fig. 8. Esquema general para la revisión de procesos.

**Evaluación FRA:** Este debe ser un proceso colaborativo a través de las partes interesadas. Para evaluar un FRA apropiadamente, los supervisores deben ser introducidos al proyecto tan temprano como sea posible.

**Participación de la AHJ:** Deben estar involucrados en los siguientes pasos del proceso: definir el problema, elaborar criterios de aceptación, seleccionar el método, revisar el proceso, detallar la revisión y finalmente aprobar si es viable y adecuado.

**Definir el Proceso de Revisión:** La AHJ deberá definir su rol en la revisión directa del FRA. En función de la experiencia y los recursos, la AHJ puede llevar a cabo la revisión. Alternativamente, la AHJ puede utilizar un tercero para realizar la revisión.

**Detalles de la Revisión:** Cuando revisamos un FRA, la AHJ debe comprobar si los supuestos, la construcción, las características del edificio, de los ocupantes y del fuego son utilizados en el análisis aceptablemente reflejando las condiciones reales.

**Aprobación Final:** La aprobación final del FRA recae en la AHJ.

## 5.1 ALCANCE DE LOS FRA'S.

El principal objetivo del FRA es identificar el nivel de riesgo presente en un edificio o instalación, nueva o existente, para generar métodos que reduzcan o proporcionen un nivel de riesgo aceptable considerando las características y funciones de la construcción, así como, las expectativas del dueño respecto a la seguridad contra incendios durante un tiempo específico o durante toda la vida útil del edificio. Estos objetivos de protección del FRA también deberán estar enfocados a:

1. Reducir riesgos para la vida. Esto engloba tanto a los ocupantes del edificio o instalación, así como a los externos encargados de combatir un incendio (bomberos).
2. Reducir riesgos para el ambiente.
3. Reducir el riesgo de pérdida de los recursos culturales.

**Elementos de riesgo:** Todos los elementos expuestos deben ser identificados, incluyendo:

- a) Personas (ocupantes, empleados, público en general, personal de emergencia, entre otros).
- b) Propiedades (estructuras, sistemas, componentes del entorno construido, entre otros).
- c) Medio ambiente (parques nacionales, monumentos, materiales peligrosos, entre otros).
- d) Misión (patrimonio, continuidad del negocio, información, comunicación, entre otros).

Así mismo, habiendo identificado los elementos de riesgo, debe estimarse su vulnerabilidad ante el fuego y sus componentes o consecuencias, tales como:

- El calor (llama radiante, gases de convección, etc.).
- Humo (Oscurecimiento, desplazamiento de oxígeno, corrosión / conductividad de aerosoles).

- Gases (tóxicos, corrosivos).
- Explosiones (sobrepresión, proyectiles).

## 5.2 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

La definición de los criterios de aceptación deben especificar todos los riesgos que han de ser abordados y como se han de medir para influir en la selección de los métodos FRA más apropiados. Los valores de riesgo podrán ser cualitativos o cuantitativos. Las medidas establecidas y acordadas por las partes interesadas y las AHJ, deberán arrojar resultados que faciliten la toma de decisiones. Dentro de dicho contexto, estos resultados podrán ser relativos o absolutos.

Los criterios de aceptación deberán también incluir lo siguiente:

- a) Reglamentos de prescripción
- b) Reglamentos de ejecución
- c) Otros criterios acordados
- d) Estándares y guías

El FRA debe presentar conclusiones acorde a los objetivos establecidos.

**Selección del método:** Acorde a los objetivos definidos para el FRA, este deberá incluir una breve descripción de la metodología de resolución, cálculos numéricos (incluyendo la identificación de las unidades usadas) y la indicación de las fuentes de referencia y ecuaciones aplicadas (modelos probabilísticos o deterministas).

**Datos:** Apropriados para el problema y método seleccionado. De calidad suficiente para apoyar la toma de decisiones. Sus alcances y limitaciones deberán ser documentados, así como cualquier suposición u omisión de información. Las fuentes deben estar indicadas.

**Incertidumbre y Análisis de la variabilidad:** El FRA debe incluir una evaluación de incertidumbre y variabilidad en los métodos, modelos, datos y supuestos aplicados u obtenidos. Esto proporcionará una seguridad razonable para el cumplimiento de los criterios de aceptación.

## 5.3 SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS PARA FRA.

**General:** Permite evaluar riesgos en términos de probabilidad y consecuencias y, establece los alcances del FRA en términos del sistemas y de los escenarios de incendio. Considera los cambios relativos de diferentes alternativas de diseño más que de los valores absolutos.

**Probabilidad y Consecuencias:** La evaluación de los escenarios de incendio se realiza en base a la:

- a) Evaluación de la probabilidad en base a eventos pasados (estadísticas) o combinando los conocimientos disponibles aplicando tratamientos matemáticos para eventos donde la incertidumbre y variabilidad son altos.
- b) Evaluación de las consecuencias en base al conocimiento de expertos (índices de riesgo), modelos probabilísticos o por modelado determinista.

Esto implica que existen métodos enfocados a brindar alternativas de diseño para alterar la probabilidad de los eventos o para evaluar el impacto y consecuencias de diferentes soluciones de diseño asumiendo que el evento sucederá.

Dependiendo del objetivo, el FRA puede considerar la evaluación de un concepto o sistema de riesgo o varios de estos simultáneamente:

- a) *FRA sistema único*: Implica la evaluación de los impactos de los riesgos dados frente a los cambios de un sistema de protección contra incendio. Por ejemplo, la presencia o ausencia de un sistema de rociadores automáticos o de un sistema de alarmas. Se recomienda comparar un sistema de protección contra incendios contra otro similar variando los atributos del sistema y la efectividad de supresión de incendio respecto al tiempo.
- b) *FRA sistemas múltiples*: Implica la evaluación de los riesgos, dados los cambios en una serie de sistemas de protección contra incendio, tanto activa como pasivamente. Por ejemplo, sistemas de evacuación, sistemas de alarmas, formación y educación de los ocupantes. Se recomienda evaluar el impacto global sobre el riesgo de incendio en función de la disponibilidad, fiabilidad y funcionamiento de los sistemas activos y pasivos de protección.

**Escenarios de incendio:** El FRA debe abordar la contribución de todos los escenarios de riesgos potencialmente significativos de incendio. Cuando se utilizan aproximaciones (por ejemplo, la contribución de riesgos de un escenario único de fuego se utiliza como base para estimar el riesgo de una mayor variedad de escenarios de incendio), las aproximaciones deben justificarse en el contexto del problema de decisión.

Los siguientes son ejemplos de un escenario típico para protección personal contra un incendio:

- a) *Ignición del fuego*
- b) *Crecimiento del fuego*
- c) *Propagación del humo*
- d) *Exposición de los ocupantes*
- e) *Falla en la respuesta del departamento contra incendios (bomberos)*

**Selección de escenarios de incendio:** El objetivo es encontrar un conjunto de escenarios que sean lo bastante diversos y representativos para capturar el riesgo de incendio general para la instalación. De cada conjunto de escenarios, se selecciona un escenario representativo para realizar un análisis de consecuencias.

La probabilidad por tal es la suma de las frecuencias de los escenarios individuales en el conjunto.

## Métodos FRA

Existen cinco categorías para elegir el método FRA adecuado dependiendo al nivel de complejidad y la información disponible, las cuales se muestran a continuación (ver Tabla 7):

*Tabla 7. Categorías de Análisis de Riesgos contra Incendio (FRA).*

<b>CATEGORÍA</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>EJEMPLOS</b>
<i>Métodos cualitativos</i>	Define la probabilidad y consecuencias de forma cualitativa	Tabulación de los resultados y la probabilidad relativa de varios casos de incendio y cómo se ven afectados por diversas opciones de protección.	1) Análisis What If... o ¿Qué pasa si...? 2) Matrices de riesgo. 3) Índices de riesgo. 4) Árbol de decisiones para la seguridad contra incendios.
<i>Métodos probabilísticos semicuantitativos</i>	Define la probabilidad de forma cuantitativa y las consecuencias de forma cualitativa.	Determinación de la frecuencia de ocurrencia de los diferentes tipos de incendios y / o incendios con diferentes tipos de protección.	1) Análisis estadístico actuarial de pérdidas. 2) Análisis independiente de árbol de eventos
<i>Métodos consecuencias semicuantitativos</i>	Define cuantitativamente las consecuencias y cualitativamente las probabilidades.	Modelo determinista que define cualitativamente la probabilidad de un incendio.	Modelos de incendio considerando incendios especiales seleccionados.
<i>Métodos cuantitativos</i>	Define cuantitativamente la probabilidad y las consecuencias.	1) Determinación de la expectativa de pérdida. 2) Determinación de la probabilidad de descargas eléctricas. 3) Determinación de la probabilidad de accidentes mortales en cuartos o pisos del edificio. 4) Diagrama de frecuencias en función del número de víctimas mortales 5) Diagrama de la frecuencia frente al tamaño de la pérdida. 6) Determinación de la probabilidad de lesiones, muertes, daños a la propiedad, y la interrupción del negocio 7) Determinación del riesgo individual (para los ocupantes del edificio) y de riesgo social (para toda la población).	1) FRA para determinar la probabilidad de fusión nuclear debido a un incendio en una planta de energía nuclear. 2) Análisis de árbol de sucesos combinados con modelos de incendios.

<p><i>Métodos de riesgo costo-beneficio</i></p>	<p>Incluye la determinación de los costos de los métodos alternativos para limitar las consecuencias y / o probabilidades.</p>	<p>1) Determinación de costos requerido en lograr varios niveles de reducción de riesgos. 2) Determinación del nivel "óptimo" de protección contra incendios basado en la minimización de "riesgo general" o algún otro criterio de riesgo.</p>	<p>Los modelos computacionales que incorporan la probabilidad, las consecuencias y los datos de costos de una manera integrada.</p>
---	--	---	---

Para elegir un análisis de riesgos contra incendios especiales, en los cuales no se posee una norma, reglamento o protocolo autorizado que justifique el procedimiento a seguir se deben considerar los siguientes factores:

1. Se deben establecer objetivos explícitos hacia las partes interesadas antes de seleccionar un método o categoría en particular y así acordar los criterios de aceptación. En caso de existir, pueden considerarse antecedentes adecuados para facilitar la selección.
2. El alcance del FRA debe ser coherente a las necesidades de los usuarios y responsables de la toma de decisiones, así como a los objetivos generales planteados. Debe especificarse la metodología de selección del o los escenarios de incendios más representativos que serán evaluados y documentar las guías de cálculo junto con las consideraciones planteadas.
3. En caso de existir y ser necesario, deberán realizarse litigios y/o consideraciones regulatorias procedentes de casos similares para adoptar los tipos de medidas de riesgo que deben evaluarse y como deben verificarse.
4. Será necesario determinar los recursos y datos disponibles, delimitar costos y tiempo, asignar personal capacitado, y estar preparado para abordar las dudas.
5. Durante las determinaciones de riesgos, es pertinente abordar la incertidumbre y la variabilidad asociada. A veces éstas se tratan cualitativamente (tal vez en términos de nivel de confianza), y en otras ocasiones, se les direcciona cuantitativamente. Las estimaciones cuantitativas pueden ser particularmente útiles en situaciones complicadas cuando los efectos acumulativos de las incertidumbres en diferentes partes de la FRA son difíciles de evaluar.

#### **5.4 DISPONIBILIDAD, CALIDAD Y APLICABILIDAD DE LOS MÉTODOS FRA.**

Al implementarse un método FRA, debe considerarse su disponibilidad, es decir, cómo la información puede ser obtenida por un usuario, sobre todo cuando los métodos están patentados o son desconocidos, y que por consiguiente, pueden ser difíciles de revisar o de verificar. La calidad o eficacia de un método se basa en su aplicabilidad y adecuación respecto a los principios de ingeniería de incendio más convenientes para alcanzar los fines convenidos.

**Entradas.** Los valores para definir los parámetros son necesarios antes de implementar un método y deben considerar la cantidad y disponibilidad de datos existentes. Si se omiten o aplican valores no especificados, estos supuestos deben ser evaluados.

**Suposición.** El método debe describir claramente las suposiciones hechas en el modelo. Éstas ayudarán al responsable a ver si el modelo y si el método asociado se puede utilizar para una aplicación determinada.

### **5.5 EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD, LA DISPONIBILIDAD Y LA EFICACIA.**

Los métodos de análisis deben abordar la confiabilidad, la disponibilidad y la eficacia de la protección contra incendios y otros sistemas clave como parte del FRA. Estos elementos son necesarios para evaluar la probabilidad de éxito de las estrategias de mitigación.

La eficacia de los equipos de protección contra incendios, características, programas y procedimientos cambia con el tiempo. La FRA debe considerar cómo estos cambios pueden afectar el riesgo. Igualmente, los métodos deben ser considerados, tanto por los resultados aplicados al ámbito del FRA como por la claridad con que se comunican las salidas.

### **5.6 INTEGRIDAD, SOLIDEZ Y LA PROFUNDIDAD DE LOS MODELOS.**

Que tan bien un modelo se aplica a todos los parámetros de control, la eficacia con que el método basado en el modelo puede funcionar sin problemas, y como ambos cubren el abanico de factores que intervienen en la FRA debe ser considerado en la selección, aplicación y la revisión de los métodos.

Aunque la validación de un método de FRA es difícil debido a la predicción de acontecimientos improbables que requieren una gran base de datos y una mayor escala de tiempo, la selección de un método debe tener en cuenta las medidas tomadas para validarlo. Esto se logra mediante la comparación de su modelo de probabilidad con la información estadística o experiencia y su modelo consecuencia con los datos experimentales u otros modelos matemáticos validados.

## 6 ÁRBOL DE DECISIONES EN LA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS

---

La NFPA 550 es una guía informativa con disposiciones no obligatorias que describe la estructura, aplicación y limitaciones del Árbol de Decisiones para concretar la Seguridad contra Incendios, permitiendo complementarla con alternativas propias basadas en los principios de ingeniería de protección contra incendios.

Su principal característica es su método integral y flexible, ya que relaciona el campo de la prevención y el del control de los daños causado por un incendio, examinando sistemáticamente todos sus elementos en conjunto y así generar mejores estrategias para el combate de incendios. Esto le permite detectar vacíos o excesos de protección, eliminando o creando redundancias donde sea pertinente.

**Propósito:** Brindar herramientas de asistencia a los profesionales en combate de incendios en relación a los conceptos de seguridad y protección, analizando códigos y estándares y, facilitando el desarrollo de diseños por desempeño.

**Aplicación:** Provee un procedimiento general el cual permite analizar el impacto potencial de estrategias para la protección contra incendios.

**Aprobación:** Aplicable por cualquier autoridad con jurisdicción tales como organizaciones o individuos responsables para reforzar los requerimientos de un código o estándar, o para la aprobación de equipo, materiales, instalaciones o procedimientos.

**Guía:** Este es un documento regulatorio e informativo en origen y que contiene solo provisiones no mandatorias que permiten realizar un análisis cualitativo de los riesgos.

**Estructura general:** Muestra las relaciones entre la prevención de fuego y las estrategias para control de daños.

**Comunicaciones:** Siendo una sencilla representación visual de todos los conceptos de seguridad contra incendios incorporados en códigos y estándares, esta guía se puede utilizar como medio de comunicación entre especialistas de seguridad contra incendios y terceros, ayudando a identificar la función dentro de cada requisito específico.

### 6.1 PREVENCIÓN DE LA IGNICIÓN DEL FUEGO

Dada la complejidad del árbol de decisiones en la seguridad contra incendios este debe analizarse parte por parte para su mejor comprensión. A continuación se presenta la parte raíz que fundamenta la esencia de esta guía (ver Fig. 9).

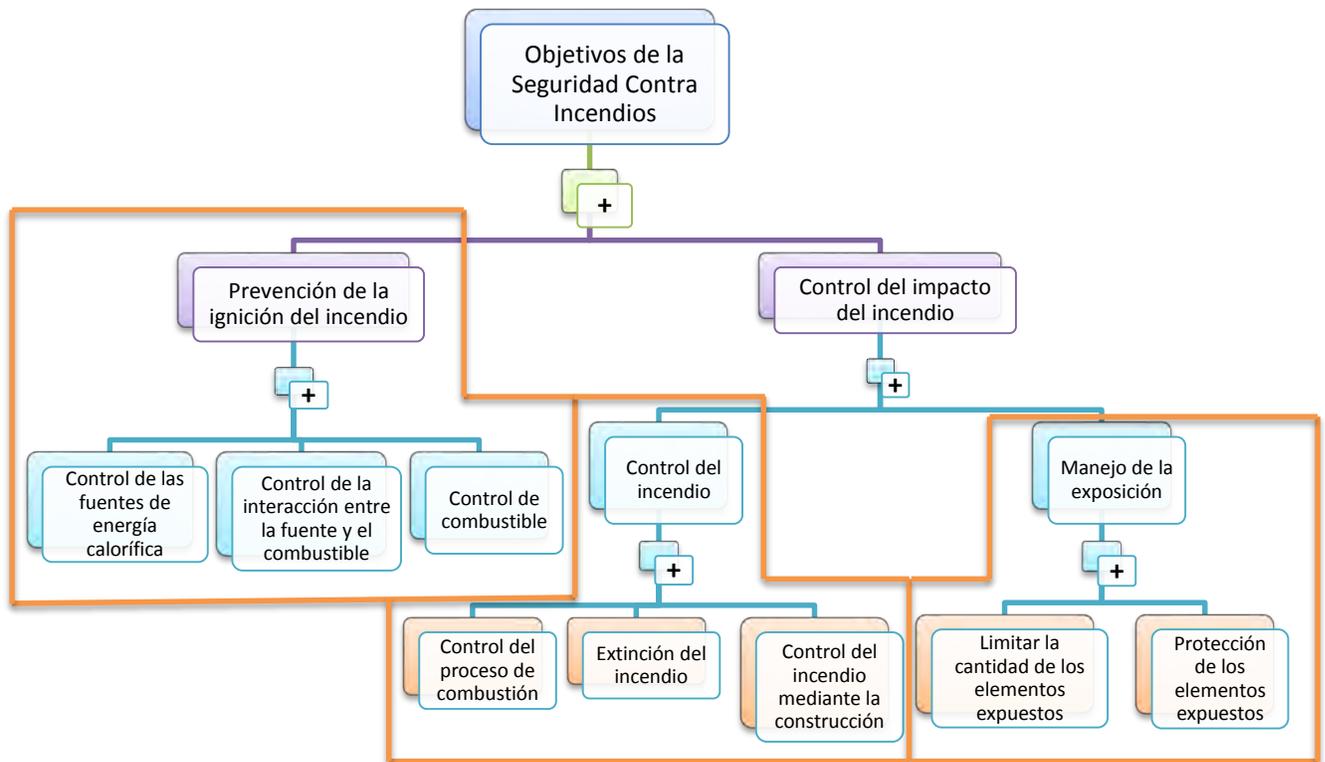


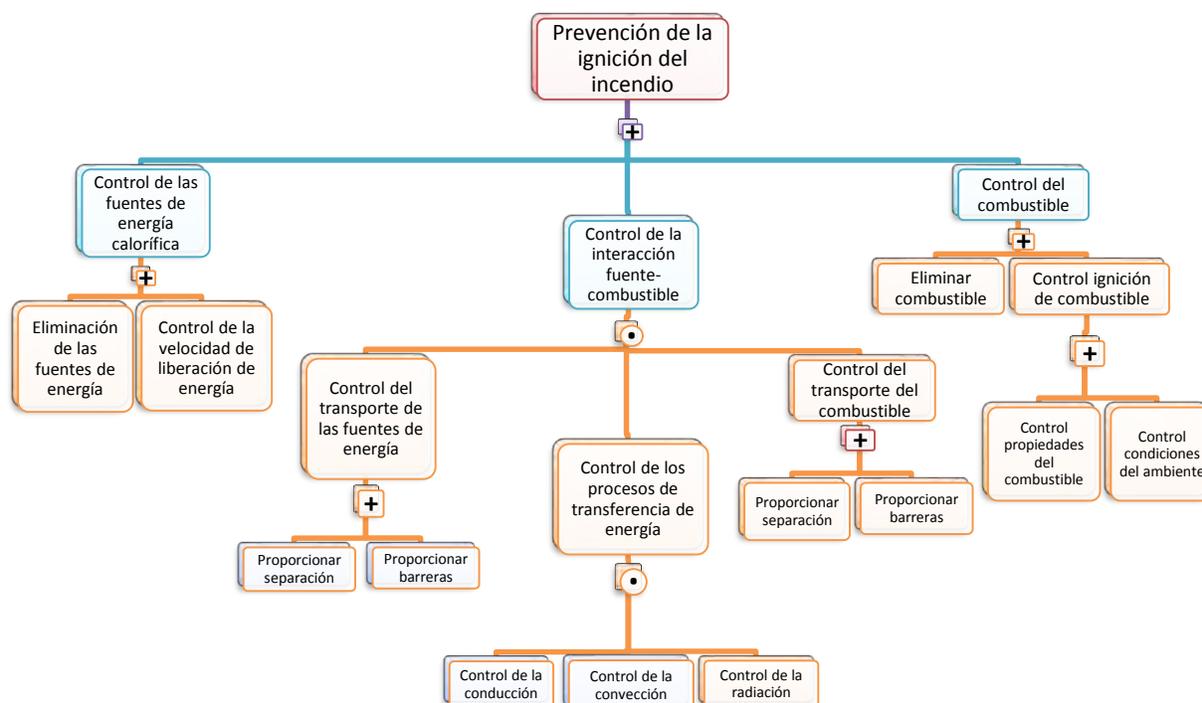
Fig. 9. Principales operadores del árbol de decisiones para la seguridad contra incendios con Tres Operadores Inferiores Seleccionados.

En la figura anterior, partimos de los objetivos de la seguridad contra incendios los cuales se dividen en dos categorías: Prevención de la ignición del incendio y el Control de la magnitud del incendio. Los signos de suma (+) deberán interpretarse como la conjunción coordinante “o”, lo cual significa que ambas categorías pueden ejecutarse, pero solamente una de ella (más todos sus elementos) es necesaria. Sin embargo, la probabilidad de conseguir los objetivos de seguridad contra incendios se incrementa siguiendo ambos caminos simultáneamente, por tal se recomienda adicionar más estrategias combinando ambas categorías.

Para toda sustancia o material combustible expuesto a una fuente de calor externa, se alcanza una determinada presión y temperatura (punto de ignición) en las cuales, el calor desprendido por la oxidación es suficiente para mantener la ignición aún eliminada la fuente de calor. Los líquidos o sólidos requieren del aumento de su temperatura superficial hasta que se desprendan vapores a una velocidad suficiente para seguir manteniendo la llama. “Los combustibles líquidos pueden clasificarse según su punto de inflamación o temperatura mínima a la que puede existir un vapor o una mezcla de aire inflamable en la superficie (es decir, la presión del vapor corresponde al límite inferior de inflamabilidad) [...] Estos conceptos se aplican asimismo a los sólidos combustibles, aunque en éstos las temperaturas son más altas debido a las exigencias de la descomposición química. El punto de ignición se

encuentra normalmente por encima de 300 °C dependiendo del combustible.” (Grant, 1998, pág. 41.3).

Durante la prevención de la ignición del incendio es menester considerar tres aspectos importantes: las características de la fuente de energía calorífica, las propiedades del combustible, así como las interacciones entre éstos. Desglosando la sección para “Prevenir la Ignición del Incendio” (ver Fig. 10) que forma parte del *Árbol de Decisiones para la Seguridad Contra Incendios*, podemos concluir lo siguiente:



*Fig. 10. Rama del Árbol de Decisiones en la Seguridad Contra Incendios para la Prevención de la Ignición de un incendio.*

Para prevenir una ignición, es preciso controlar el o los suministros de energía calorífica y del combustible. Un paso muy sencillo para lograrlo es eliminando ambos o cualquiera de los dos, sin embargo, esta no siempre es una opción. Otra alternativa es controlar su impacto conociendo sus propiedades. En el caso del suministro de energía se recomienda utilizar barreras o separaciones; en el caso del combustible, es preciso conocer sus propiedades físico-químicas para modificarlo y evitar una ignición inesperada por su alta reactividad o alterar su entorno ambiental en caso de que éste no sea el apropiado.

Cuando ambos elementos, la fuente de energía y el combustible, han entrado en contacto de forma imprevista, esto implica un gran riesgo y deben contrarrestarse a la brevedad los efectos de su interacción. Como se muestra en la Fig. 14, el símbolo

de punto (·) deberá interpretarse como la conjunción coordinante “y”<sup>8</sup>. Esto implica que los siguientes puntos deben aplicarse sin excepción para evitar un incendio. Es necesario prevenir un exceso de transferencia de calor al combustible supervisando los procesos de transferencia de energía (ver Sección 8.5). También debe evitarse mover o ubicar el combustible cerca de las fuentes de calor y viceversa. Todos estos conceptos son necesarios para conseguir el control de la interacción entre las fuentes y el combustible; no se trata de una redundancia.

## 6.2 CONTROL DEL IMPACTO DEL INCENDIO

La segunda categoría referida al *Árbol de decisiones para la Seguridad Contra Incendios*, involucra la mitigación de un incendio. Para ello, es importante controlar los factores o elementos generadores de un incendio y contrarrestar sus efectos desfavorables.

En la siguiente figura (ver Fig. 11), se expone el “Control del Impacto del Incendio”, el cual considera generar estrategias enfocadas al “Control del incendio” o al “Manejo de la exposición”.

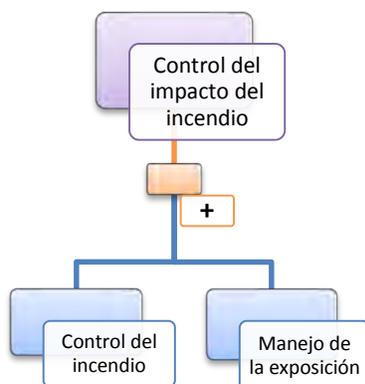


Fig. 11. Ramas principales del Control del impacto de Incendio.

### Control del Incendio

En el “Control del incendio” se pretende reducir la probabilidad de la evolución y propagación de un incendio (ver Fig. 12), así como, la reducción de los daños. Para ello será necesario *controlar el proceso de combustión* alterando las propiedades o concentración del combustible o comburente (niveles de oxígeno en la mayoría de los casos) o alterando las condiciones ambientales. También se puede *controlar el*

<sup>8</sup> Los símbolos más y punto, se usan para los operadores “o” e “y”. Son símbolos estándar para operaciones lógicas, que se utilizan en diagramas de circuitos electrónicos y álgebra de Boole. Se derivan del álgebra de probabilidades.

*incendio mediante la construcción* de barrera o contenedores. El caso más recomendado es la *extinción del incendio* a la brevedad pero no siempre es posible.

Las propuestas recomendadas por la NFPA 550 para el Control de Incendios son:

1. Control de la cantidad de producción de humo y calor mediante la modificación del combustible o del entorno.
2. Control del proceso de combustión mediante extinción manual o automática.
3. Control de la propagación del incendio mediante venteo o confinamiento, o ambos.

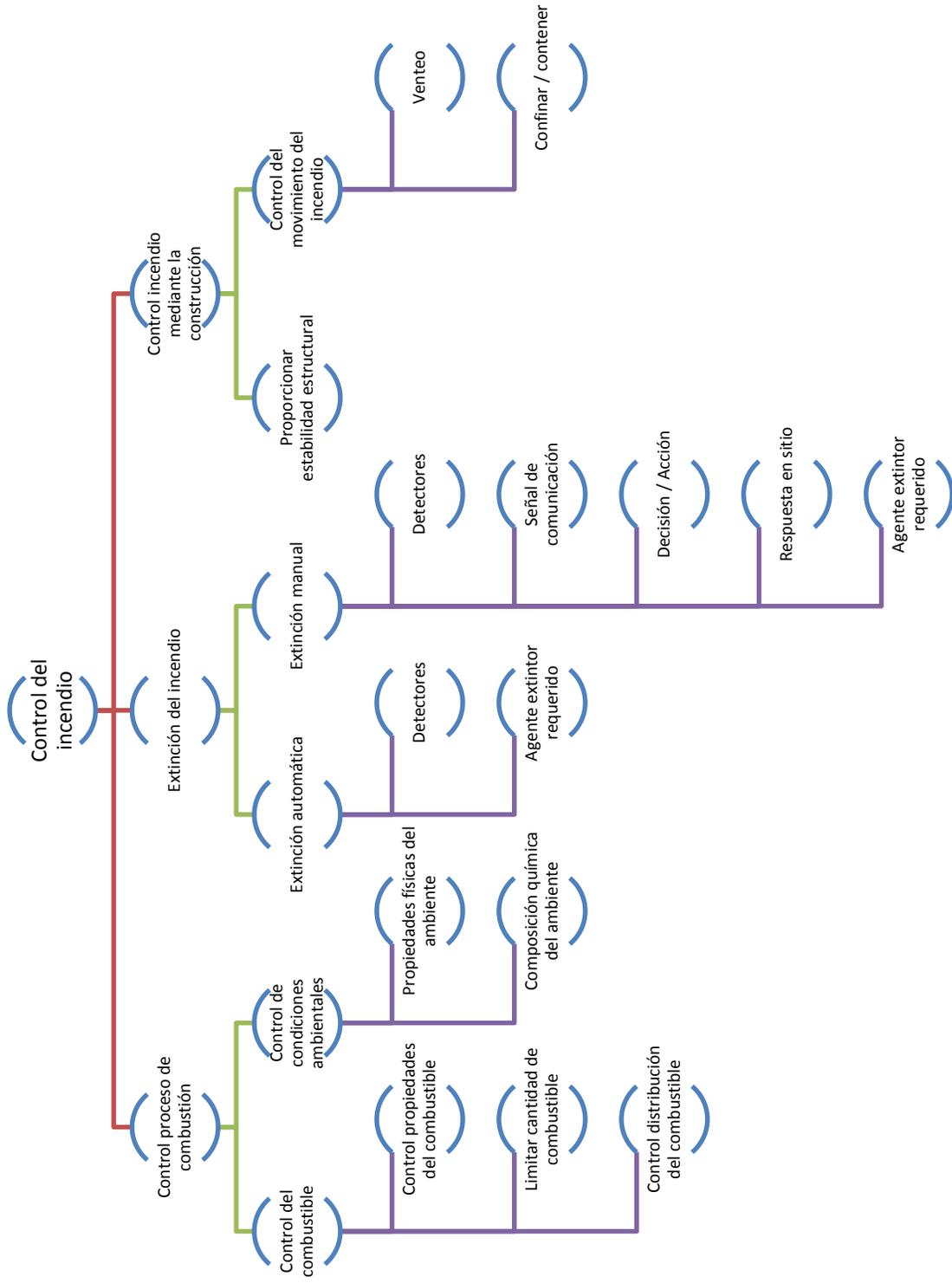


Fig. 12. Ramificación de elementos del Control de incendios que integra el Árbol de Decisiones para la Seguridad contra Incendios.

### 6.3 MANEJO DE LA EXPOSICIÓN

Esta última ramificación (ver Fig. 12) se desprende de la categoría *Control del Impacto del Incendio*, que en conjunto integran al *Árbol de Decisiones para la Seguridad contra Incendios*. El “Manejo de la Exposición” está enfocado a la protección de los bienes materiales, económicos y humanos que encuentran riesgo de dañarse o perderse en caso de un incendio.

1. Limitar el número de individuos y cantidad de propiedades expuestas.
2. Proteger a todas las personas, propiedades y bienes sujetos a exposición.
3. Proteger el espacio ocupado de la exposición del incendio a fin de evitar una propagación o en caso de que las personas o bienes no puedan ser desplazados.
4. Brindar resistencia a los efectos del fuego a los elementos expuestos.
5. Realojar a los elementos móviles expuestos al fuego y a los productos de la combustión tales como el humo, utilizando rutas protegidas durante el recorrido.

Implementar y combinar métodos de detección, control y extinción pertinentes.

Una característica importante de los códigos de edificación es la previsión de “Equivalencias”, las cuales permiten dar alternativas a los requisitos especificados en los códigos, si éstos proporcionan un grado de seguridad contra incendios equivalente al código. Así, una vez que se han identificado los objetivos básicos de seguridad contra incendios de un edificio, el diseñador puede analizar las rutas alternativas en el árbol a través de los cuales puede encontrar estos objetivos y supervisar los cambios en las instalaciones de forma continua.

El punto de entrada denominado *Ir a A* en la figura 13, indica donde están repetidas partes del árbol, que en este caso, están referenciadas al elemento *Protección de los Elementos Expuestos*, en la misma figura.

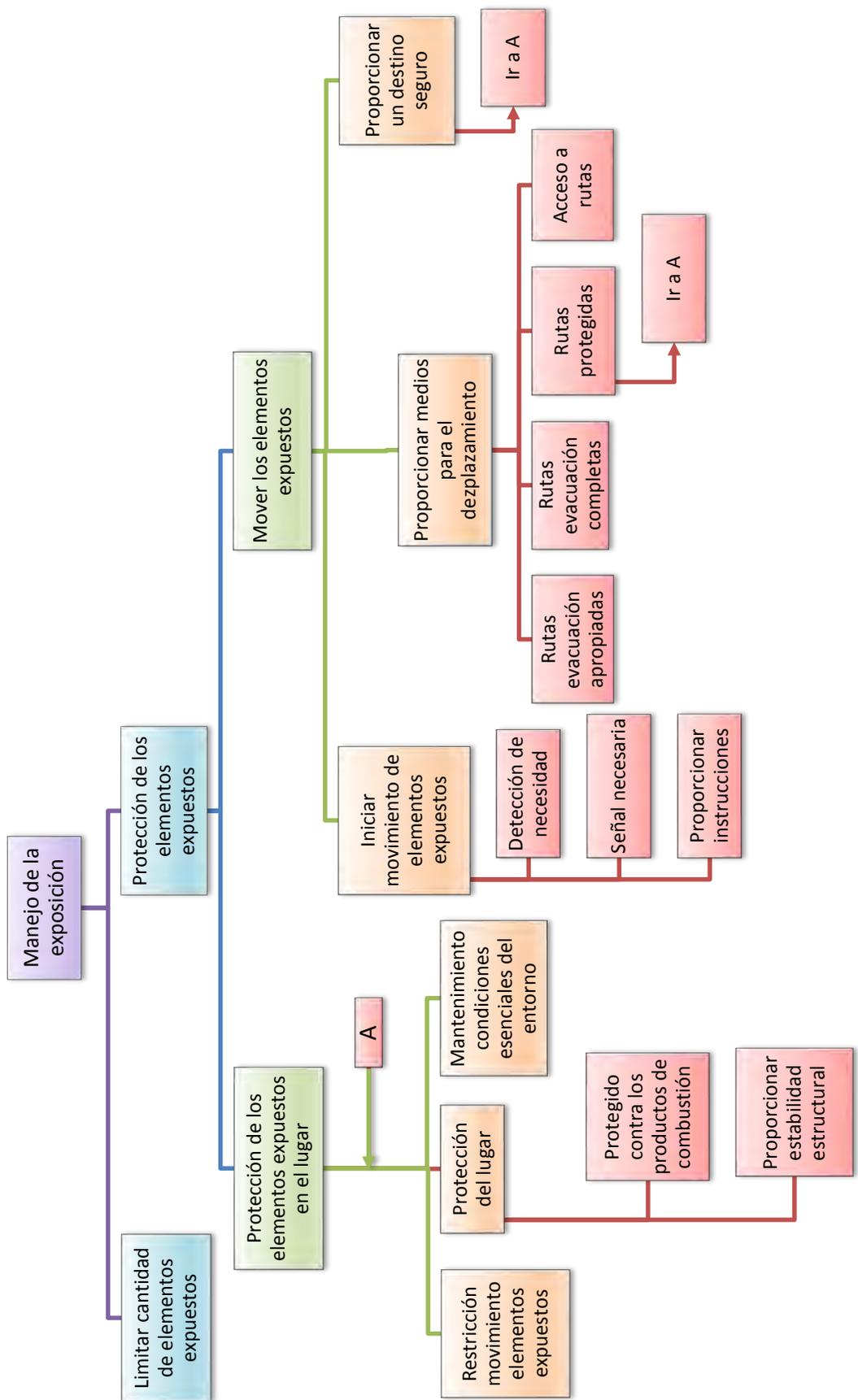


Fig. 13. Elementos para el Manejo de la Exposición. Ramificación del Árbol de Decisiones para la Seguridad Contra Incendios.

## 7 APLICACIÓN DE MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS

---

“Una vez que los diferentes escenarios han sido identificados, la frecuencia de los eventos y sus consecuencias han sido determinadas, entonces el riesgo puede evaluarse. El riesgo puede estimarse de manera cualitativa, cuantitativa o en ambas formas, dependiendo del proceso usado para el análisis de frecuencias y de consecuencias” (CENAPRED, 2001, pág. 22).

En la actualidad existen en el mercado una gran variedad de metodologías para el análisis de riesgos, pero el uso de ellas debe ser selectivo con el fin de optimizar sus resultados. Éstos se dividen en métodos cualitativos, semicuantitativos y cuantitativos. Antes de aplicar un método en particular, se deberán analizar sus ventajas y desventajas, preguntándose invariablemente si nos dará las respuestas esperadas, en función de profundidad, tiempo, costo y aplicabilidad de resultados.

Los métodos cualitativos para el análisis de riesgo son técnicas estructuradas de análisis crítico y no recurren al análisis numérico. En ocasiones son preliminares y sirven de soporte estructural para los estudios cuantitativos. Pueden emplear herramientas lógicas y auxiliares, permitiendo identificar:

- Efectos: incidentes y accidentes cuando se materializan los riesgos.
- Causas: Orígenes o fuentes de los riesgos.

Los métodos semicuantitativos para el análisis de riesgo conducen a resultados globales y relativos, fundados en la experiencia, para comparar riesgos específicos de casos similares empleando factores y escalas que permitan determinar la severidad.

Los métodos cuantitativos para el análisis de riesgo evalúan a profundidad la trayectoria del accidente desde el origen, a fin de detectar fallas en equipos y/o operaciones y así definir la variación del riesgo estableciendo valores concretos.

Todos los modelos y metodologías para estimar los riesgos tienen sus limitaciones y requieren de personal capacitado y con gran habilidad para la interpretación de sus resultados, ya que no hay dos accidentes iguales. Además, éstos buscan plantear en términos de probabilidad los distintos factores que los influyen, estimar su magnitud y definir el sitio específico de impacto. En el [Apéndice IV](#) se exponen los más importantes.

## 8 ANÁLISIS DE GUÍAS, INTEGRACIÓN Y RECOMENDACIONES

---

*La conciencia del peligro es ya la mitad de la seguridad y de la salvación.*

*Ramón J. Sénder (1902-1982).*

La gestión del riesgo dirigida a la seguridad contra incendios dentro del centro laboral, es un proceso administrativo que involucra la participación y compromiso de todos los miembros de una empresa u organización, auxiliares externos, partes interesadas (clientes) y autoridades externas, durante toda la *cadena de valor empresarial*, a fin de identificar, evaluar, controlar, manejar y mitigar un riesgo de incendio o las consecuencias de éste, de forma cíclica y ordenada, que podrían impedir la continuidad de las actividades o procesos, causar pérdidas humanas, económicas, bienes materiales y de información, a la vez de, afectar a la comunidad, al medio ambiente y a la misma continuidad del negocio.

El propósito de las guías NFPA 550 y 551, como bien se expuso en capítulos anteriores, es brindar una guía general de los aspectos fundamentales a considerar durante una evaluación de riesgos de incendio, así como para la concretización de protocolos que permitan la prevención y control de un incendio, conforme a las características de la empresa.

Un punto importante en el presente proyecto es resaltar el tipo de casos de incendio que se están considerando. A diferencia de los riesgos involucrados durante el manejo, almacenamiento y distribución de sustancias químicas peligrosas, instalaciones eléctricas o manejo de equipos, existen situaciones que las normas de seguridad existentes no contemplan y que bien valdría la pena identificar y evaluar para ser consideradas durante la elaboración de escenarios de incendio que permitan elaborar un plan de prevención de eventos no deseados con alternativas de protección más efectivas.

Como se observó en la figura 3, en el capítulo 3, la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas clasificó como causa raíz de incendios una lista de siniestros que afectaron notablemente los bienes materiales y humanos de múltiples empresas, industrias, organizaciones y establecimientos a lo largo de la República Mexicana durante Enero a Diciembre de 2012. Los principales 5 factores fueron actos de personas mal intencionadas (16.2%), corto circuito / electricidad (15%), rayo (14.9%), incendio por lluvia (13.7%) y acción del agua que no provenía en las condiciones adecuadas (6.7%).

Si bien es cierto que el Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, que en su Título Segundo, artículos 47 a 51 tratan de las medidas de protección de instalaciones eléctricas y control de descargas eléctricas, así como la NOM-022-STPS-2008 referente a las condiciones de seguridad ante electricidad estática en los centros de trabajo, entre ellas los rayos, establecen medidas de protección y control ya definidas que solo deben seguirse fielmente.

Los demás casos, como actos de personas mal intencionadas, incendio por lluvia o acción de agua que no proviene en condiciones adecuadas, son casos particulares que suenan improbables o que parecen no poseer ningún riesgo de incendio. Sin embargo, si pueden generar *incendios especiales*, denominadas así debido a que jurídicamente, no están definidas las acciones a seguir ante un evento como éste y que, pese a la creencia general, su ocurrencia ha mostrado ser notablemente alta. A su vez, su identificación involucra un profundo análisis de los factores incluidos y el impacto que pueden tener, confiriéndole un carácter muy particular que dependerá de los daños que podría provocar a un elemento de interés específico.

Un elemento que participa en la propagación de un incendio es la lluvia tras el mantenimiento inadecuado de una instalación. Su impacto puede ser inofensivo si en la instalación no se resguardaba un elemento de riesgo que en contacto con agua, pudiera producir un incendio. Por ejemplo, los periodos de lluvia están dañando lentamente la estabilidad de un techo al cual no se le aplicó una correcta impermeabilización o no ha recibido mantenimiento por largo tiempo, por lo cual, se comienzan a generar pequeñas goteras. Muy probablemente se trate de un espacio confinado donde es mínima la circulación de gente que pueda percatarse de ello o simplemente, el personal de mantenimiento no le prestó interés. La cuestión es que si el fenómeno se da en un cuarto de alta tensión o en un espacio donde se encuentren confinados distintos equipos electrónicos en funcionamiento, los efectos pueden ser inmediatamente catastróficos. Un suceso muy similar puede darse en un almacén de materiales pirofóricos.

Los *incendios especiales* propiciados por acción de agua que proviene en condiciones inadecuadas puede deberse a “instalaciones de protección contra incendios, en determinados tipos de edificios, que requieren el almacenamiento y distribución de agua hasta puntos cercanos para su uso en caso de un posible fuego accidental. Dichos sistemas por definición, mantienen el agua estancada hasta el momento de su uso” (Sistemas de agua contra incendios, pág. 1) y esto promueve el crecimiento de microorganismos, tales como *Legionella*<sup>9</sup> o la aparición de corrosión y de incrustaciones en la instalación. Lo anterior puede impedir controlar un incendio. El mal olor, la variación de la viscosidad, color y propiedades del agua, así como la clara presencia de organismos en ella, impedirá que el personal de contra incendio efectúe su trabajo ante la presencia de un importante foco de infección que puede ser fácilmente dispersado al rociar el agua contaminada. La corrosión reducirá el flujo de agua debido a fugas o rupturas en la instalación. La incrustación, además de afectar el flujo y la presión de salida de agua, también puede contaminarla y generar otros efectos adversos; consecuencias similares pueden provocarse por formación de sedimentos o lodos.

Por otro lado, los *incendios especiales* provocados por personas mal intencionadas (arsonismo), que actúan así por sin número de razones: riñas, venganza, sabotaje, vandalismo, terrorismo, entre otras, deberían ser el principal aspecto a considerar durante una evaluación de riesgos de incendio, debido a su elevada incidencia y daños

---

<sup>9</sup> Es una bacteria Gram negativa con forma de bacilo. La infección por *Legionella* puede presentarse como neumonía atípica o como una enfermedad febril sin focalización pulmonar denominada Fiebre de Pontiac.

de alta magnitud; a pesar de ello, son poco considerados al implementar protocolos preventivos y de control de incendios. Lo anterior reafirma la importancia de integrar las guías auxiliares NFPA 550 y 551 a los actuales sistemas de gestión de seguridad contra incendios que se van desarrollando.

Por un lado, la guía NFPA 551 resalta los pasos a seguir durante una evaluación y valoración de riesgos de incendios permitiendo la selección más adecuada de métodos de análisis de riesgos y de los procedimientos de prevención y control ante la aparición de un incendio. También describe el proceso de revisión técnica y la documentación requerida al implementar un FRA.

Si bien ésta se desarrolla bajo un entorno normativo basado en el desempeño, con el propósito de ajustarse al cumplimiento regulatorio, está abierta a la constante valoración y modificación de los sistemas contra incendios ya implementados y promueve la actualización de los escenarios de incendio considerando el mayor número de causas posibles y hasta imposibles que favorecerían su manifestación. “Es factible definir escenarios de accidentes extremos si se consideran los eventos máximos catastróficos en función de una serie de variables que se fijan, como son: las características específicas de las sustancias involucradas (peso molecular, punto de ebullición, densidad, volumen en condiciones normales, capacidad calorífica, límites inferior y superior de explosividad, calor de combustión, entre otras), las condiciones del proceso (temperatura, volumen del contenedor, diámetro del orificio en caso de fuga) y condiciones meteorológicas” (CENAPRED, 2001, pág. 165).

Esta guía también denota la importancia de integrar sistemas de protección tanto activos como pasivos. Finalmente, recomienda la participación de todos los integrantes de la empresa y personal externo relacionado, sin deslindar la gran responsabilidad que poseen las AHJ durante la autorización, implementación y supervisión de la confiabilidad, disponibilidad y eficacia de los criterios de aceptación y las medidas de seguridad contra incendio consideradas o ya aplicadas. Las AHJ deben comprobar si los supuestos, la construcción, las características del edificio, de los ocupantes y del fuego son convenidos en el FRA reflejan aceptablemente las condiciones reales.

Aunque la validación de un método de FRA es difícil debido a la predicción de acontecimientos improbables que requieren una gran base de datos y una mayor escala de tiempo, la selección de un método debe tener en cuenta las medidas tomadas para validarlo. Esto se logra mediante la comparación de su modelo de probabilidad con la información estadística o experiencia y su modelo consecuencia con los datos experimentales u otros modelos matemáticos validados.

La guía NFPA 550, mejor conocida como el Árbol de Decisiones en la seguridad contra incendios, permite visualizar los riesgos de incendio de una forma más profunda. Su método integral y flexible, relaciona el campo de la prevención y el del control de los daños causado por un incendio, examinando sistemáticamente todos sus elementos en conjunto y así generar mejores estrategias para el combate de incendios, permitiendo así la detección de vacíos o excesos de protección para eliminar crear redundancias de ser necesario.

Si bien, expone un enfoque mayoritariamente cualitativo de riesgos, es una amplia representación visual de todos los conceptos de seguridad que deben ser considerados y permite también, la comunicación entre especialistas de seguridad contra incendios y terceros, ayudando a identificar sus respectivas funciones y llegar a acuerdos cuando los intereses entran en conflicto.

La raíz de esta guía se fundamenta en la prevención de la ignición del incendio y el control de la magnitud del incendio. Esto involucra que deben implementarse medidas y sistemas de seguridad contra incendios, tanto pasivos como activos, simultáneamente. Una forma más fácil de explicar la presente guía es respondiendo las preguntas que conforman la siguiente figura (ver Fig. 14). En el [Apéndice V](#) se analiza a profundidad dicho diagrama.

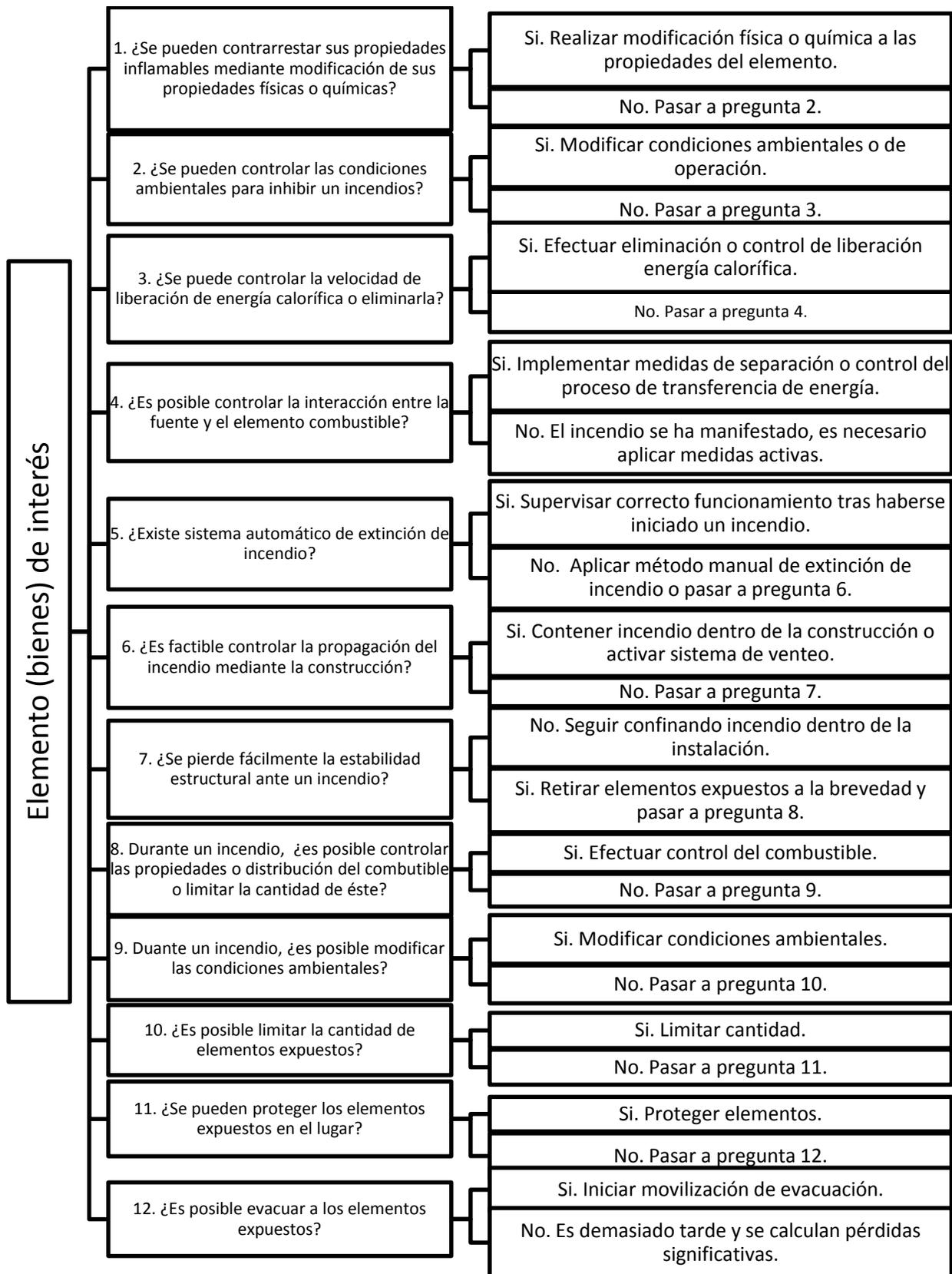


Fig. 14. Síntesis Árbol de decisiones y concepción de la protección de un elemento en riesgo.

Así mismo, la figura anterior viene integrando la etapa de alcance y desarrollo que conforma el FRA expuesto en la figura 12 en la [Sección 8](#), para facilitar la definición de objetivos y criterios de aceptación.

La norma ISO 31000:2009, *Risk management – Principles and guidelines*, de la *International Organization for Standardization (ISO)*, tiene por objetivo ayudar a las organizaciones de todo tipo y tamaño a gestionar el riesgo con efectividad. A su vez, la ISO 9001:2008, *Quality management systems – Requirements*, especifica los requisitos centrados en la eficacia del sistema de gestión de la calidad para satisfacer los requisitos del cliente. Tal vez parezca que la seguridad está deslindada de la calidad, sin embargo, cualquier modificación que se aplique para promover un ambiente adecuado y seguro de trabajo sin duda contribuirá a la mejora de la calidad al proporcionar mejores productos con un enfoque de responsabilidad social empresarial.

Las normas internacionales previamente mencionadas muestran cierta convergencia con las normas NFPA 550 y 551, explicadas en los dos capítulos anteriores. Algunos aspectos relacionados son: en todos se considera el ciclo de vida de los productos y procesos ya que pueden contener factores de riesgo; el involucramiento de todos los integrantes de la empresa u organización y personal externo relacionado; una buena comunicación y un proceso constante de monitoreo, revisión y modificación; implementación de metodologías de valoración y concretización de criterios de aceptación; documentación de toda la información y supervisión técnica de calidad.

Las debilidades para implementar ambas guías en incendios especiales es la amplia incertidumbre para determinar un análisis de costo-beneficio preliminar y el ajuste de éste, en base a los resultados y el desempeño de los métodos de análisis y las estrategias ya implementadas. La falta de registros o bases de datos es otra limitante ya que es atacar la prevención de incendios desde otro panorama. Por otro lado, la implementación de redundancias de protección a un sistema, como lo expone la NFPA 550, puede ser para las AHJ y partes interesadas, un aspecto poco atractivo dada una inversión adicional, requiriendo así, una mayor labor de convencimiento.

Si bien es cierto que existe un importante costo por implementar sistemas de seguridad, también es real que existe la elección de establecer cuándo, cuánto y cómo se pagará. Se puede optar por no hacer nada y esperar que los accidentes y pérdidas se manifiesten o esperar que las autoridades reguladoras descubran el incumplimiento y tener que pagar elevadas multas por omisión. Se puede optar por cumplir los requisitos mínimos legales pero no por ello poseer un adecuado sistema contra incendios. Finalmente, la opción más recomendable es reconocer a la seguridad como una inversión. Una pequeña reducción porcentual de las pérdidas compensa frecuentemente el costo total de la inversión. De esta forma, la seguridad se convierte en una herramienta estratégica para obtener beneficios financieros, reduce el daño a las personas, a la propiedad y al medio ambiente, aumentando a su vez la calidad y competitividad en el centro laboral.

## 9 APLICACIÓN GUÍAS

El siguiente ejemplo, pretende clarificar la aplicación de las guías NFPA 551 en la identificación y protección de elementos de interés y la guía NFPA 550 durante la primera fase para el establecimiento de los objetivos y criterios de aceptación que implican la elaboración de un FRA.

### 9.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se considerará el sobrellenado de una esfera de LPG en una terminal de marketing (ver Fig. 15). Un tanque de 2,500 m<sup>3</sup> se llena periódicamente con LPG desde buques especiales. Se reciben 13 buques/año y cada uno transfiere LPG a 250m<sup>3</sup>/hr.

El número anual de horas en que el tanque es llenado es el siguiente:

$$2,500 \frac{m^3}{buque} \times \frac{hr}{250 m^3} \times 13 \frac{buques}{año} = 130 \frac{hr}{año}$$

Considerando el tiempo de arranque y de corte, la frecuencia de falla se basa en 150 hr/año.



Fig. 15. Esfera de almacenamiento de gas L. P.

### 9.2 PRIMERA ETAPA DEL ÁRBOL DE DECISIONES Y GENERACIÓN DE UN FRA.

El primer paso, según el árbol de decisiones, consiste en especificar los elementos de interés que pueden afectarse o perderse debido a un incendio.

Un dialogo entre las partes interesadas y las autoridades competentes podrá establecer varios elementos a proteger: operadores involucrados (vidas humanas), el producto (LPG), el contenedor (tanque esférico), los embarques de alimentación (buques), el proceso, el ecosistema y la comunidad (si hay alguna cercana y en riesgo).

Los criterios de aceptación, solicitados en la fase inicial de un FRA, pueden suponer que, la identificación de los riesgos asociados a la transportación de LPG hasta la

terminal y la recarga de los tanques esféricos, son responsabilidad de la empresa subcontratada para hacerlo. Por otro lado, el mantener una óptima integridad mecánica de los tanques de almacenamiento y un entrenamiento adecuado para los operadores junto con una supervisión minuciosa del proceso, pueden reducir notablemente los riesgos de un siniestro de incendio y de esa forma, evitar daños al ecosistema y a la comunidad, así como a los operadores y a las instalaciones.

Lo anterior conlleva a que nuestro árbol de decisiones se debe limitar a proteger dos elementos de interés: el producto (LPG) y el tanque.

### 9.3 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE ELEMENTOS DE INTERÉS

La síntesis del árbol de decisiones expuesto en la Fig. 14 en la [Sección 11](#) nos puede orientar más rápidamente para determinar qué información es más relevante para nosotros. Las preguntas 1 y 2 buscan analizar a detalle las propiedades, tanto del elemento expuesto como el medio que los rodea, en cuanto a su capacidad para producir un incendio. Las preguntas 3 y 4 determinan las consecuencias de la interacción del elemento y la fuente de energía en diferentes escenarios. Dichas respuestas pueden ser determinadas realizando un estudio exhaustivo de los materiales y/o sustancias expuestas.

#### Gas licuado de petróleo

El LPG es un derivado del petróleo que se compone principalmente de (ver Tabla 8):

*Tabla 8. Composición del gas Licuado de Petróleo.*

1.Nombre de los componentes	%	2. No. CAS	3. No. UN	4. LMPE: PPT, CT	5. IPVS	6. Grado de riesgo			
						S	I	R	Especial
Propano	60	74-98-6	1075	Asfixiante Simple	2100 ppm	1	4	0	
Butano	40	106-97-8	1011	PPT: 800 ppm	---	1	4	0	
Etil-mercaptano (odorizante)	0.0017 – 0.0028	75-08-1	2363	PPT: 0.95 ppm CT: 2 ppm	500 ppm	2	4	0	

LMPE-PPT: Límite Máximo Permisible de Exposición Promedio Ponderado en el Tiempo.

LMPE-CT: Límite Máximo Permisible de Exposición de Corto Tiempo.

IPVS: Inmediatamente Peligroso para la Vida y la Salud. De las siglas en inglés, IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health).

Se obtiene durante el proceso de refinación de otro derivado denominado gasolina; se produce en estado de vapor pero se convierte en líquido mediante compresión y enfriamiento, necesitándose 273 litros de vapor para obtener un litro de gas líquido.

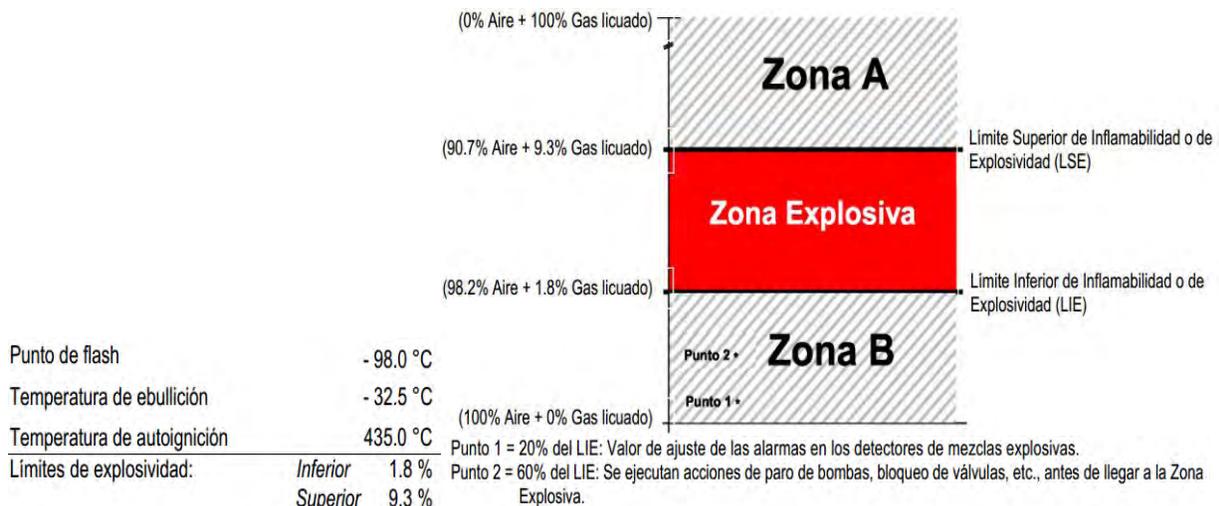
El gas se comprime para poder condensarlo. De esta forma, es posible transportarlo desde las refinerías a las plantas de almacenamiento y posteriormente a los usuarios, ya sea por auto-tanques o recipientes portátiles. Este proceso genera un enfriamiento (a una temperatura cercana a los  $-46^{\circ}\text{C}$ ). Posteriormente se despresuriza, evaporándolo y elevando su temperatura hasta  $5^{\circ}\text{C}$ , permitiendo su uso en calderas y aparatos domésticos.

Sus propiedades físicas y químicas se exponen en la siguiente Tabla:

*Tabla 9. Propiedades físicas y químicas del gas Licuado de Petróleo.*

Peso molecular	49.7
Temperatura de ebullición @ 1 atm	- 32.5 °C
Temperatura de fusión	- 167.9 °C
Densidad de los vapores (aire=1) @ 15.5 °C	2.01 (dos veces más pesado que el aire)
Densidad del líquido (agua = 1) @ 15.5 °C	0.540
Presión vapor @ 21.1 °C	4500 mmHg
Relación de expansión (líquido a gas @ 1 atm) T= 15.5 °C	1 a 242 (un litro de gas líquido, se convierte en 242 litros de gas fase vapor, formando con el aire una mezcla explosiva de aproximadamente 11,000 litros).
Solubilidad en agua @ 20 °C	Aproximadamente 0.0079 % en peso (insignificante; menos del 0.1 %).
Apariencia y color	Gas insípido e incoloro a temperatura y presión ambiente. Tiene un odorizante que le proporciona un olor característico, fuerte y desagradable.
<b>Estabilidad Química:</b> Estable en condiciones normales de almacenamiento y manejo.	
<b>Condiciones a Evitar:</b> Manténgalo alejado de fuentes de ignición y calor intenso, así como de oxidantes fuertes.	
<b>Productos Peligrosos de Combustión:</b> Los gases o humos, productos normales de la combustión son bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua. La combustión incompleta puede formar monóxido de carbono (gas tóxico), ya sea que provenga de un motor de combustión o por uso doméstico. También puede producir aldehídos (irritante de nariz y ojos) por la combustión incompleta.	
<b>Peligros de Polimerización:</b> No polimeriza	

Clasificado como un gas inflamable de grado 4, con efectos ligeros a la salud y nula reactividad o daños especiales. En la figura se expone su peligro de explosión e incendio (ver Fig. 16).



*Fig. 16. Propiedades de inflamabilidad del LPG.*

Si consideramos que una sustancia con un punto de flash mayor a 93°C es de baja inflamabilidad; entre 38° y 93°C, es moderadamente inflamable; y de 38°C o menor se considera peligrosa. Por lo tanto, el punto de flash del LPG (- 98°C) lo hace un compuesto sumamente peligroso.

En condiciones ideales de homogeneidad, las mezclas de aire con menos de 1.8% y más de 9.3% de gas licuado no explotarán, aún en presencia de una fuente de ignición. Sin embargo, a nivel práctico deberá desconfiarse de las mezclas cuyo contenido se acerque a la zona explosiva, donde sólo se necesita una fuente de ignición para desencadenar una explosión.

### Características de tanque esférico de LPG

Los tanques esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento, y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes a altas presiones. Para recipientes gran capacidad (mayor a 378,000 litros de agua), la presión va de 1,000 hasta 25,000 Psi (70.31 - 1757.75 Kg/cm<sup>2</sup>) y para recipientes de menor capacidad (a partir de 5,000 litros de agua), la presión va de 10 hasta 200 Psi (0.7031 - 14.06 Kg/cm<sup>2</sup>).

Aunque la forma esférica sería la forma más conveniente para almacenar grandes volúmenes de gas a amplios rangos de presión, la fabricación de estos es más costoso en comparación con los recipientes cilíndricos.

La Norma Oficial Mexicana NOM-009-SESH-2011 establece las especificaciones y métodos de prueba para recipientes que contienen Gas L.P., tipo no transportable. En ella existe una clasificación de los contenedores de acuerdo a su uso y capacidad. El tanque esférico problema se considera de tipo E debido a que posee una capacidad mayor a 378,000 litros de agua a temperatura ambiente.

De esta forma, el tanque a considerar en el presente ejemplo posee las características que se mencionan en la siguiente tabla:

*Fig. 17. Propiedades de diseño de tanque problema para almacenamiento de LPG.*

V tanque (m <sup>3</sup> )	P <sub>diseño</sub> (PSI)	T <sub>inf</sub> diseño (°C)	T <sub>sup</sub> diseño (°C)	Gravedad específica del LPG @60/60°F (Agua=1)	Densidad de LPG @ 15°C
2500	230	-46	67.7	0.54	2.01

### 9.4 EVALUACIÓN DE RIESGOS DE INCENDIO

Habiendo analizado las propiedades del LPG es fácil concluir que estamos tratando con una sustancia inflamable. Para establecer el alcance de un FRA y los criterios de aceptación, debemos establecer diferentes escenarios y evaluar los riesgos involucrados. Para ello en la [sección 8.3](#) se establecen las categorías de análisis de



Tabla 10. Calificación de fallos mediante su índice de probabilidad.

PROBABILIDAD DE FALLO			
Orden de magnitud	Expresión intuitiva: Duración fallo/tiempo total	Calificación	Índice de probabilidad IP
$10^{-1}$	1 mes/año	Muy probable	-1
$10^{-2}$	4 días/año	Probable	-2
$10^{-3}$	1 turno/año	Medianamente probable	-3
$10^{-4}$	2 turnos/5 años	Improbable	-4
$10^{-5}$	1 hora/10 años	Remotamente probable	-5
$10^{-6}$	1 hora/100 años	Muy improbable	-6

La probabilidad de un derrame de gas licuado de petróleo involucra una gran posibilidad de desencadenar un incendio. Cuando el gas licuado se fuga a la atmósfera, vaporiza de inmediato, se mezcla con el aire ambiente y se forman súbitamente nubes inflamables y explosivas, que al exponerse a una fuente de ignición (chispas, flama y calor) producen un incendio o explosión. En espacios confinados la formación de éstas nubes también desplazan y enrarecen el oxígeno disponible para respirar por tal es de suma importancia mantener la integridad mecánica del tanque con el mantenimiento debido y la supervisión detallada de los procesos. Así mismo, el diseño de un sistema contraincendios adecuado y un plan de emergencia ante cualquier evento de incendio nos dan las herramientas para evitar pérdidas o daños no deseados.

## 9.5 CUANTIFICACIÓN DE RIESGOS.

El siguiente apartado describe de forma muy general los algoritmos de cálculo para determinar los riesgos de falla expuestos en la figura 18. Si bien se omitió mucha información importante tal como el impacto ambiental, el daño a la salud de los operadores expuestos y/o defunciones, daños estructurales y de instalaciones a corto y largo plazo, pérdidas de bienes materiales, financieros y de información, entre muchos más, la tabla 11 mostrada más adelante, nos arroja información importante para identificar puntos críticos a atacar.

### Estimación de costos

- Costo por pérdida de tanque esférico

Para un recipiente a presión, la capacidad depende del volumen  $V$ , mientras que el costo depende del peso  $W$  del metal. Así para un recipiente esférico tenemos las siguientes ecuaciones:

$$V = \frac{\pi}{6} D^3 \text{ y } W = \rho_M t (\pi D^2) \quad \dots \text{ Ecs. 12.5-1 y 12.5-2}$$

Donde  $t$  es el espesor del tanque y  $\rho_M$  es la densidad del metal. En función del volumen del tanque tenemos:

$$D = \left(\frac{6V}{\pi}\right)^{1/3} \text{ y } W = \rho_M t (\pi^{1/3} D^{2/3}) \dots \text{Ecs. 12.5-3 y 12.5-4}$$

Considerando el peso del tanque y el precio aproximado actual del acero<sup>10</sup>, podemos definir un precio aproximado de este considerando la siguiente información (ver Tabla.

Tanque	Espesor (mm)	Volumen tanque (m3)	Densidad acero (kg/m3)	Peso total (kg)	Peso tanque (TON)	Precio acero (\$MN/TON)	Costo tanque (\$MN)
Esférico	50	2500	7800	347409.8	347.41	\$11,137.82	\$3,869,387.87

A esto le adicionamos un 40% más por costos de bridas y forjados, boquillas de tubería y para discos, empaques, protección interior y exterior, pintura e instalación de instrumentación.

<b>Costo total tanque (\$MN)</b>	\$5,417,143.01
----------------------------------	----------------

- Costo por pérdida total de producto almacenado

Considerando el precio de Gas L.P. en el mes de abril en el año corriente (2014) publicados en el Diario Oficial de la Federación<sup>11</sup> es de \$7.17 pesos/L en el Distrito Federal.

Precio LPG (\$pesos/litro)	V tanque (m3)	V <sub>max</sub> producto almacenado (m3)	Precio a la venta por producto almacenado (\$ MN)
7.17	2500	2125	\$15,236,250.00

- Costos por mantenimiento tras un incidente

Suponiendo un salario mínimo de \$90.00 por hora-hombre en actividad de supervisión y mantenimiento durante el llenado de una esfera de almacenamiento, obtenemos el siguiente resultado en un año:

\$Costo/hr-hombre	Tiempo anual de llenado de tanque (hr/año)	\$Costo anual / hombre
\$90.00	150	\$13,500.00

<sup>10</sup> Valor obtenido en: <http://www.dimecuantocuesta.com/precio-de/acero-por-tonelada.html> [Verif. 27 de abril de 2014]

<sup>11</sup> Valor obtenido en: [www.energia.gob.mx/res/91/Precios.xls](http://www.energia.gob.mx/res/91/Precios.xls) [Verif. 29 de abril de 2014].

- Costos de los dispositivos de seguridad

Para determinar los costos de los dispositivos de seguridad de un tanque esférico se consideraron los datos de diseño expuestos previamente en la Tabla 17. Los mejores costos para dispositivos en seguridad, cotizados en abril de 2014 en empresas como Mogas y West Instruments son los siguientes:

Dispositivos	Dólares	Pesos
Detector de nivel	\$6,000.00	\$78,600.00
Alarma de alto nivel	\$700.00	\$9,170.00
Válvula ESD	\$5,000.00	\$65,500.00
Alarma de alta presión	\$800.00	\$10,480.00
Válvula PRV	\$2,000.00	\$26,200.00

El % de impacto se obtuvo mediante la relación de costos de la falla del dispositivo entre el costo del evento más funesto, ruptura catastrófica del tanque. Los riesgos se calcularon como se expuso en la [sección 7.1](#).

*Tabla 11. Riesgos asociados al derrame de una esfera de almacenamiento de LPG.*

Dispositivo	Tipo de falla	Probabilidad de falla	Costo sustitución / Mantenimiento (\$MN)	% Impacto	Riesgo de falla
Detector de nivel	Error en la detección de nivel máximo.	8.76E-02	\$78,600.00	0.38	3.29E-04
Alarma de alto nivel	No se activa alarma tras haber alcanzado máximo nivel.	8.76E-02	\$9,170.00	0.04	3.84E-05
Alimentación	Flujo de entrada no se detiene tras haber alcanzado condiciones críticas.	8.85E-02	\$79,000.00	0.38	3.34E-04
Válvula ESD	La válvula de cierre de emergencia no se activó.	1.00E-05	\$65,500.00	0.31	3.13E-08
Alarma de alta presión	No se activó alarma de alta presión tras alcanzar condiciones críticas.	8.76E-02	\$10,480.00	0.05	4.39E-05
Tanque	Incremento descontrolado de la presión dentro del tanque.	9.66E-02	\$5,417,143.01	25.87	2.50E-02

<b>Operador</b>	Falta de acción o decisión inapropiada por parte del operador.	1.00E-02	\$13,500.00	0.06	6.45E-06
<b>Producto</b>	Condensación completa del producto dentro del tanque.	8.50E-03	\$15,236,250.00	72.78	6.19E-03
<b>Válvula PRV</b>	Abre y libera líquido intermitente.	7.40E-04	\$26,200.00	0.13	9.26E-07
<b>Tanque</b>	Ruptura catastrófica e incendio de un tanque esférico.	5.76E-07*	\$20,935,843.01	100.00	5.76E-05

La tabla anterior nos muestra que los riesgos más grandes están asociados a daños a la afectación de la integridad mecánica del tanque y a la liberación de producto, a pesar de que sus probabilidades de ocurrencia sean pequeñas. Un punto a resaltar es que la adecuada interpretación de los resultados arrojados en esta tabla debe relacionarse con el árbol de fallas expuesto en la figura 18.

Un árbol de fallos permite identificar la concatenación de eventos o sucesos de fallo que pueden prevenirse o solucionarse antes de producir un evento funesto. Considerando lo anterior podemos determinar que un adecuado mantenimiento de válvulas y dispositivos de seguridad pueden reducir aún más el evento menos deseado, el sobrellenado y derrame de un tanque esférico de almacenamiento de LPG:

## 9.6 MEDIDAS DE SEGURIDAD E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS CONTRA INCENDIO.

Considerando la información anterior, así como la información técnica y la normatividad existente, podemos establecer los sistemas de prevención y control en contra incendios más adecuados, en el supuesto de que el evento no deseado se está dando. Una gran ayuda es contestar las preguntas 5 a 12 de la síntesis de árbol de decisiones expuesto en la figura 14.

Por seguridad, los recipientes deben estar provistos de los accesorios según establece la norma previamente mencionada:

- Operación.
  - Carga/descarga.
  - Juntas pasa-hombre y soportes.
  - Retorno de vapores.
  - Interruptor de máximo y mínimo llenado.
  - Drenado.
  - Boquillas y porta válvulas.

- Medición.
  - Indicador de presión / manómetro.
  - Indicador / transmisor de nivel.
  - Indicador de temperatura.
- Válvulas
  - De relevo de presión.
  - De exceso de flujo (L o V) y no retroceso.
  - De máximo llenado.

En la figura 19 se muestra un esquema de instalación de un depósito de gas licuado con indicación de las principales medidas preventivas a emplear (Bestratén Belloví & Turmo Sierra, 2006):

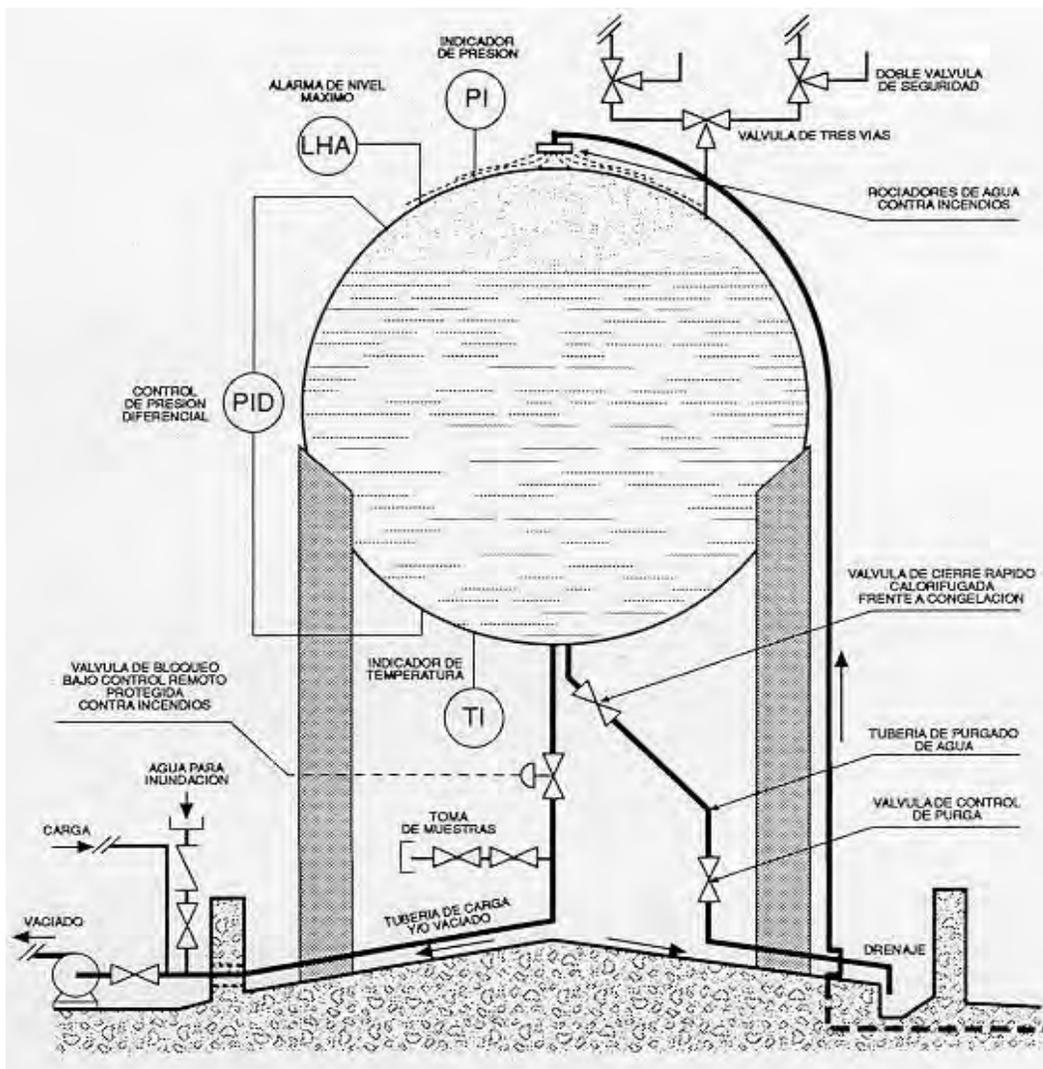
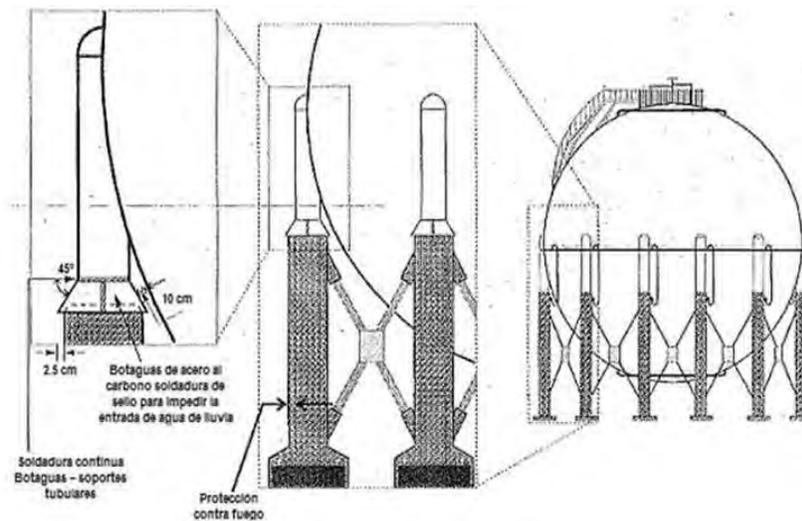


Fig. 19. Típico esquema de instalación de un depósito de gas licuado.

También es imprescindible contar con un sistema de agua contra incendio para evitar el impacto térmico sobre la superficie de todo recipiente expuesto a fuego directo o incendio generado en un área próxima. El agua deberá rociar todo el depósito pero en especial su parte superior en contacto con la fase vapor en donde pueden alcanzarse fácilmente temperaturas críticas.

Además se debe proveer una estructura de soporte y aislamiento contra fuego (ver Fig. 20), la cual consiste en columnas cilíndricas y elementos de contraviento que dan rigidez a la estructuración y ambos elementos soportan al recipiente. Para prevenir daños por corrosión ocasionados en los soportes de los tanques esféricos, se deben instalar botaguas que sobresalgan del centro a prueba de fuego y que no estén en contacto con el cuerpo del recipiente, conforme a lo mostrado en la Figura 9.



*Fig. 20. Botaguas para obstruir la entrada de agua de lluvia entre los soportes tubulares y el hormigón a prueba de fuego.*

Por último también es menester establecer y señalar adecuadamente zonas de seguridad y rutas de evacuación.

Cuando las instalaciones se diseñan, construyen y mantienen con estándares rigurosos, se consiguen óptimos atributos de confiabilidad y beneficio permitiendo la continuidad de las operaciones con una reducción considerable de los riesgos implicados.

## 10 CONCLUSIONES

---

En el presente trabajo, se demostró que las guías NFPA 550 y 551, son de gran utilidad e importancia, ya que definen una metodología sencilla para establecer una óptima evaluación de análisis de riesgos para prevenir y combatir incendios especiales y no especiales. Donde se definió como incendio especial, aquel evento que se produce por un conjunto de factores que involucran un importante riesgo de incendio que no fue considerado dentro de los protocolos o procedimientos de seguridad y donde tampoco existe una normatividad específica para su control.

En base a los datos recabados por la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas, se determinó que gran número de incendios registrados en los centros de trabajo fueron ocasionados por cinco factores principales: actos de personas mal intencionadas, corto circuito/electricidad, rayos, incendio por lluvia y acción del agua que no provenía en las condiciones adecuadas.

Los dos últimos factores son elementos que permitieron la propagación del incendio y no pueden ser clasificados como causa raíz; a su vez, éstos y los actos de personas mal intencionadas, se clasificaron como incendios especiales.

La guía NFPA 550 resalta la importancia de realizar un análisis exhaustivo de las propiedades intrínsecas del o los elementos combustibles a proteger y de las características del entorno que los rodea, a fin de elaborar medidas preventivas y de control más rigurosas. En el diagrama de síntesis del árbol de decisiones se consiguió diseñar una guía de fácil aplicación mediante una serie de preguntas clave.

Por otra parte, la guía NFPA 551 destaca la importancia del proceso de revisión técnica para desarrollar un FRA y define la correcta aplicación de los métodos de análisis de riesgo; así mismo, promueve la retroalimentación de los integrantes de la organización y personal externo relacionado para crear escenarios de incendio lo más cercanos a la realidad, y así, facilitar la toma de decisiones, delegar actividades e implementar estrategias, procedimientos y sistemas contra incendios más efectivos.

Finalmente, se lograron integrar y aplicar ambas guías de interés a la resolución de un problema. Se estimaron los riesgos de incendio, mediante la evaluación del árbol de fallas, durante el derrame de gas LP desde una esfera de almacenamiento. Se definieron los criterios de aceptación más adecuados para iniciar la elaboración de un FRA y se concluyó que el árbol de decisiones está representado en el esquema de instalación de un tanque esférico, a través de la instrumentación típica y los sistemas contra incendios en él definidos.

Por último, la incorporación de las presentes guías, es una vía para mejorar la seguridad e higiene laboral y hacer frente al aumento de accidentes laborales y de personas con discapacidad que se presentan año con año; hechos que afectan notablemente la productividad y la economía de industrias y empresas en nuestro país y que es necesario erradicar.

## 11 APÉNDICE I. CONCEPTOS BÁSICOS

Según la NOM-002-STPS-2010, relativa a las condiciones de seguridad para la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo establece las siguientes definiciones:

**Fuego:** Es la oxidación rápida de los materiales combustibles con desprendimiento de luz y calor. Este fenómeno consiste en una reacción química de transferencia electrónica, con una alta velocidad de reacción y con liberación de luz y calor. Se clasifica en las clases siguientes (ver Tabla 12):

*Tabla 12. Clasificación del fuego de acuerdo al tipo de material combustible.*

Clase	Descripción
A	Es aquel que se presenta en material combustible sólido, generalmente de naturaleza orgánica, y que su combustión se realiza normalmente con formación de brasas.
B	Es aquel que se presenta en líquidos combustibles e inflamables y gases inflamables.
C	Es aquel que involucra aparatos, equipos e instalaciones eléctricas energizadas.
D	Es aquel en el que intervienen metales combustibles, tales como el magnesio, titanio, circonio, sodio, litio y potasio.
K	Es aquel que se presenta básicamente en instalaciones de cocina, que involucra sustancias combustibles, tales como aceites y grasas vegetales o animales. Los fuegos clase K ocurren en los depósitos de grasa semipolimerizada, y su comportamiento es distinto a otros combustibles.

**Fuego incipiente:** Es el fuego en su etapa inicial que puede ser controlado o extinguido, mediante extintores portátiles, sistemas fijos contra incendio u otros medios de supresión convencionales, sin la necesidad de utilizar ropa y equipo de protección básico de bombero, tales como: chaquetón, botas, cascos o equipos de respiración.

**Incendio:** Es el fuego que se desarrolla sin control en tiempo y espacio.

**Combustible:** Es todo aquel material susceptible de arder al mezclarse en las cantidades adecuadas con un comburente y ser sometido a una fuente de ignición, tales como: madera, papel, cartón, ciertos textiles y plásticos, diesel, aceites y combustóleo.

**Material pirofórico:** Es todo sólido o líquido que al contacto con el aire, aun en pequeñas cantidades, entra en ignición, es decir, reacciona en forma espontánea con desprendimiento de grandes cantidades de luz y calor.

**Material inflamable:** Es todo aquel sólido, líquido o gas susceptible de arder con facilidad cuando entra en contacto con una fuente de ignición o de calor, con rápida propagación de flama.

**Gas inflamable:** Es aquel que tiene un rango inflamable con el aire a 20°C y presión de referencia de 101.3 kPa, entre otros, propano, hidrógeno, butano, pentano y etano.

**Líquido combustible:** Es cualquier sustancia que tenga una presión de vapor igual o menor a 2,068.6 mm de Hg, a 20°C, una fluidez mayor a 300 en asfalto, y una

temperatura de inflamación igual o mayor a 37.8°C, entre otros, keroseno, gasóleos, alcohol mineral y petróleo bruto.

**Líquido inflamable:** Es cualquier sustancia que tenga presión de vapor igual o menor a 2,068.6 mm de Hg, a 20°C, una fluidez mayor a 300 en asfalto, y una temperatura de inflamación menor a 37.8°C, entre otros, barnices, lacas, gasolina, tolueno y pinturas a base de disolventes.

**Agente extintor; Agente extinguidor:** Es la sustancia o mezcla de ellas que apaga un fuego, al contacto con un material en combustión en la cantidad adecuada.

**Alarma de incendio:** Es la señal audible y/o visible, diferente a la utilizada en el centro de trabajo para otras funciones, que advierte sobre una emergencia de incendio. Las señales visibles deberán ser del tipo estroboscópico, es decir, con rápidos destellos de luz, de alta intensidad, en forma regular.

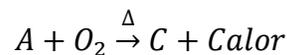
**Brigada contra incendio:** El grupo de trabajadores organizados en una Unidad interna de protección civil, capacitados y adiestrados en operaciones básicas de prevención y protección contra incendio y atención de emergencias de incendio, tales como identificación de los riesgos de la situación de emergencia por incendio; manejo de equipos o sistemas contra incendio, al igual que en acciones de evacuación, comunicación y primeros auxilios, entre otras.

## 12 APÉNDICE II. LAS PROPIEDADES DEL FUEGO

“El aprendizaje del control del fuego fue, y es, una forma de civilización. Los humanos han domesticado el fuego y lo han incorporado en sus sociedades; estas sociedades se volvieron entonces más complejas y civilizadas” (Goudsblom, 1995, pág. 16).

### 12.1 LA QUÍMICA DEL FUEGO

El fuego es una manifestación de energía en forma de luz y calor debido a una reacción exotérmica de oxidación de un material combustible denominada reacción de combustión. En dicha reacción se transfieren electrones, donde el combustible es el donador y el comburente es el aceptor.



“El combustible y el comburente se encuentren en espacio y tiempo en un estado energético suficiente para que el choque molecular sea efectivo y se produzca la reacción. La energía precisa para que ambas sustancias reaccionen recibe el nombre de *energía de activación* y al producto intermedio. Resultado de la colisión entre las moléculas reaccionantes, se le denomina *complejo activado*” (Cortés Díaz, 2007, pág. 264). Así el tiempo en que  $A$  (combustible) se transforme en  $C$  (producto de la combustión) definirá la velocidad de reacción,  $CA$  representa el complejo activado (ver Fig. 21). De la misma manera,  $E_R$  es la energía de los productos reaccionantes,  $E_P$  es la energía de los productos de la reacción,  $E_a$  es la energía de activación y la diferencia,  $\Delta E = E_R - E_P$ , corresponde a la energía desprendida en la reacción.

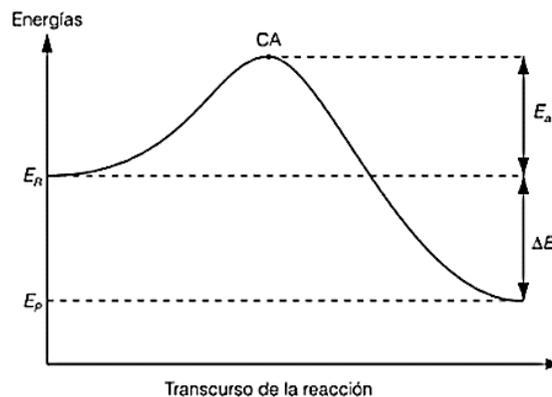


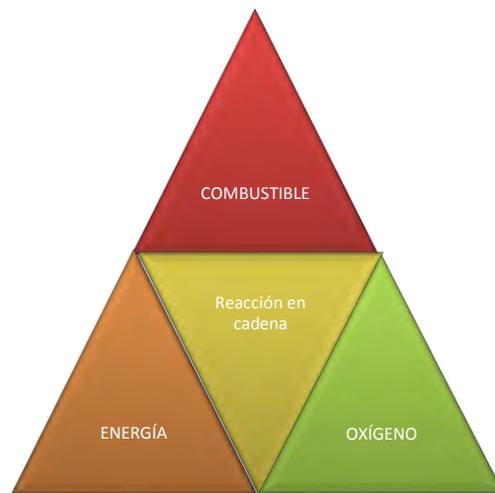
Fig. 21. Energía de activación para llevar a cabo la reacción de combustión.

La velocidad con que se extiende la reacción recibe el nombre de *velocidad de propagación*. Ésta se ve influenciada por la superficie de contacto, la concentración combustible-comburente y la temperatura de los productos reaccionantes. A su vez, esta define si se trata de:

- **Oxidación lenta:** cuando la energía desprendida se disipa en el ambiente y por tal no se produce reacción en cadena (ejemplo, oxidación del hierro).

- **Combustión simple:** cuando la energía desprendida en parte se disipa en el ambiente y en parte se invierte en activar la mezcla manteniendo la reacción en cadena (ejemplo, madera, papel, etc.). La velocidad de propagación es inferior a 1 m/seg.
- **Combustión deflagrante o deflagración:** cuando la velocidad de propagación es superior a 1 m/seg e inferior a la del sonido en el medio, produciendo efectos sonoros o *flashes* (deflagración de vapores de líquidos inflamables, mechas lentas, mezclas aéreas de polvos combustibles, etc.). Los aumentos de presión pueden alcanzar hasta 10 veces la presión inicial.
- **Combustión detonante o detonación:** cuando la velocidad de propagación es superior a la velocidad del sonido en el medio. Los efectos sonoros son superiores (combustión de mezclas aéreas de gases y vapores en determinadas circunstancias). Los aumentos de presión pueden alcanzar hasta 100 veces la presión inicial.
- **Explosiones:** cuando, debido a la velocidad de propagación muy rápida, se producen aumentos de presión que causan fenómenos destructivos. En este sentido las deflagraciones y las detonaciones son también explosiones.

Con lo anterior, definimos que existe una combinación de elementos para producir fuego. Éstos se resumen en el ya conocido triángulo del fuego, al cual recientemente se le ha agregado un cuarto elemento, la reacción en cadena, para convertirlo en el *Tetraedro del fuego* (ver Fig. 22).



*Fig. 22. Elementos del tetraedro del fuego.*

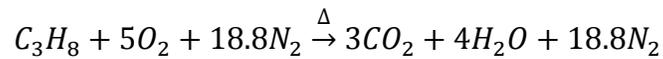
Un incendio es la manifestación del fuego de forma incontrolada. Las consecuencias del fuego pueden llegar a tener efectos catastróficos si no son controlados a la brevedad implicando importantes pérdidas humanas, económicas y de bienes materiales. Si bien existen gran cantidad de materiales y sustancias que pueden originar un incendio, son la facilidad con que se provoca la llama (punto de ignición), la velocidad con que se desarrolla el fuego (propagación de la llama) y la intensidad del mismo (velocidad de

liberación de calor) lo que define su ocurrencia. Conociendo el origen del fuego podemos determinar cómo extinguirlo o controlarlo.

## 12.2 PROCESO DE LA COMBUSTIÓN

Un material combustible en contacto con una fuente de ignición y en presencia de oxígeno del aire, puede reaccionar liberando energía (calor) y productos de combustión, algunos de los cuales pueden ser tóxicos si alcanzan concentraciones altas. Una mezcla de combustible-oxígeno estequiométrica arde con mayor facilidad pues la proporción de oxígeno presente sería la adecuada para quemar toda la sustancia combustible y transformarla en dióxido de carbono y agua (el nitrógeno aunque está presente en la misma proporción que en el aire, no participa en la reacción).

El siguiente es un ejemplo de combustión de gas propano:

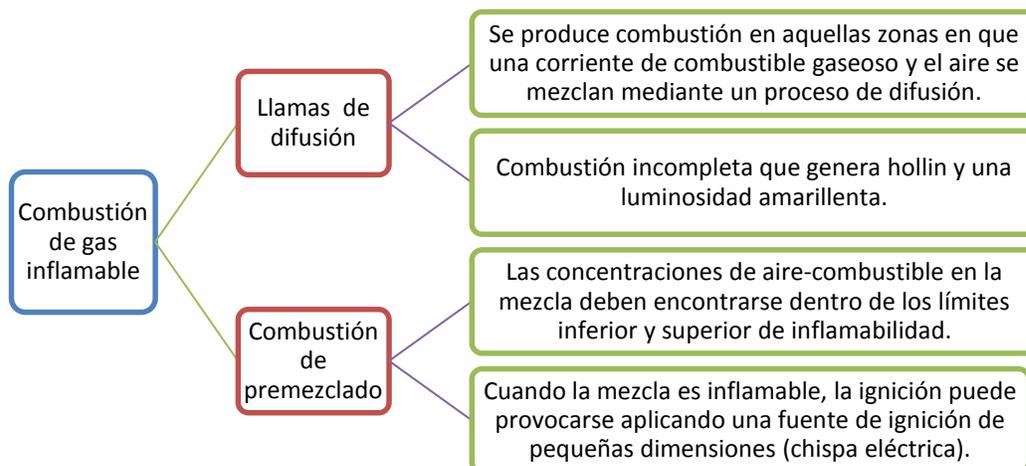


Alcanzando una concentración estequiométrica de aire-propano entre los límites inferior y superior de inflamabilidad (2.1 a 9.5 % volumen), se requeriría de una descarga de 0.3 mJ, para iniciar la combustión. Esto equivale a una pequeña chispa estática que se provoca cuando una persona camina sobre una alfombra sintética y toca un objeto conectado a tierra. “Para determinados gases reactivos como el hidrógeno, etileno o etino, bastarían cantidades aún menores de energía. En una atmósfera de oxígeno puro (libre de nitrógeno como diluyente), la energía necesaria sería incluso menor” (UNISDR, 2009, pág. 41.2).

## 12.3 LLAMAS DE DIFUSIÓN Y DE PREMEZCLADO

Un gas inflamable puede entrar en combustión de dos formas diferentes como se muestra en la siguiente tabla (ver Tabla 13):

*Tabla 13. Características de la combustión de un gas inflamable.*



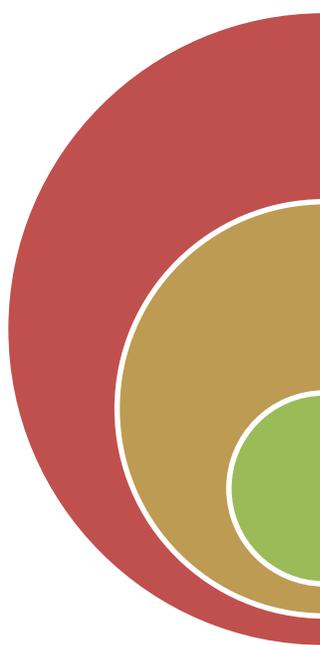
En los sólidos y líquidos sucede un fenómeno similar a la llama de difusión en gases, la diferencia radica en que la llama se alimenta de los vapores de la sustancia combustible generada en la superficie de la fase condensada. “En los combustibles líquidos se trata de un simple proceso de evaporación, pero en los sólidos debe existir una cantidad suficiente de energía para lograr la descomposición química del combustible y romper las grandes moléculas de polímero en fragmentos más pequeños capaces de evaporarse y escapar de la superficie” (UNISDR, 2009, pág. 41.2).

## 12.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA IGNICIÓN

Para producir la ignición de un combustible se deben considerar dos variables importantes.

- **Efecto de la temperatura:** Existen tres rangos de temperaturas de combustión características que poseen los materiales o sustancias combustibles, como se aprecia en la siguiente tabla (ver Tabla 14):

*Tabla 14. Efecto de la temperatura sobre la inflamabilidad de un combustible.*



<p><b>Punto de Autoinflamación</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura mínima en la cual el combustible emite vapores, en presencia de aire u otro comburente, y comienza a arder sin suministro de energía.</li> </ul>
<p><b>Punto de Inflamación</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura mínima en la cual el combustible emite suficientes vapores en presencia de aire u otro comburente y, tras suministrar momentáneamente una fuente de energía, se inflama y arde sin cesar.</li> </ul>
<p><b>Punto de Ignición</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura mínima en la cual el combustible emite suficientes vapores que, en presencia de aire u otro comburente, se inflama y arde si se mantiene la fuente de energía.</li> </ul>

Fuente electrónica: (Esparza, 2002, pág. 15)

- **Efecto de la concentración:** La ignición solo puede existir cuando la mezcla combustible-comburente se encuentra entre los límites de inflamabilidad (ver Tabla 15), los cuales se definen como los límites extremos de concentración de un combustible dentro de un medio oxidante en cuyo seno puede producirse una combustión.

Tabla 15. Características de los límites de inflamabilidad.

### Límite superior de inflamabilidad (LSI)

- Máxima concentración de vapores de combustible en mezcla con un comburente, por encima de la cual no se produce combustión.

### Límite inferior de inflamabilidad (LII)

- Mínima concentración de vapores de combustible, en mezcla con un comburente, por debajo de la cual no se produce la combustión.

### Rango de inflamabilidad

- Concentraciones intermedias entre ambos límites que forma mezcla capaz de entrar en combustión.

## 12.5 PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA

Los procesos de transferencia de energía (ver Fig. 23) se explican por tres mecanismos en estado estacionario, estos son:

**Conducción:** Fenómeno de transferencia de calor a través de sólidos que se representa por la siguiente ecuación (ver Ec. 8.5-1):

$$\varphi = \frac{k}{l} (T_1 - T_2) \quad \frac{kW}{m^2} \quad \dots \text{Ec. 8.5-1}$$

Donde  $k$  es una propiedad del material conocida como conductividad térmica (kW/mK) y  $l$  la distancia (m) a lo largo de la cual la temperatura desciende de  $T_1$  a  $T_2$  (en grados Kelvin).

**Convección:** Es la transferencia de calor a través de los fluidos hacia una superficie sólida o líquida siendo su ecuación correspondiente (ver Ec. 8.5-2).

$$\varphi = h(T_1 - T_2) \quad \frac{kW}{m^2} \quad \dots \text{Ec. 8.5-2}$$

Siendo  $h$  el coeficiente de transferencia de calor por convección (kW/mK), el cual depende de la configuración de la superficie y de la naturaleza del flujo que la atraviesa.

**Radiación:** Dicha transferencia de energía posee una longitud de onda mayor a la luz y no necesita un medio de propagación y se representa por la siguiente ecuación (ver Ec. 8.5-3):

$$\varphi = \varepsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad \frac{kW}{m^2} \quad \dots \text{Ec. 8.5-3}$$

Donde  $\varepsilon$  la emisividad (eficiencia de radiación de una superficie) y  $\sigma$  la constante de Stefan-Boltzman ( $56.7 \times 10^{-12} \text{ kW/m}^2\text{K}^4$ ).

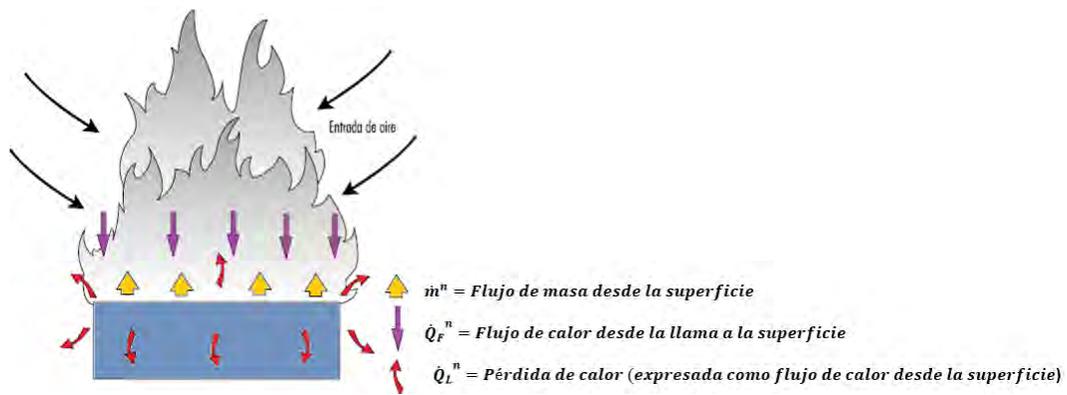


Fig. 23 Representación esquemática de los procesos de transferencia de calor y masa en la misma de una superficie en ignición.

## 13 APÉNDICE III. NORMAS OFICIALES MEXICANAS

---

Los siguientes apartados describen la normatividad oficial en relación a la seguridad contra incendios en nuestro país:

- **NOM-019-STPS-2011.** Constitución, integración, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene.

Esta norma establece los requerimientos para la creación de una comisión de seguridad e higiene dentro del centro laboral para apoyar a la investigación de los accidentes y enfermedades a los que están expuestos los trabajadores, en ejercicio o con motivo de su trabajo, para crear e implementar medidas de prevención de riesgos.

- **NOM-021-STPS-1993.** Relativa a los requerimientos y características de los informes de los riesgos de trabajo que ocurran, para integrar las estadísticas.

Esta norma pretende elaborar una estadística nacional de accidentes y enfermedades de trabajo en contubernio con las autoridades del centro de trabajo, la Comisión Mixta de Seguridad e Higiene, la Secretaria de Trabajo y Previsión Social, las Delegaciones Federales del Trabajo y con Conciliación y Arbitraje.

- **NOM-002-STPS-2010.** Condiciones de seguridad, prevención, protección y combate de incendios en los centros de trabajo.

Esta norma establece las condiciones de seguridad para la prevención contra incendios. Se aplica en aquellos lugares donde las mercancías, materias primas, productos o subproductos que se manejan en los procesos, operaciones y actividades que impliquen riesgos de incendio. Centros de trabajo con riesgo de incendio alto, además de contarse con sistemas de extinción de incendios portátiles, se requiere de un sistema fijo.

- **NOM-154-SCFI-2005.** Equipos contra incendio –extintores-. Servicio de mantenimiento y recarga.

Esta norma tiene por objeto definir los requerimientos y procedimientos que debe cumplir el servicio de mantenimiento y recarga de extintores portátiles y móviles sobre ruedas sin locomoción propia, a fin de garantizar su correcto funcionamiento durante el combate de fuegos incipientes de acuerdo a su diseño.

- **NOM-022-STPS-2008.** Electricidad estática en los centros de trabajo - condiciones de seguridad.

Esta norma describe el procedimiento para evaluar la resistencia de la red de puesta a tierra y precisa los factores que deben observarse para seleccionar el sistema de pararrayos, con el fin de evitar daños al centro de trabajo como consecuencia de las posibles descargas atmosféricas. A su vez, aplica en todos los centros de trabajo donde se almacenen, manejen o transporten sustancias inflamables o explosivas, y en aquellos que por la naturaleza de sus procesos empleen materiales, sustancias o equipos que sean capaces de almacenar o generar cargas eléctricas estáticas.

- **NOM-017-STPS-2008.** Equipo de protección personal. Selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

Esta norma establece los requisitos mínimos para que el patrón seleccione, adquiera y proporcione a sus trabajadores, el equipo de protección personal correspondiente para protegerlos de los agentes del medio ambiente de trabajo que puedan dañar su integridad física y su salud.

- **NOM-018-STPS-2000.** Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.

Esta norma obliga al patrón a comunicar, capacitar y adiestrar a todos los trabajadores del centro de trabajo, incluyendo al personal de los contratistas, en el sistema de identificación y comunicación de peligros y riesgos de sustancias químicas que se encuentren en el mismo, y que lo que debe estar identificado son los depósitos, recipientes y áreas que las contengan. Además, el patrón debe contar con las hojas de datos de seguridad de todas las sustancias químicas que se encuentren en su centro de trabajo.

- **NOM-029-STPS-2011.** Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo - condiciones de seguridad.

Dicha norma busca establecer las condiciones de seguridad para el mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo, a fin de evitar accidentes al personal responsable de llevarlas a cabo y a personas ajenas a dichas actividades que pudieran estar expuestas.

- **NOM-004-STPS-1999.** Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo.

El objetivo de esta norma es prevenir y proteger a los trabajadores contra los riesgos de trabajo que genera la operación y mantenimiento de la maquinaria, accesorios y equipo. El patrón debe identificar los riesgos, el grado de exposición e implementar medidas y dispositivos de seguridad para evitar accidentes.

- **NOM-005-STPS-1998.** Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.

Esta norma previene y protege la salud de los trabajadores y evita daños al centro de trabajo, mediante el estudio actualizado de los riesgos potenciales de sustancias químicas peligrosas, la elaboración de manuales de procedimientos de seguridad y la elaboración del manual y dispositivos de primeros auxilios.

## 14 APÉNDICE IV. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

La siguiente tabla extraída de (SEDESOL, 1994) exponen los principales métodos cualitativos, semicuantitativos y cuantitativos de análisis de riesgos (ver Tabla 18):

*Tabla 16. Técnicas más utilizadas en el análisis de riesgo.*

### Índice Mond

- Este método se basa en la peligrosidad de los productos y en el carácter crítico de los procesos; en función de sus antecedentes de operación en instalaciones similares, permite obtener índices numéricos de riesgo para cada sección de las instalaciones industriales, en función de las características de las sustancias manejadas, de su cantidad, del tipo de proceso, y de las condiciones específicas de operación.

### Análisis "What If..?"

- Esta técnica no requiere de métodos cuantitativos especiales ni de una planeación extensiva; utiliza información específica de un proceso para generar una serie de preguntas que son pertinentes durante el tiempo de vida de una instalación, así como cuando se introducen cambios al proceso o a los procedimientos de operación. Consiste en definir tendencias, formular preguntas, desarrollar respuestas y evaluarlas, incluyendo la más amplia gama de consecuencias posibles.

### Análisis de peligro

- Consiste en la identificación de eventos indeseables de alto riesgo a través del análisis de los mecanismos operativos de cada empresa, estimando la extensión, magnitud y probabilidad de los efectos. Implica la implementación de métodos cuantitativos sofisticados, aunque puede arrojar una incertidumbre considerable. Es un concepto de seguridad de procesos para protección del personal, instalaciones y comunidades.

### Índice Dow

- Éste intenta cuantificar anticipadamente daños potenciales por incendios y explosiones, identificando las causas y a los generadores, y traduciendo los riesgos potenciales a una valoración económica que permita jerarquizar decisiones. Este sistema separa los procesos industriales en sectores específicos identificando materiales, proceso y propiedades termodinámicas relevantes, requiriendo un diseño preciso de la unidad industrial analizada, diagramas de flujo del proceso, información económica de costos y beneficios, formatos sistematizados de reporte.

### Análisis de probabilidad de riesgo

- Es un proceso de estimación basado en la ocurrencia de eventos que pueden causar daños al personal, a las instalaciones y a las comunidades. Parte de definiciones matemáticas de riesgo en función de su frecuencia probabilística, magnitud y costo, en términos de sus consecuencias económicas, a la salud, e incluso a los ecosistemas.

## 15 APÉNDICE V. SÍNTESIS DE ÁRBOL DE DECISIONES

---

A continuación se explican más a fondo cada una de las preguntas que conforman la síntesis del Árbol de decisiones de Seguridad contra Incendios expuesto en la Fig 14.

La primera pregunta se respalda por el hecho de que existen materiales que pueden ser modificados química o físicamente y de esa forma, disminuir un riesgo de incendio. Un ejemplo de modificación química es cuando se adicionó un aditivo antidetonante a las gasolinas de antes para limitar el fenómeno de detonación, que posteriormente provocaron problemas con el convertidor catalítico y una expulsión de sales u óxidos de plomo venenoso para el ser humano y al ambiente y tuvieron que ser retiradas.

Hoy en día se desarrollan materiales que son frecuentemente modificados dependiendo a sus aplicaciones. Cuando tratamos el tema de los polímeros es imprescindible conocer sus propiedades físico químicas para controlar correctamente un incendio catastrófico, por ejemplo, algunos plásticos, del tipo granulado, expuestos a altas temperaturas pueden quemarse severamente propagando el incendio con facilidad. “Los bloques sólidos queman enérgicamente si están separados, por mayor superficie de contacto. En caso de combinaciones de plásticos y metal, se dan altas velocidades de quemado, porque el metal actúa como soporte estructural y se mantiene el aporte de comburente. Los fuegos en bloques sólidos y plásticos de alta densidad se desarrollan más lentamente que en caso de espumas o expandibles. Todas estas características exponen que posibles modificaciones se pueden aplicar a las sustancias o materiales de interés” (Giaccardi & Albarello).

Una modificación física podría ser desde la colocación de un recubrimiento no inflamable, cambiar el estado de agregación o colocar un aislante de calor. En algunos casos tal vez será más recomendable sustituir el material o sustancia.

La segunda pregunta trata del control de las condiciones ambientales el cual consiste en una alteración del entorno a fin de disminuir el riesgo de incendio. Esto podría involucrar colocar un sistema de enfriamiento y refrigeración para contrarrestar el flujo de calor en el ambiente y mantener en estado condensado aquellas sustancias que en presencia de calor se pueden gasificar y fugarse con facilidad.

La tercera pregunta requiere del control de las fuentes de energía calorífica permitiendo valorar si es necesario mantener cercana una fuente de energía a nuestro elemento de interés o no. En caso de ser afirmativo, deberemos optar por medidas de control en la velocidad de liberación de energía como un sistema de regulación automatizado que tenga un límite de calentamiento.

La cuarta pregunta cuestiona si es imprescindible la interacción entre el combustible y la fuente de energía; en tal caso, será necesario analizar las propiedades del material o sustancia, como su estado de agregación, a fin de controlar la transferencia de energía. En caso de no ser viable, será necesario suministrar una barrera de contacto o separarlos lo más posible.

Cuando alguno de los puntos anteriores no se puede cumplir o se falló la medida preventiva aplicada, es inminente la ocurrencia de un incendio y es menester recurrir a las medidas de control de la magnitud de éste.

La quinta pregunta considera la activación los sistemas de extinción de incendios automatizados y manuales, los cuales fueron ya mencionados en el capítulo 5.7.

La pregunta 6 y 7 tratan de la posibilidad de confinar un incendio dentro la instalación o construcción donde acontece el incendio. Un punto importante a considerar es si la construcción posee la suficiente estabilidad estructural y/o sistemas de venteo. Tal vez será necesario limitar el área y confinarla agregando barreras que inhiban la propagación del incendio.

La pregunta 8 se refiere al control del incendio mediante una modificación del combustible. Este puede lograrse mediante el corte o disminución de suministro. A través de un re direccionamiento de su salida. Afectando sus propiedades físicas y químicas agregando alguna sustancia que disminuya su inflamabilidad o por medio de cambios físicos. También un proceso de confinamiento y exacerbación de las llamas podría consumirlo rápidamente. Eliminación del comburente o afectación de la reacción en cadena.

La pregunta 9 nuevamente involucra la variación de las condiciones ambientales y las condiciones de operación cambiando la composición química del ambiente (disminuir concentración de oxígeno o comburente) o la modificación de las propiedades físicas del ambiente (disminución de temperatura o aumento de humedad excepto en incendios clasificación K o D).

Por último, las preguntas 10, 11 y 12, exponen la importancia de proteger a los elementos expuestos durante el incendio. Es un proceso exhaustivo sobre todo en los casos cuando se trata de personas. El tiempo es limitado y en la mayoría de las ocasiones, es preferible evacuar los elementos expuestos a través de rutas apropiadas y protegidas hasta un destino seguro. Esto es un trabajo de mucha coordinación por parte del personal de seguridad quienes deben proporcionar instrucciones claras y precisas. En caso de imposibilitarse la evacuación, los elementos deberán mantenerse lo más alejados del incendio, restringir su movilidad, protegerlos de los productos de la combustión y buscar estabilidad estructural por parte del inmueble.

## 16 BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] Banco Mundial. (Enero de 2014). *El Grupo del Banco Mundial*. Recuperado el 20 de Febrero de 2014, de México: panorama general: <http://www.bancomundial.org/es/country/mexico/overview>
- [2] Bestratén Belloví, M., & Turmo Sierra, E. (2006). *NTP 294: Explosiones BLEVE (II): medidas preventivas*. Obtenido de CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO: [http://www.jmcprl.net/ntps/@datos/ntp\\_294.htm](http://www.jmcprl.net/ntps/@datos/ntp_294.htm)
- [3] Campbell, F. T., Pfefferkorn, R., & Rounsaville, J. F. (1993). Sulfuric Acid and Sulfur Trioxid. En *Ullmans Encyclopedia of Industrial Chemistry* (5ta ed., págs. 635-699). Deerfield Beach, Florida, USA: Weinheim-VCH.
- [4] CENAPRED. (2001). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México*. México: Secretaría de Gobernación. Recuperado el 3 de Febrero de 2014, de [http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/1192013143.\\_DIAGNOSTICO.pdf](http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/1192013143._DIAGNOSTICO.pdf)
- [5] CNSF. (31 de Diciembre de 2012). *Información estadística de Incendio*. Recuperado el 21 de Febrero de 2014, de Comisión Nacional de Seguros y Fianzas: <http://www.cnsf.gob.mx/InformacionEstadistica/DetalladaSeguros/Paginas/Incendio.aspx>
- [6] Cortés Díaz, J. M. (2007). *Seguridad e Higiene del Trabajo. Técnicas de prevención de riesgos laborales*. (9a ed.). Madrid, España: Tebar. Recuperado el 25 de Febrero de 2014, de [http://books.google.com.mx/books?id=y9IE1LsvwwQC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=true](http://books.google.com.mx/books?id=y9IE1LsvwwQC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=true)
- [7] Esparza, F. (Febrero de 2002). *El fuego o combustión*. (A. d. Suhiltzailek, Ed.) Recuperado el 26 de Febrero de 2014, de Bomberos de Navarra: [http://www.bomberosdenavarra.com/documentos/ficheros\\_documentos/fuego.pdf](http://www.bomberosdenavarra.com/documentos/ficheros_documentos/fuego.pdf)
- [8] Excelsior. (01 de Febrero de 2013). Los accidentes más severos de Pemex desde 1984. *Excelsior Especiales*. Recuperado el 21 de Febrero de 2014, de <http://www.excelsior.com.mx/2013/02/01/882272>
- [9] G. Lesso, W., & C. Dale, Z. (1994). *HAZOP Study Methodology*. (U. o. Austin, Ed.) Texas: College of Engineering.
- [10] Giaccardi, L. L., & Albarello, A. G. (s.f.). *Cosmosat*. Recuperado el 29 de 03 de 2014, de NorOesteNoBonaerense: <http://www.noroestebonaerense.com.ar/Bomberos/BomberosNoroeste/Cursos/IncendiosMaterialesPlasticos/IncendiosMaterialesPlasticos.htm>
- [11] Goudsblom, J. (1995). *Fuego y Civilización*. Santiago, Chile: Andres Bello. Recuperado el 24 de Febrero de 2014, de [http://books.google.com.mx/books?id=2QmILqVwqAMC&dq=la+historia+del+fuego+y+el+desarrollo+del+hombre&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](http://books.google.com.mx/books?id=2QmILqVwqAMC&dq=la+historia+del+fuego+y+el+desarrollo+del+hombre&hl=es&source=gbs_navlinks_s)
- [12] Grant, C. C. (1998). Incendios. En OIT, *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo* (4ta ed., Vol. II). Ginebra-Madrid: OIT. Recuperado el 9 de Febrero de 2014, de

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/sumario.pdf>

[13] INEGI. (2013). *Información oportuna sobre la actividad industrial en México durante Diciembre de 2013*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags.: Comunicación Social.

Recuperado el 20 de Febrero de 2014, de

<http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/comunicados/actbol.pdf>

[14] Memorias estadísticas IMSS, 2003-2012. (29 de Octubre de 2013). *Información sobre Accidentes y Enfermedades de Trabajo Nacional 2003-2012*. Obtenido de Secretaria de Trabajo y Previsión Social: <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/estadisticas/Nacional%202003-2012.pdf>

[15] *Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad*. (s.f.). Recuperado el 28 de 03 de 2014, de Gobierno de España:

[http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/11\\_leg.pdf](http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/11_leg.pdf)

[16] Primer Informe de Gobierno. (2013). *Presidencia de la República*. Recuperado el 20 de Febrero de 2014, de [http://d5d3d27e1f3d539a162fa00104427ebc661a8d17f062b85c9f9a.r74.cf2.rackcdn.com/1\\_IG\\_DOCUMENTO\\_ESCRITO.pdf](http://d5d3d27e1f3d539a162fa00104427ebc661a8d17f062b85c9f9a.r74.cf2.rackcdn.com/1_IG_DOCUMENTO_ESCRITO.pdf)

[17] Sánchez Meza, R. (2004). *Ingeniería de protección contra incendios*. Distrito Federal, México.

[18] *scribd*. (s.f.). Recuperado el 24 de Febrero de 2014, de

<http://es.scribd.com/doc/62693194/Control-Total-de-Perdidas>

[19] Secretaría de Economía. (2013). Recuperado el 1o de Diciembre de 2013, de

<http://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/industria-y-comercio>

[20] SEDESOL. (1994). Prevención y Preparación de la respuesta en caso de accidentes químicos en México y en el Mundo. En *Serie Monografías* (Vol. 5).

[21] Storch de Gracia, J. M. (1998). *Manual de seguridad industrial en plantas químicas y petroleras*. Madrid, España: McGrawHill.

[22] Storch de Gracia, J. M., & García Martín, T. (2008). *Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Energéticas*. España: Díaz de Santos. Recuperado el 26 de Febrero de 2014

[23] Torrado del Rey, S. (2004). NTP 666: Sustitutos y alternativas para los halones de extinción. (M. d. Social, Ed.) *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, NTP(666)*, 10. Recuperado el 26 de Febrero de 2014, de

[http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp\\_666.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_666.pdf)

[24] UNISDR. (Mayo de 2009). *Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres*. Recuperado el 3 de Febrero de 2014, de Reducción del Riesgo de Desastres:

[http://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf)