



# **LICENCIATURA EN HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO**

**Cátedra: ERGONOMÍA**

**TP N°1:**

**Cálculo y Detección de Riesgos.**

**Docente: Lic. Cecilio Alberto Forés**

**Alumno: Edgardo Ariel Nerenberg**

**Oberá - 2015**

## Índice:

Resumen.....	1
Introducción.....	2
Condiciones Psico-Laborales.....	2
Condiciones Ergonómicas.....	3
Algunas Terminología Básicas.....	3
Valoración de Factores de Riesgos.....	4
Riesgos Industriales, Definición y Tipos.....	5
Métodos de Análisis de Riesgo.....	5
Identificación de Peligros.....	6
Método: Análisis Histórico de Accidentes.....	7
Método: Análisis de Peligros y Operabilidad (HAZOP).....	9
Método: Árboles de Fallos.....	13
Factores de Riesgo en Instalaciones Industriales.....	15
Índice FINE.....	16
Método SEPTRI.....	17
Método: Hazard Rating umber (HRN).....	18
Índice Meseri.....	19
Método Gretener.....	21
Indice “Evaluation du Risc d’incendie par le Càlcul” (índice ERIC).....	23
Índice de Pourt.....	24
Método de los coeficientes “K”.....	25
Método de los coeficientes “a”.....	26
Método IFAL.....	26
Índice de Incendio y Explosión de Dow Chemical.....	26
Índice Mond (desarrollado por ICI).....	27
Indice Unión des Chambres Synd. l’industrie du Petrole (método UCSIP)...	27
Índices de Riesgo de Procesos Químicos (INSHT).....	27
Índice Chemical Exposure Index de Dow (CEI).....	27
Norma IRAM 3528 - evaluación de riesgos de incendio (POURT).....	28
Conclusiones.....	33
Bibliografía.....	33

## Resumen:

En el presente práctico, vamos a encontrar diferentes definiciones a temas concernientes a los posibles riesgos laborales que pueden existir en los distintos establecimientos. Si bien el apunte apunta a manipulación de sustancias químicas, muchos de estos métodos, son de uso universal, para otros tipos de establecimientos.

Es importante el conocer y poder aplicar los métodos en forma indicada, para poder proteger la vida de los trabajadores y de la sociedad.

Poder distinguir los tipos de riesgos existentes y cuál es su naturaleza, como ser:

- Físicos
- Químicos
- Biológicos
- Ergonómicos
- Riesgo Psicolaboral, etc.

Para poder hacer lo anterior, debemos realizar las siguientes acciones:

- Recorrido a instalaciones e inspección directa.
- Entrevistas con trabajadores.
- Auto reporte de condiciones de trabajo.

Pero a la vez, necesario poder cuantificar esos riesgos, y de esta manera, analizar las medidas necesarias, para proteger a las personas y a los bienes materiales de la empresa.

En la siguiente tabla, podemos encontrar cuales son los métodos existentes, y en qué casos se aplica cada uno.

	Auditoría de seguridad	Análisis histórico de accidentes	Listas de control	Análisis preliminar de peligros	Qué pasa si ...?	HAZOP	FMEA	Árboles de fallos	Árboles de sucesos
Definición del proceso (I+D)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Experimentación planta piloto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Proyecto básico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Proyecto de detalle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ejecución de obra e inicio	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Operación normal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Modificaciones	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Estudio de incidentes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Abandono del proceso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Poco utilizado  
 Utilizado normalmente

*Fig. 2.1 Utilización de las técnicas identificativas del riesgo*

## Introducción:

En el mundo industrializado donde vivimos estamos expuestos a muchos tipos de riesgos y peligros. Muchos de ellos son tolerados por la sociedad, lo cual pasa a ser un tema más psicológico y sociológico que de carácter técnico.

Entre los factores que existen, podemos nombrar a dos que juegan un papel fundamental:

- El conocimiento o desconocimiento de las características del peligro en cuestión
- El hecho de que el riesgo sea sufrido voluntariamente o no.

En todo lo que tiene que ver con riesgos laborales, se hace fundamental, el poder conocerlos en base al estudio de cada puesto de trabajo, ya que si no se conocen los riesgos, no puede realizarse ninguna medida para proteger al trabajador.

Los riesgos pueden tener orígenes de diferente naturaleza, y ante cada uno, se debe adoptar la medida correctiva o preventiva necesaria. Por lo que hace necesario, conocer el origen de los diferentes riesgos industriales, para lo cual, se hace un análisis de Higiene del puesto de trabajo. Podemos nombrar los siguientes agentes de riesgo:

**a) Riesgos Físicos:** Son todos aquellos factores ambientales de naturaleza física que pueden provocar efectos adversos a la salud según sea la intensidad o el tiempo de exposición. Se clasifican en:

- **Energía mecánica:** Ruido, vibraciones, presión barométrica
- **Energía térmica:** Calor, frío
- **Energía electromagnética**
- **Radiaciones ionizantes:** Rayos X, rayos gama, rayos beta, rayos alfa y neutrones
- **Radiaciones no ionizantes:** Radiaciones ultravioleta, radiación visible, radiación infrarroja, microondas y radiofrecuencias

**b) Riesgo Químico:** Toda sustancia orgánica e inorgánica, natural o sintética que durante la fabricación, manejo, transporte, almacenamiento o uso, pueda incorporarse al aire ambiente y ser inhalada, entrar en contacto con la piel o ser ingerida, con efectos irritantes, corrosivos, asfixiantes o tóxicos y en cantidades o tiempos de exposición que tengan probabilidades de lesionar la salud de las personas. Se clasifican en:

- **Aerosoles,**
- **Gases y vapores**
- **Líquidos.**

**c) Riesgo Biológico:** Todos aquellos seres vivos ya sean de origen animal o vegetal y todas aquellas sustancias derivadas de los mismos, que pueden ser susceptibles de provocar efectos negativos en la salud de los trabajadores en la forma de procesos infecciosos, tóxicos o alérgicos. Se clasifican en:

- **Animales:** Vertebrados, invertebrados, derivados
- **Vegetales:** Musgos, helechos, semillas, derivados
- **Fungales:** Hongos
- **Protistas:** Amebas, plasmodium
- **Mónera:** Bacterias
- **Virus**

## CONDICIONES PSICO-LABORALES

**a) Factores de Riesgo Psicolaboral:** Se refiere a aquellos aspectos intrínsecos y organizativos del trabajo y a las interrelaciones humanas, que al interactuar con factores humanos endógenos (edad, patrimonio genético, antecedentes psicológicos) y exógenos (vida familiar, cultura, etc.), tienen la capacidad potencial de producir cambios en el comportamiento (agresividad, ansiedad, insatisfacción) o trastornos físicos o

psicosomáticos (fatiga, dolor de cabeza, espasmos musculares, alteraciones en ciclos de sueño, propensión a la úlcera gástrica, la hipertensión, la cardiopatía, envejecimiento acelerado). Su fuente depende de:

- **Tipos de organización y métodos de trabajo**
- **Contenido de la tarea**
- **Organización del tiempo de trabajo**
- **Relaciones humanas**
- **Gestión**

## CONDICIONES ERGONÓMICAS

**a) Factores de Riesgo por Carga Física:** Se refiere a todos los aspectos de la organización del trabajo, de la estación o puesto de trabajo y su diseño, que pueden alterar la relación del individuo con el objeto del trabajo produciendo problemas en la salud, en la secuencia de uso o la producción. Se clasifican en:

- **Carga estática:** Posturas de pie, sentado, cuclillas, rodillas, otras
- **Carga dinámica**
- **Esfuerzos:** Por desplazamientos (con carga o sin carga), al dejar cargas, al levantar cargas, visuales, otros grupos musculares
- **Movimientos:** Cuello, tronco, extremidades superiores, extremidades inferiores

### Algunas Terminología Básicas:

Debemos ser capaces de ponderar los riesgos que existen, para ello es necesario definir lo siguiente:

- **Riesgo:** Probabilidad de ocurrencia de un evento adverso.
- **Factor de Riesgo:** Es todo elemento cuya presencia o modificación aumenta la probabilidad de producir un daño o lesión en quien está expuesto a él.
- **Fuente del riesgo:** Condición presente en puestos y ambientes de trabajo o acción de las personas que generan el riesgo.
- **Panorama de Factores de Riesgo:** Llamado también Inventario de Condiciones de Trabajo, es un documento en el que se consigna y mantiene información sobre ubicación y valoración de los factores de riesgo presentes en las labores.
- **Consecuencias:** Resultado más probable (lesiones en las personas, daños a los equipos, al proceso o a la propiedad) como resultado de la exposición a un factor de riesgo determinado.
- **Probabilidad:** Posibilidad de que los acontecimientos de la cadena se completen en el tiempo, originándose las consecuencias no queridas ni deseadas.
- **Exposición:** Tiempo o frecuencia con que las personas o la estructura entran en contacto con el factor de riesgo.
- **Número de expuestos:** Número de personas relacionadas directamente con el riesgo.
- **Tiempo de exposición:** Medida del tiempo o de la frecuencia de exposición a un riesgo determinado.
- **Grado de Peligrosidad:** Indicador de la gravedad de un riesgo reconocido, calculado con base en sus consecuencias ante la probabilidad de ocurrencia y en función del tiempo o la frecuencia de exposición al mismo.
- **Medidas de control actual:** Acciones implementadas con el fin de minimizar la ocurrencia de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales.
- **Medidas de control recomendadas:** Medidas de prevención, control y/o de seguimiento recomendadas para minimizar los riesgos, tanto en la fuente generadora como en el medio transmisor y en los trabajadores.

**¿Cómo vamos a identificar los riesgos?** Debemos realizar las siguientes acciones:

- Recorrido a instalaciones e inspección directa.
- Entrevistas con trabajadores.
- Auto reporte de condiciones de trabajo.

## Desarrollo:

### VALORACIÓN DE FACTORES DE RIESGO:

Se realiza mediante una valoración cuali-cuantitativa, utilizando una escala para los riesgos que generan accidentes de trabajo y otra para los que generan enfermedades profesionales:

### ESCALA DE VALORACIÓN PARA FACTORES DE RIESGO QUE GENERAN ACCIDENTES DE TRABAJO

VALOR	CONSECUENCIAS
10	Muerte o daños superiores a 5 nóminas mensuales
6	Lesiones incapacitantes permanentes y/o daños entre 1 y 5 nóminas mensuales
4	Lesiones con incapacidades no permanentes y/o daños entre el 10 y 100% de la nómina mensual
1	Lesiones con heridas leves, contusiones, golpes y/o daños menores del 10% de la nómina mensual
VALOR	PROBABILIDAD
10	Es el resultado más probable y esperado si la situación de riesgo tiene lugar.
7	Es completamente posible, nada extraño. Tiene una probabilidad de actualización del 50%.
4	Sería una coincidencia rara. Tiene una probabilidad de actualización del 20%.
1	Nunca ha sucedido en muchos años de exposición al riesgo, pero es concebible. Probabilidad del 5%.
VALOR	EXPOSICIÓN
10	La situación de riesgo ocurre continuamente o muchas veces al día.
6	Frecuentemente o una vez al día.
2	Ocasionalmente o una vez por semana.
1	Remotamente posible

Estas valoraciones permiten jerarquizar los riesgos y establecer su Grado de Peligrosidad (GP), indicador de la gravedad ante la exposición a estos, calculado por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Grado de peligrosidad (GP)} = \text{Consecuencias (C)} \times \text{Exposición (E)} \times \text{Probabilidad (P)}$$

Una vez establecido el grado de peligrosidad, el valor obtenido se ubica dentro de la siguiente escala, obteniéndose la interpretación (alto, medio o bajo):

1	300	600	1000			
[	BAJO		MEDIO		ALTO	]

### Grado de Repercusión:

Finalmente se establece el Grado de Repercusión (GR) de cada uno de los riesgos identificados, indicador que refleja la incidencia de un riesgo con relación a la población expuesta.

Permite visualizar claramente cuál riesgo debe ser intervenido prioritariamente y resulta de multiplicar el valor del grado de peligrosidad por un factor de ponderación, que se establece con base en los grupos de usuarios expuestos a los riesgos que posean frecuencias relativas proporcionales a los mismos.

El Grado de Repercusión se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{G.R} = \text{G.P} \times \text{F.P (Factor de Ponderación)}$$

Los factores de ponderación se establecen con base en el porcentaje de expuestos del número total de trabajadores, tal como lo muestra la siguiente tabla:

## PONDERACIÓN GRADO DE REPERCUSIÓN

FACTOR DE PONDERACIÓN	% DE TRABAJADORES EXPUESTOS
1	1 – 20%
2	21 – 40%
3	41 – 60%
4	61 – 80%
5	81 – 100%

### RIESGOS INDUSTRIALES, DEFINICIÓN Y TIPOS:

- **Riesgo = frecuencia x magnitud consecuencias**
- **Peligro = aquello que puede producir un accidente o un daño.**

Debido a la gran variedad de riesgos, se han propuesto diversas clasificaciones; desde un punto de vista general, se pueden clasificar en las tres categorías siguientes:

- **Riesgos de categoría A:** son los inevitables y aceptados, sin compensación (por ejemplo morir fulminado por un rayo).
- **Riesgos de categoría B:** evitables, en principio, pero que deben considerarse inevitables si uno quiere integrarse plenamente en la sociedad moderna (por ejemplo: morir en un accidente aéreo o de automóvil).
- **Riesgos de categoría C:** normalmente evitables, voluntarios y con compensación (por ejemplo: practicar un deporte peligroso).

Desde el punto de vista más concreto de las actividades industriales, los riesgos pueden clasificarse en otras tres categorías:

- **Riesgos convencionales:** relacionados con la actividad y el equipo existentes en cualquier sector (electrocución, caídas).
- **Riesgos específicos:** asociados a la utilización o manipulación de productos que, por su naturaleza, pueden ocasionar daños (productos tóxicos, radioactivos).
- **Riesgos mayores:** relacionados con accidentes y situaciones excepcionales. Sus consecuencias pueden presentar una especial gravedad ya que la rápida expulsión de productos peligrosos o de energía podría afectar a áreas considerables (escape de gases, explosiones).

### MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGO

La evaluación de los diversos riesgos asociados a una determinada instalación industrial o, incluso, al transporte de mercancías peligrosas, se lleva a cabo, mediante el análisis de riesgos, orientado a la determinación aproximada de los aspectos siguientes:

- Accidentes que pueden ocurrir.
- Frecuencia de estos accidentes.
- Magnitud de sus consecuencias.

Hay que tener en cuenta siempre, que lo que se realizan son cálculos aproximados; la palabra *estimación* resulta, pues, más apropiada que *cálculo*.

## IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

### Conceptos previos

El primer requisito para una evaluación y una gestión correctas del riesgo industrial es la identificación de los distintos accidentes que razonablemente pueden producirse en una determinada instalación.

Las técnicas de identificación de peligros no se limitan sólo a la individualización de los accidentes mayores, sino también a la posibilidad de que se produzcan otros incidentes relacionados con el funcionamiento del proceso.

Las técnicas de identificación de peligros dan respuesta a las preguntas *¿qué puede funcionar mal?* y *¿por qué razón?* La respuesta a otras cuestiones como *¿con qué frecuencia?* y *¿qué efectos tiene?* se resuelven con otras técnicas probabilísticas y determinísticas del análisis del riesgo.

Para la identificación del peligro potencial de los procesos industriales, la tendencia de las últimas décadas ha sido desarrollar técnicas o métodos de análisis cada vez más racionales y sistemáticos.

El proceso racional de identificación se realiza en dos fases bien diferenciadas: la primera para detectar posibles accidentes, y la segunda para la caracterización de sus causas, o sea, los sucesos o cadenas de sucesos que provocan el incidente no deseado.

La primera fase es relativamente sencilla, pero debe realizarse con mucha atención ya que define el desenlace de la segunda.

Existen varios métodos, los cuales podemos dividirlos en 2 grande grupo:

- **Métodos cualitativos:** auditoría de seguridad (*Safety review*), análisis histórico de accidentes, análisis preliminar de peligros (*Preliminar Hazard Analysis, PHA*), listados de control (*Check lists*), *¿qué pasa si...?* (*What if...?*), análisis de peligro y operabilidad (*HAZard and OPerability analysis, HAZOP*) y análisis de modos de fallo y efectos (*Failure Modes and Effect Analysis, FMEA*).
- **Métodos semicuantitativos:** índice *Dow*, índice *Mond*, índice *SHI* y *MHI* (*Substance Hazard Index i Material Hazard Index*), árboles de fallos (*Fault Tree, FT*) y árboles de sucesos (*Event Tree, ET*)<sup>1</sup>.

Todas las técnicas de análisis mencionadas se caracterizan porque se desarrollan en tres etapas: preparación, realización del estudio propiamente dicho y documentación.

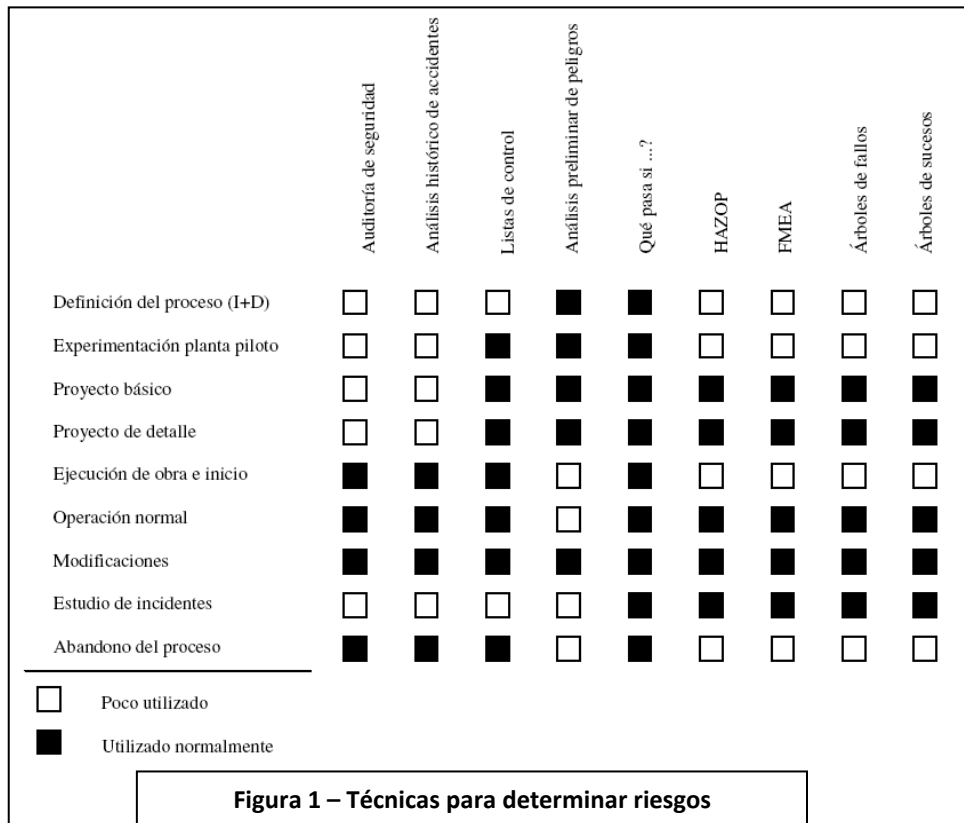
Las técnicas de análisis tienen características distintas, lo cual las hace apropiadas para ser aplicadas a diferentes etapas de la vida de una instalación o para proporcionar un nivel de detalle del estudio diferente.

La elección de una u otra técnica se debe efectuar a partir del conocimiento de las ventajas y desventajas de cada una, y de una correcta estimación de la duración del estudio (concepto siempre ligado a aspectos económicos).

Una estimación inadecuada de cualquiera de los aspectos (complejidad del proceso, etapa del proyecto, nivel de detalle que se quiere conseguir y recursos necesarios) suele desbaratar el estudio o simplemente producir resultados inadecuados a los objetivos planteados. La figura 1 muestra las técnicas de análisis que son utilizadas normalmente en las diferentes etapas de la vida de las instalaciones de proceso.

Los tres tipos de resultados que estos estudios pueden proporcionar son: un listado de situaciones peligrosas, la valoración de estas situaciones y una serie de medidas dirigidas a la reducción del riesgo asociado.





## MÉTODO: ANÁLISIS HISTÓRICO DE ACCIDENTES

### a) Descripción y objetivos

El análisis histórico de accidentes es una técnica identificativa orientada a la búsqueda de información de accidentes industriales ocurridos en el pasado. Esta técnica de análisis es esencialmente cualitativa pero también permite extraer resultados numéricos o cuantitativos si el número de accidentes es suficientemente significativo y permite un análisis estadístico. La técnica se basa en una recopilación de accidentes con productos químicos de banco de datos.

Si existe información suficiente de accidentes registrados, puede haber una deducción de información significativa. En estas condiciones es posible observar una determinada “pauta” presente en el origen de un determinado porcentaje de incidentes. En otras ocasiones es posible simplemente identificar un cierto número de situaciones, operaciones o errores que han favorecido el inicio de un accidente en un tipo de instalación determinado.

En todos estos casos, el conocimiento de la información adecuada permite, de alguna manera, el establecimiento de “puntos débiles” en el sistema cuya seguridad quiere estudiarse.

Esta experiencia real, sólo puede utilizarse en aquellos casos, en los que se dispone de una información completa sobre el accidente: causas iniciales, secuencia posterior, condiciones ambientales, etc. Por ello la investigación de cualquier accidente y el posterior almacenamiento de la información en un archivo adecuado tan importante.

La palabra *accidente* comprende no sólo los accidentes ocurridos sino también los *casi-accidentes*, es decir, aquellas situaciones que, de no haberse controlado a tiempo, fácilmente hubieran podido terminar en un auténtico accidente.

### b) Recogida de información

*La recogida de información de un accidente debe constituir una verdadera investigación. El estudio detallado del accidente puede enfocarse, a grandes líneas, de dos formas distintas:*

- *Evaluación de la magnitud de las consecuencias: daños a personas, bienes o medio ambiente.*
- *Establecimiento de la situación que existía con anterioridad al accidente y de la secuencia de sucesos que lo provocaron.*

*El conjunto de estas dos vías de investigación permite elaborar el historial del accidente. La información, para ser realmente útil, debe cumplir las condiciones siguientes:*

- *Ser registrada sistemáticamente en un archivo.*
- *Contener la referencia de las fuentes originales.*
- *Ser asequible desde distintas entradas.*
- *Admitir un tratamiento estadístico de datos.*

*Todas estas condiciones justifican la necesidad de establecer bancos de datos. La forma como se debe recoger y archivar la información se comenta en el siguiente apartado.*

### **c) Bancos de datos de accidentes**

*La estructura de un banco de datos de este tipo depende esencialmente de dos factores:*

- *el tipo de usuario previsto*
- *las fuentes de información.*

*El tipo de usuario determina la necesidad de profundizar en la secuencia del accidente o en sus consecuencias, o bien en los dos aspectos simultáneamente.*

*Las fuentes de información pueden abarcar también preferentemente uno de estos dos aspectos; en todo caso, debe tenerse en cuenta que la información suele ser fragmentaria e incompleta, por lo cual el sistema de captación y archivo empleado no puede consentir rehusarla. Las fuentes de información más usuales son:*

- ***Informes redactados en la misma industria.***
- ***Información pública.***
- ***Sumarios judiciales.***
- ***Investigaciones de la administración***
- ***Archivos de empresas aseguradoras.***

*La recogida de información debe efectuarse de forma sistemática, teniendo especificado con claridad qué datos deben registrarse y con qué nivel de detalle. De forma general, debe comprender los siguientes aspectos:*

- *Identificación de la actividad.*
- *Tipo de actividad (transporte, proceso, carga, etc.).*
- *Tipo de industria (petroquímica, farmacéutica, etc.).*
- *Tipo de proceso (producción de acrilonitrilo, etc.).*
- *Principales substancias implicadas.*
- *Tipo de accidente: incendio, explosión, nube tóxica, escape de producto, etc.*
- *Identificación del accidente: fecha y hora, causa o suceso inicial, secuencia, sistemas implicados en la secuencia, etc.*
- *Identificación de las consecuencias sobre la población interna y externa, sobre la planta y sobre el medio ambiente.*
- *Medidas adoptadas para evitar nuevos accidentes.*

*Esta información se recoge en unos formularios. La elaboración de estos formularios no es tarea fácil, ya que deben ser claros y a su vez suficientemente detallados como para admitir cualquier tipo de información disponible. Es interesante advertir la conveniencia de que este trabajo sea llevado a cabo por personal especializado*

*Es muy importante tener en cuenta, cuando se utiliza la información contenida en un banco de datos sobre accidentes, o especialmente cuando se introduce dicha información, que cualquier razonamiento o cálculo basado en información o datos dudosos conduce irremediabilmente a resultados dudosos.*

#### **d) Metodología de análisis**

*El método de análisis no está excesivamente estructurado. El acceso a las bases de datos suele realizarse mediante palabras clave. Estas palabras clave permite acotar la información y llegar a la identificación de los accidentes que pueden ser interesantes para el estudio.*

*Después de una evaluación de la información, ésta se ordena y, si los datos lo permiten, se procesa estadísticamente para obtener resultados numéricos que faciliten su interpretación.*

#### **e) Advertencias y limitaciones**

*Las principales limitaciones del análisis histórico de accidentes son:*

- *La instalación objeto de estudio no es exactamente igual a las que ya han sufrido accidentes.*
- *El número de accidentes que han ocurrido en el pasado y de los cuales se tiene información es limitado, y estos accidentes no son representativos de todos los que pueden ocurrir.*
- *La información de los accidentes suele ser incompleta y, en muchas ocasiones, inexacta o de uso restringido.*
- *No da información sobre todos los accidentes posibles sino únicamente sobre los que han sucedido y se han documentado hasta la fecha.*
- *El acceso a los bancos de datos implica un cierto coste.*

*Todas estas limitaciones hacen del análisis histórico de accidentes una técnica de identificación muy interesante, pero que debe ser complementada con otros estudios de índole más sistemática (análisis HAZOP, árboles de fallos, etc.).*

#### **f) Resultados y aplicabilidad**

*El resultado principal de los análisis históricos de accidentes es una lista de accidentes que efectivamente han sucedido, por lo que el riesgo identificado es indudablemente real y permite el establecimiento de puntos débiles y operaciones críticas en instalaciones similares.*

*Los resultados permiten dar una idea general del riesgo potencial de la instalación y verificar los modelos de predicción de efectos y consecuencias de accidentes con datos reales.*

*El análisis histórico de accidentes es de aplicación limitada para instalaciones con procesos innovadores de los cuales no existe una experiencia previa.*

### **MÉTODO: ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP)**

#### **a) Descripción y objetivo**

El análisis de peligros y operabilidad (*HAZard and OPerability Analysis, HAZOP*), en un método que fue diseñado en Inglaterra por Imperial Chemical Industries (ICI).

El análisis HAZOP es una técnica **deductiva** para la identificación, evaluación cualitativa y prevención del riesgo potencial y de los problemas de operación derivados del funcionamiento incorrecto de un sistema técnico. Se fundamenta en el hecho de que las desviaciones en el funcionamiento de las condiciones normales de operación y diseño suelen conducir a un fallo del sistema. La identificación de estas desviaciones se realiza mediante una metodología rigurosa y sistemática. El fallo del sistema puede provocar desde una parada sin importancia del proceso hasta un accidente mayor de graves consecuencias.

#### **b) Metodología del análisis**

El paso previo para el desarrollo del análisis es la definición del objetivo y el alcance del estudio, de los límites físicos de la instalación o el proceso que se quiera estudiar y de la información requerida.

Además debe estudiarse el sistema o proceso ya definido para conocer la información disponible, prepararla y organizar el equipo de estudio, y planear la secuencia de estudio y las sesiones de trabajo.

Después del estudio previo se puede comenzar el análisis. El primer paso es la selección de los elementos críticos que deben estudiarse (depósitos, reactores, separadores, etc.).

A continuación, sobre cada *nodo de estudio*, de forma secuencial y repetitiva, se aplican las *palabras guía* (*no, más, menos, otro, parte de, etc.*) a cada una de las condiciones de operación del proceso, las sustancias y las variables que intervienen (flujo, presión, temperatura, nivel, tiempos, etc.). Operando de esta manera se generan las desviaciones significativas de las condiciones normales de operación y se realiza un repaso exhaustivo de los posibles funcionamientos anómalos.

Las principales *palabras guía* propuestas originalmente por ICI y los parámetros de proceso a los que se aplican se muestran en la tabla 1. Un caso particular es el estudio de procesos discontinuos y manuales operativos, donde se toman las operaciones propiamente (carga, descarga, etc.) como parámetro sobre las cuales aplicar las palabras guía.

Toda la información del análisis es documentada ordenadamente en forma de tabla 1, lo cual permite la evaluación cualitativa de las medidas de control y seguridad. A partir de esta información es relativamente sencillo implementar nuevas medidas para la mejora de la seguridad y fiabilidad del sistema.

La metodología inicialmente desarrollada por ICI propone la aplicación de las *palabras guía* a todas las líneas de flujo de todos los equipos principales que conformen la instalación. Actualmente, las desviaciones se generan en un número de equipos seleccionados según diferentes criterios.

<i>Palabra guía</i>	<i>Significado</i>	<i>Parámetro de proceso</i>	<i>Ejemplos de desviación</i>
NO	Negación de la intención del diseño	Temperatura Presión Nivel Reacción Composición Caudal Velocidad Tiempo Viscosidad Mezcla Voltaje Adición Separación pH	“No” + “Caudal” = Falta de caudal
MENOS	Disminución cuantitativa		“Menos” + “Nivel” = Bajo nivel
MÁS	Aumento cuantitativo		“Más” + “Presión” = Presión excesiva
OTRO	Sustitución parcial o total		“Otra” + “Composición” = Presencia de impurezas
INVERSA	Función opuesta a la intención de diseño		“Inverso” + “Caudal” = Flujo inverso

**Tabla 1 - Resumen de palabras guía y variables de proceso utilizadas en los análisis HAZOP**

En la actualidad, hay modificaciones al protocolo de análisis, donde se mantienen la utilización de las *palabras guía* para generar las desviaciones. Estas modificaciones se efectúan sobre dos aspectos:

- Modificación del protocolo de análisis para la generación de desviaciones, mediante la introducción de criterios para la selección de nódulos críticos de estudio, utilización de listados de control, etc.
- Modificación de las cabeceras de las tablas de documentación del análisis, añadiendo columnas, índices numéricos, etc.

SOCIEDAD: LOCALIDAD: INSTALACIÓN:				FECHA: Revisión: Plano núm.	
PALABRA GUÍA	VARIABLE	DESVIACIÓN	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS POSIBLES	MEDIDAS CORRECTORAS

**Tabla 2 – Modelo orientativo de HAZOP**

### **c) Organización del estudio**

Los análisis HAZOP son, en general, estudios multidisciplinarios. La ejecución del estudio HAZOP requiere un conocimiento detallado del sistema que se quiere auditar y del protocolo de análisis. Esta característica condiciona que el trabajo se realice en equipo, donde debe haber representantes de las distintas áreas de conocimiento implicadas en el proceso. Los miembros de los equipos de trabajo son de dos tipos: los técnicos y los analistas de riesgo.

Los técnicos implicados en el estudio soportan el apartado técnico. Los componentes deben ser especialistas en las áreas de conocimiento implicadas en el estudio; es aconsejable que sean verdaderos expertos. Las áreas de conocimiento implicadas en cada estudio pueden variar substancialmente en función del objeto del mismo (refinerías, plantas químicas, centrales eléctricas, centrales nucleares, parques de almacenamiento de combustible, etc.) y del objetivo del estudio que se quiere desarrollar: diseño de nuevas instalaciones, revisión de instalaciones en funcionamiento, modificaciones, etc.

Es recomendable que el número de especialistas que elaboran el estudio sea entre tres y seis; grupos menores pueden presentar una falta de conocimiento en determinados campos y grupos mayores suelen tener problemas organizativos.

Los analistas de riesgo deben dar soporte logístico al estudio, es decir, dirigir, moderar y documentar el análisis. Los analistas deben ser especialistas en aplicar la metodología HAZOP. Como tareas previas al desarrollo del HAZOP, tienen que definir el objetivo y el alcance del estudio, seleccionar el equipo técnico y formarlo en el método de análisis.

### **d) Requisitos y limitaciones**

El método de análisis HAZOP presupone tres hipótesis:

- La instalación está bien diseñada, en relación con la experiencia, el conocimiento de los procesos implicados y la aplicación de las normas y códigos pertinentes.
- Los materiales de construcción han sido los adecuados y la construcción y el ensamblaje se han hecho correctamente.
- Los análisis son una "fotografía instantánea" donde se mezclan sucesos de efecto inmediato con sucesos de elevada inercia temporal.

Los análisis HAZOP requieren, para ser desarrollados, que por lo menos el diseño del proceso sea completo en las partes más esenciales y que, en instalaciones en funcionamiento, la información esté actualizada. El grado de detalle de la información disponible condiciona el grado de detalle y la corrección del análisis.

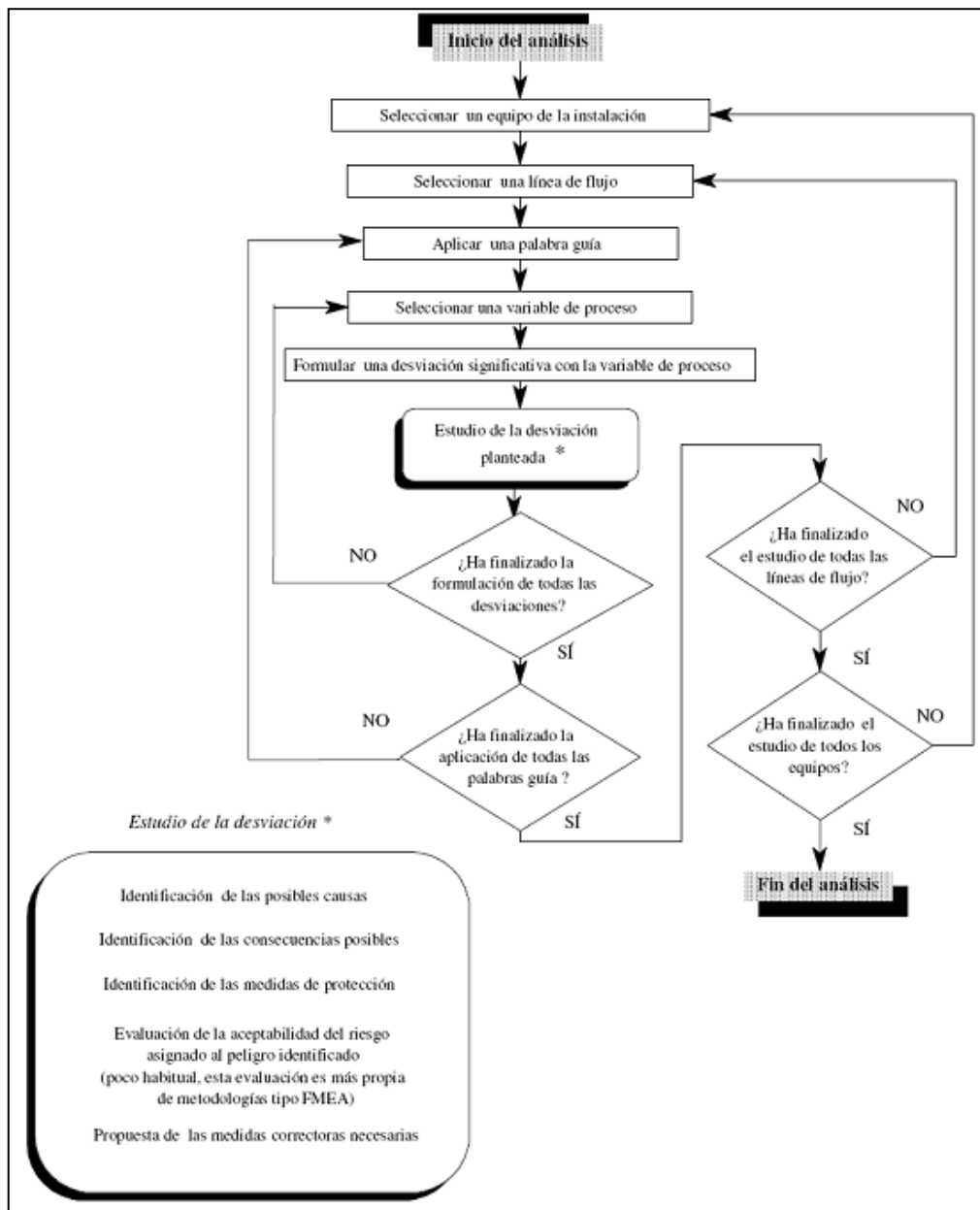
### **e) Resultados y aplicabilidad**

El resultado principal de los análisis HAZOP es un conjunto de situaciones peligrosas y problemas operativos y una serie de medidas orientadas a la reducción del riesgo existente o a la mitigación de las consecuencias de los problemas operativos. Estas medidas se dan en forma de cambios físicos en las instalaciones, modificaciones de protocolos de operación o recomendaciones de estudios posteriores para evaluar con más detalle los problemas identificados o la conveniencia de las modificaciones propuestas.

El análisis HAZOP es un instrumento de estudio muy indicado para procesos en fase de diseño y construcción, donde la documentación está totalmente actualizada y las recomendaciones del análisis no suponen modificaciones costosas ni paros en la planta. Por otro lado, a causa de la laboriosidad del método y del grado de detalle que el estudio proporciona, el análisis HAZOP sólo es indicado para instalaciones específicas y no como método general de análisis.

Materia	Información requerida
Ingeniería del proceso	Estudios previos realizados Emplazamiento de la instalación Diagramas P&I (incluyendo la descripción detallada de la instrumentación) Descripción de la operativa de bloqueo de la instalación (automática y manual) Disponibilidad de los servicios Química del proceso (si es necesario) Inventario de productos (si es necesario)
Substancias	Peligrosidad: características físicoquímicas (inflamabilidad, explosividad, estabilidad, reactividad, etc.) Toxicidad: dosis de exposición, efectos sobre la salud, etc.
Equipamiento	Características: materiales de construcción (normas de diseño, etc.), condiciones de trabajo y límites de operación (temperatura y presión máximas, etc.)

**Tabla 3 - Información mínima requerida para la realización de los análisis HAZOP**



**Figura 2 – Diagrama de flujo para implementar el método HAZOP**

## MÉTODO: ÁRBOLES DE FALLOS

### a) Descripción y objetivo

La elaboración de árboles de fallos (*Fault Tree (FT)*) es una técnica de análisis creada por Bell Telephone Laboratories.

La utilización de árboles de fallos es una técnica **deductiva** que se aplica a un sistema técnico o proceso para la identificación de los sucesos y las cadenas de sucesos que pueden conducir a un accidente o un fallo global de un sistema. Esta técnica permite asimismo la cuantificación de la probabilidad o frecuencia con que puede producirse un suceso, es decir, calcular la no fiabilidad del sistema.

La ventaja principal de esta técnica es su representación gráfica, que facilita la comprensión de la causalidad; de hecho, un árbol de fallos como tal es un modelo gráfico en forma de árbol invertido que ilustra la combinación lógica de fallos parciales que conducen al fallo del sistema.

La relación lógica entre los sucesos es representada por los operadores lógicos Y, O, INH (el operador condicional) utilizados en álgebra booleana.

### b) Definiciones

Accidente o fallo del sistema (denominado también suceso no deseado o *top event*): son situaciones excepcionales objeto de estudio mediante la elaboración y análisis de árboles de fallos. Estos accidentes se analizan mediante las demás técnicas identificativas comentadas en este capítulo.

Los fallos que se dan en sistemas técnicos pueden ser básicamente de dos tipos :

- Fallos primarios: aquellos atribuibles a defectos de los componentes y no a la interacción con el exterior (por ejemplo, una soldadura mal hecha, etc.).
- Fallos secundarios: aquellos atribuibles a la interacción del exterior con los componentes (por ejemplo, la rotura de un motor eléctrico por giro inverso al conectar las fases al revés, etc.). Estos siempre son el resultado de condiciones anómalas de funcionamiento y tienen una causa bien definida.

La distinción de los conceptos (sucesos iniciadores, protecciones del sistema e intervención operativa) ayudan en la elaboración y comprensión del árbol:

- Los sucesos iniciadores, también denominados sucesos o fallos primarios, son los responsables primeros de una variación no deseada en el proceso.
- Las protecciones del sistema son aquellas que permiten frenar la propagación de esta desviación de las condiciones normales de operación y se representan mediante las puertas lógicas INH.
- La intervención operativa es la última intervención del operador para evitar que se produzca el suceso no deseado.

Los conjuntos mínimos de corte o conjuntos minimales (*minimal cut sets*) son los diferentes conjuntos de fallos críticos que al producirse provocan la anomalía global del sistema. El conocimiento de estos conjuntos de fallos primarios permite detectar los puntos débiles de la instalación analizada con la metodología del árbol de fallos.

### c) Metodología de elaboración y de análisis

#### c.1) Elaboración

El primer paso para la elaboración de un árbol de fallos es un estudio previo del sistema o proceso con el fin de determinar los incidentes susceptibles de ser analizados y evaluados.

Este estudio suele realizarse con otras técnicas de identificación: análisis histórico de accidentes, análisis HAZOP, etc. Una vez determinados los accidentes que se quieren desarrollar, deben establecerse los límites de la instalación: límites físicos, nivel de detalle de la resolución, condiciones iniciales de funcionamiento y otros supuestos.



Seguidamente, y de manera secuencial, es necesario identificar los fallos de los elementos y las relaciones lógicas que conducen al accidente. La identificación de los sucesos y las cadenas de sucesos se hace partiendo de la eventualidad no deseada y deduciendo la combinación lógica de incidentes que lo pueden desencadenar de forma recurrente. El primer paso es la determinación de los sucesos más inmediatos necesarios y suficientes para que se produzca el fallo del sistema.

Con esta forma de operar, para cada nuevo hecho planteado, se generan los árboles de fallos. El proceso finaliza cuando todos los fallos identificados son primarios y no es posible determinar sus causas.

### c.2) Análisis

Los árboles de fallos contienen la información de cómo la concatenación de diferentes fallos conduce al fallo global del sistema. Esta información no resulta muy evidente en árboles de fallos de tamaño considerable y debe, resolverse el modelo lógico que representa el árbol.

Esta resolución se denomina análisis del árbol y consiste principalmente en encontrar la combinación de fallos primarios que pueden producir el accidente estudiado. El proceso de resolución implica la aplicación del álgebra de Boole y permite el análisis cualitativo y cuantitativo. Esta información permite implementar y priorizar medidas para la mejora de la seguridad y la fiabilidad del sistema.

El análisis cualitativo posibilita conocer los conjuntos mínimos de corte que representan una manera distinta de llegar al suceso no deseado. Los métodos cualitativos de análisis de árboles de fallos son básicamente:

- Métodos analíticos: el árbol se transforma en una función lógica mediante el álgebra de Boole
- Cálculo matricial: el árbol se transforma en una matriz, que se manipula con reglas derivadas del álgebra de Boole.
- Métodos numéricos: (método de Monte Carlo), sólo utilizados en programas de ordenador.
- Métodos de reconocimiento de estructuras: utilizados en programas de ordenador, en los cuales se comparan los árboles con estructuras existentes en bases de datos.

El análisis cuantitativo permite calcular básicamente la frecuencia de acontecimiento de un accidente y la indisponibilidad del sistema. Para poder efectuar el análisis cuantitativo se precisa conocer el tiempo de funcionamiento de la instalación y las tasas de fallos, el tiempo de reparación, la indisponibilidad, y el tiempo de comprobación para cada componente.

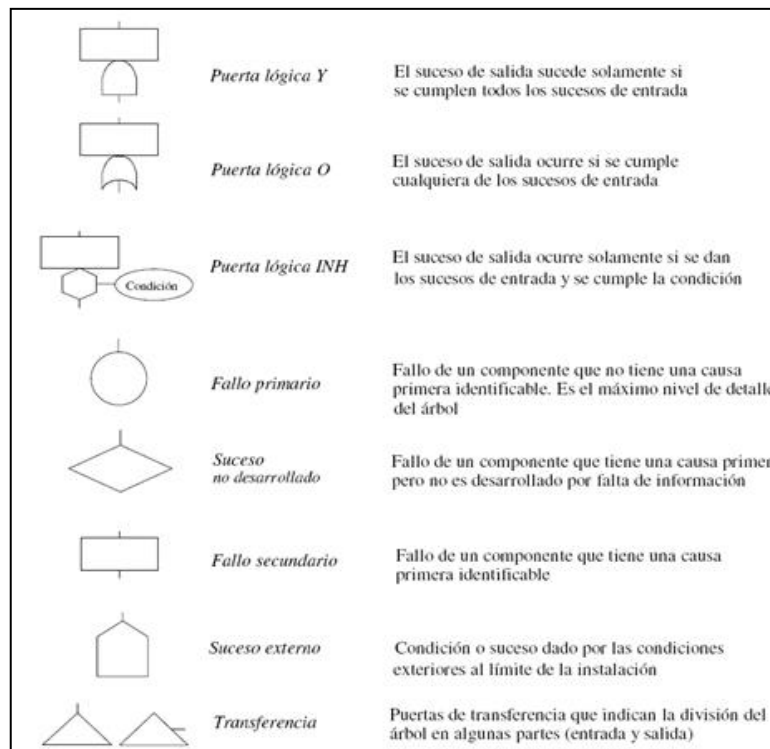


Gráfico 3 – Gráficas básicas para formar el árbol de fallo.



#### ***d) Requisitos y limitaciones***

La elaboración de árboles de fallos requiere una elevada formación técnica, junto con un conocimiento detallado del sistema o proceso y de sus modos de fallo.

Además, se requiere que por lo menos la información sobre el proceso sea completa en las partes más esenciales. El nivel de detalle de la información disponible condiciona el nivel de detalle del análisis; el desarrollo progresivo del árbol requiere aún más nivel de detalle.

La limitación principal de la metodología es que únicamente se pueden representar fallos “totales”, es decir, los componentes no pueden funcionar a medias, sino que siempre se considera el fallo completo del elemento involucrado en la cadena de sucesos que conduce al accidente. Los árboles de fallos son “fotografías instantáneas”, donde se mezclan acontecimientos de efectos inmediatos y otros de elevada inercia temporal.

#### ***e) Resultados y aplicabilidad***

El interés de los árboles de fallos para la identificación de riesgos reside en la capacidad de identificar la combinación de fallos críticos del sistema que produce el accidente, es decir, los conjuntos mínimos de corte. Esto permite priorizar las medidas correctivas para evitar el desarrollo del accidente.

Normalmente, los árboles de fallos se utilizan para estudiar situaciones particulares que requieren de un estudio más detallado y que otras técnicas de identificación han señalado como críticas.

Otra utilidad de los árboles de fallos es la comparación de modificaciones en el diseño de la instrumentación de control y en las medidas de seguridad de instalaciones concretas.

### **FACTORES DE RIESGO EN INSTALACIONES INDUSTRIALES**

Se busca determinar cuáles son los factores más influyentes en la gravedad de los accidentes industriales con sustancias peligrosas y tener una imagen general de todas aquellas variables que afectan a sus probabilidades de ocurrencia (frecuencia), efectos y consecuencias.

Los factores identificados deberán complementarse con aquellos que el análisis cuantitativo de riesgos utiliza para determinar el riesgo de afectación sobre las personas (densidad de población en la zona de influencia, equipos de protección individual o colectiva, facilidad de evacuación, etc.).

Un índice, es un valor numérico que pretende medir una característica determinada del objeto de un estudio, comparándolo con otros de referencia. Un índice de riesgo tecnológico, por tanto, intenta evaluar el riesgo inherente de una instalación o proceso industrial, por comparación con otros considerados estándares, mediante el uso de unas listas de comprobación cuantificada y más o menos detallada según el índice utilizado [RODRIGUEZ 1986].

Para su aplicación es preciso estimar una serie detallada de parámetros. Algunos de estos parámetros son de tipo cualitativo, otros son semi-cuantitativos (se asignan valores de una escala numérica de intervalo, pero esta asignación es criterio subjetivo del experto analista) y otros son cuantitativos, obtenidos a través de funciones o de las propiedades físico-químicas de los materiales (por ejemplo la entalpía de combustión).

El análisis de riesgos mediante índices es una técnica muy difundida. Su principal característica es que permite obtener resultados semi-cuantitativos con mucha rapidez.

Dentro de los factores de riesgos, podemos definir 3 categorías diferentes: Basados en la definición del riesgo, Basados en la carga de fuego, y Basados en la peligrosidad de las sustancias. Los métodos para cada tipo, son los siguientes:

BASADOS EN LA DEFINICIÓN DE RIESGO (grado de descripción bajo)	BASADOS EN LA CARGA DE FUEGO (grado de descripción medio)	BASADOS EN LA PELIGROSIDAD DE LAS SUSTANCIAS (grado de descripción alto)
Fine	MESERI	IFAL
SEPTRI	Gretener	F&E (de Dow)
HRN	Eric	Mond (de ICI)
	Purt	UCSIP
	Carga de fuego ponderada	IRPQ (de INSHT)
	Coefficientes K	CEI (de Dow)
	Coefficientes $\alpha$	

Tabla 4 – Diferentes métodos de análisis de riesgos.

## ÍNDICES BASADOS EN LA DEFINICIÓN MATEMÁTICA DE RIESGO

### Índice FINE:

El método FINE fue elaborado y publicado en 1975 [FINE 1975] y pretende la estimación de la esperanza matemática de la pérdida con el objeto de priorizar sus correcciones. El fundamento matemático es el siguiente:

$$GP = C \cdot E \cdot P$$

#### Donde:

- GP: grado de peligrosidad
- C: coeficiente de las consecuencias
- E: coeficiente de exposición al riesgo
- P: probabilidad de ocurrencia del suceso.

A la vista de este planteamiento, resulta evidente la correspondencia que existe entre esta definición y la de esperanza matemática de la pérdida.

Se trata de un método no exclusivo de la industria química, en principio apto para valorar cualquier tipo de peligro, de aplicación prácticamente universal y muy simple pero con poca especificidad y selectividad. Su grado de representación de la realidad de un riesgo concreto es prácticamente nulo.

Frente a esta categorización absoluta del parámetro "consecuencias" se han propuesto otras de tipo porcentual en las que se indica el porcentaje de la instalación analizada que resultaría dañado o afectado por el riesgo estudiado (es el caso del método IFAL).

Una aportación adicional es el cálculo del Factor de Justificación, por el cual, en función del grado de peligrosidad calculado para un riesgo concreto, del coste asociado a su corrección y del nivel de corrección conseguido, se determina qué alternativas correctoras conviene adoptar, priorizando las de mejor rendimiento frente a las demás:

$$FJ = \frac{GP}{FC \times GC}$$

donde:

- FJ : factor de Justificación
- FC: factor de coste
- GC: grado de corrección.

Así, una medida de corrección cara, que aporte una mejora relativamente pequeña a un riesgo grande, dará como resultado un valor de justificación bajo (inferior a 10), por lo que se aconsejará la adopción de otras medidas más efectivas. Por el contrario, una medida económica pero muy efectiva en la reducción del riesgo, daría como resultado un factor de justificación muy elevado.

## Método SEPTRI

La denominación completa del método es “Sistema de Evaluación y Propuesta de Tratamiento de Riesgos”, y fue presentado por F. Martínez García, de la Fundación Mapfre Estudios [MARTÍNEZ 1990].

Se trata de una adaptación o desarrollo de la definición matemática de riesgo, incorporando algunos parámetros que permiten describir mejor el objeto de estudio. Dado que evalúa las consecuencias del evento en términos económicos, no es válido para estimar otro tipo de daños susceptibles de ser considerados (daños a las personas, al medio ambiente, etc.).

Su ámbito de aplicación no se restringe a un peligro concreto, sino que, al igual que el método Fine, es apto para evaluar cualquier factor de peligrosidad. Su aplicación requerirá siempre un conocimiento estadístico de las probabilidades de ocurrencia del evento, que por lo general son difíciles de conocer, resultan incompletas, poco precisas o parciales, cuando no inexistentes.

El cálculo fundamental viene dado por la siguiente expresión:

$$R = \frac{P \times E \times I}{S}$$

donde:

- R : evaluación del riesgo
- P : coeficiente de probabilidad
- E : coeficiente de exposición
- I : coeficiente de intensidad
- S : coeficiente de seguridad.

Los valores de R pueden ir desde infinito, si se supone la inexistencia de medidas de seguridad, y hasta 0, si se considera la probabilidad de ocurrencia o la exposición al riesgo nulas. Todo riesgo cuyo índice **R** se encuentre entre 30 y 300 deberá ser modificado para su reducción, a valores menores de 30, que son los riesgos considerados aceptables.

Los factores que se evalúan en este método son los siguientes:

**Coeficiente de probabilidad (P):** Ponderado de 0 a 10, en función de la probabilidad de ocurrencia del evento no deseado. Dada la falta de especificaciones de este aspecto, el procedimiento es aplicable a cualquier tipo de riesgo (inundación, incendio, terremoto, explosión, etc). Sin embargo ello implicaría conocer valores de probabilidad del riesgo considerado convenientemente contrastados.

**Coeficiente de exposición (E):** Es el factor que representa la frecuencia con la que se lleva a cabo la acción que motiva el riesgo estudiado. Se han establecido los siguientes valores: 0 (nunca), 1 (cada 100 años), 2 (cada 50 años), 3 (cada 10 años), 4 (cada año), 5 (cada 6 meses), 6 (cada mes), 7 (cada semana), 8 (cada día), 9 (cada hora) o 10 (continuamente).

**Coeficiente de intensidad (I):** Estima la magnitud esperable de las consecuencias del evento de acuerdo con la definición clásica de riesgo. Sin embargo esta estimación se hace de una forma razonada y, en la medida de lo posible, objetivada.

El coeficiente I se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$I = \frac{i_r + i_p}{2}$$

Donde:

- $i_r$  : coeficiente del Valor Máximo Expuesto (en unidades monetarias fijas) o Pérdida Máxima Posible (cuando se expresa como porcentaje del total)
- $i_p$  : coeficiente de la Pérdida Máxima Probable. También puede estimarse tomando como punto de partida unidades económicas fijas o porcentajes sobre el total expuesto.

Se entiende por **Valor Máximo Expuesto** el importe económico de la máxima pérdida esperada en las condiciones más desfavorables y asumiendo la total inoperatividad de los medios de intervención, propios o externos. La **Pérdida Máxima Posible** es el mismo concepto pero expresado en unidades porcentuales sobre el total del riesgo considerado.

**La Pérdida Máxima Probable**, normalmente expresada en forma porcentual sobre el total, es la máxima pérdida esperada ante un riesgo determinado en las condiciones usuales de operación de los medios propios y externos disponibles para la intervención.

Si bien puede resultar complejo evaluar estos factores (en ocasiones requerirá el análisis del riesgo con detenimiento o el planteamiento de escenarios específicos), resulta una aportación conceptualmente interesante calcular la magnitud del daño como media aritmética entre la pérdida máxima y la probable.

**Coefficiente de seguridad (S):** Es un factor que pretende reducir el índice R mediante la consideración de las medidas de protección que se han tomado para minimizar las consecuencias de un evento no deseado.

Los conceptos evaluados son:

- 1) Política de seguridad
- 2) Programa de gerencia de riesgos
- 3) Integración de los criterios de seguridad en el diseño de métodos, máquinas y procesos
- 4) Programa de Control de Calidad
- 5) Programa de seguridad (Director de seguridad, planes de formación, planes de inspección, revisión y mantenimiento, servicio de vigilancia, equipos de emergencia, planes de contingencia, etc.)
- 6) Auditorías periódicas externas
- 7) Servicios de socorro externos (bomberos, policía, sanitarios, etc.).

Cada factor de los citados se puntúa entre 0 y 1 (salvo el punto 5 que se evalúa entre 0 y 4). El coeficiente S se obtiene mediante la suma de los coeficientes parciales:

$$S = \sum_{i=1}^{i=7} S_i$$

### **Método: Hazard Rating Number (HRN)**

Su fundamento teórico es muy similar al de los índices Fine y SEPTRI, aunque en este caso se evalúan las consecuencias del evento en función del daño a las personas y no, como en los casos anteriores, como valor económico del daño.

Se basa en el producto de cuatro factores:

- E) Posibilidad de exposición al peligro (valor comprendido entre 0=imposible y 15=cierto)
- F) Frecuencia de la exposición al peligro (entre 0,1=no frecuente y 5=constante)
- M) Número de personas sometidas al peligro (entre 1 para 1 ó 2 personas y 12 para 50 personas o más)
- G) Máxima pérdida probable (entre 0,1 para arañazos y 15 para muerte).

$$\text{HRN} = \text{E.F.M.G}$$

El producto de estos cuatro factores puede dar como resultado valores desde 0 a más de 1.000. Se entiende que valores de HRN inferiores a 1 representan riesgos tolerables y valores superiores a 1.000 identifican riesgos intolerables. Los resultados intermedios imponen la aplicación de medidas correctoras para la reducción del riesgo.

## ÍNDICES BASADOS EN LA CARGA DE FUEGO

### Índice MESERI

El método MESERI (Método Simplificado de Evaluación del Riesgo de Incendio), propone el cálculo de un índice simplificado del riesgo de incendio (exclusivamente) y está especialmente orientado a evaluar el riesgo en edificios de uso general.

Se basa en el cálculo del factor P:

$$P = \frac{5X}{129} + \frac{5Y}{22} + (1,BCI)$$

Además de los siguientes dos factores:

$$X = \sum_{i=1}^{i=16} x_i \qquad Y = \sum_{i=1}^{i=6} y_i$$

Donde los  $x_i$  son los factores de protección "pasivos" (construcción, situación, proceso industrial, concentración, propagación y destructibilidad) y en los  $y_i$  los factores "activos" (extintores, bocas de incendio equipadas, columnas hidrantes exteriores, detectores automáticos de incendios, rociadores automáticos, instalaciones fijas de extinción).

Se considera aceptable un riesgo si se obtienen valores de P superiores o iguales a cinco.

El factor P deberá incrementarse en una unidad si la instalación dispone de Brigada Contra Incendios (BCI) propia. Los valores máximos y mínimos que pueden tomar los factores "activos" y los factores "pasivos" son los siguientes:

$$0 \leq X \leq 129 \qquad 0 \leq Y \leq 26$$

Se desprende de lo anterior, que el valor mínimo del índice P es 0 y el máximo es 11,90.

A continuación se recopilan los coeficientes propuestos para cada factor de riesgo. Junto al texto descriptivo se indica el peso relativo de ese epígrafe en el conjunto del índice P1.

#### Construcción:

- 1) Altura del edificio: 0,98%
- 2) Mayor sector de incendio: 1,62%
- 3) Resistencia al fuego: 3,5%
- 4) Falsos techos: 1,62%.

Valora los riesgos inherentes al tipo de edificación. El método resulta aplicable sólo a edificios, por lo que difícilmente podría ser utilizado para instalaciones con presencia de equipos ubicados al exterior sobre estructuras portantes simples o a parques de almacenamiento al aire libre.

#### Situación del riesgo:

- 1) Distancia de los bomberos: 3,25%
- 2) Accesibilidad del edificio: 1,62%.

Valora las posibilidades de intervención desde el exterior por parte de los servicios públicos de extinción. En este sentido valora la proximidad de estos servicios al riesgo y la facilidad de acceso, tanto desde el punto de vista de la distribución de calles, como también los accesos al edificio desde el exterior (fachadas y puertas).

#### Procesos:

- 1) Peligro de activación: 3,25%
- 2) Carga térmica: 3,25%
- 3) Combustibilidad: 1,62%

- 4) Orden y limpieza: 3,25%
- 5) Almacenamiento en altura: 0,98%.

Evalúa la peligrosidad intrínseca de la actividad industrial desarrollada en el interior del edificio. Para ello se analiza el peligro de activación, la carga combustible en el interior, la combustibilidad de los materiales contenidos (materias primas, productos intermedios o terminados), el orden y limpieza de los locales y la altura de almacenamiento de mercancías. La propiedad "peligro de activación" se valora de manera subjetiva, por lo que el resultado es totalmente arbitrario y excesivamente superficial.

La carga térmica por unidad de superficie se describe sólo como:

- Alta ( $Q \geq 200$  Mcal/m<sup>2</sup> ó  $Q \geq 840$  MJ/m<sup>2</sup>)
- Media ( $100 \leq Q < 200$  Mcal/m<sup>2</sup> ó  $42 \leq Q < 840$  MJ/m<sup>2</sup>)
- Baja ( $Q < 100$  Mcal/m<sup>2</sup> ó  $Q < 420$  MJ/m<sup>2</sup>).

La combustibilidad de los materiales presentes en la planta no considera la forma ni las condiciones de almacenamiento de los mismos. Asimismo se obvian totalmente toda una serie de peligros inherentes a la manipulación de sustancias peligrosas y la posibilidad de reacciones inestables o incontroladas.

Los criterios de orden y limpieza y de altura de almacenamiento están claramente orientados a almacenes en estanterías o pallets y no consideran la presencia de parques de tanques, zonas de almacenamiento de inflamables, presencia de bidones o botellas de gases comprimidos, etc.

**Factor de concentración:** Concentración de capitales: 0,8%. Valora la posible magnitud del evento (en valor monetario/m<sup>2</sup>), exclusivamente desde la perspectiva económica. Se destaca el escaso valor relativo de este parámetro (0,8%) sobre el índice P, ya que este es el único parámetro que describe la magnitud del daño.

**Propagabilidad:**

- 1) En vertical: 1,62%
- 2) En horizontal: 1,62%.

Evalúa la facilidad con la que el fuego se transmite en vertical de una planta a otra y la velocidad de propagación en horizontal.

**Destructibilidad:**

- 1) Calor: 3,25%
- 2) Humo: 3,25%
- 3) Corrosión: 3,25%
- 4) Agua: 3,25%.

Evalúa la facilidad con la que la maquinaria y las instalaciones en general se verán afectadas por los efectos de un incendio: calor, humo, corrosión y agua.

**Factores de protección:**

- 1) Extintores: 3,81%
- 2) Bocas de incendio equipadas: 7,63%
- 3) Columnas hidrantes exteriores: 7,63%
- 4) Detección automática de incendios: 7,63%
- 5) Rociadores automáticos: 15,27%
- 6) Instalaciones fijas de extinción (CO<sub>2</sub> o similares): 7,63%.

Valora los medios de intervención disponibles ante la emergencia causada por un incendio.

Se remite a las reglas técnicas para extintores, para bocas de incendio equipadas, para abastecimientos de agua contra incendios, para instalaciones de columnas hidrantes exteriores, para sistemas de detección automática de incendios, para instalaciones de rociadores automáticos de incendio y para instalaciones fijas de extinción por anhídrido carbónico.

Propone añadir un punto al coeficiente P cuando la instalación dispone de una brigada contra incendios propia, convenientemente formada y equipada. El peso relativo de la brigada contra incendios en el conjunto es del 8,4%.

En general, el índice MESERI es de muy fácil aplicación. Implica el conocimiento de las reglas técnicas de protección contra incendios permitiendo obtener una idea aproximada del nivel de riesgo de incendio asumido en una instalación.

La descripción del método no especifica el proceso seguido para la determinación de los pesos relativos de cada factor, éstos se limitan a intentar imitar de forma intuitiva el juicio experto.

No se contemplan otros daños que no sean los daños materiales y directos derivados del incendio, estando restringido en su aplicación al incendio en edificios y sin analizar ningún otro factor de riesgo adicional (fugas, derrames, contaminaciones, etc.).

No analiza en absoluto el grado de sensibilidad y concienciación de la gerencia en relación con las medidas de seguridad a adoptar (como hace por ejemplo el método SEPTRI).

### **Método Gretener**

Este método está orientado a la evaluación matemática del riesgo de incendio de las construcciones industriales y de edificios. Asume como punto de partida que el riesgo cumple las normativas vigentes en materias de seguridad tales como distancias entre edificios, vías de evacuación, iluminación de seguridad, etc.

El cálculo del índice se basa en:

$$R = \frac{P}{N \times S \times F} \times A$$

Donde:

- R: riesgo efectivo de incendio
- P: factores de peligrosidad intrínseca
- N: coeficiente de las medidas de seguridad normales
- S: coeficiente de las medidas de seguridad especiales
- F: coeficiente de las medidas constructivas de seguridad (pasivas)
- A: riesgo de activación (probabilidad de ocurrencia).

El método Gretener ofrece una estimación del peligro para las personas en función del número de ocupantes de la planta y la altura de la misma.

Descripción de los parámetros P, N, S y F, y valor máximo que pueden adoptar:

**Peligro potencial:** (P<sub>máx</sub>: 112,32) Evalúa las condiciones de riesgo intrínsecas a la actividad industrial desarrollada y a las características de distribución del edificio.

El factor de la carga térmica es una medida del poder calorífico de las sustancias almacenadas en el recinto considerado y se evalúa en función de su distribución por unidad de superficie

Otros aspectos como la combustibilidad, peligro de generación de humos, peligro de generación de gases corrosivos y superficie de compartimento se corresponden directamente con los comentados para el método anterior, si bien con ciertas diferencias de ponderación.

El peligro de generación de humos que impidan una correcta actuación de las brigadas contra incendios en este método puede incrementar en un 20% el valor del índice final.

El factor "superficie del compartimento" viene influenciado por la relación largo-ancho del recinto, de modo que un riesgo con relación 8:1 y superficie de 68.000 metros cuadrados, tiene el mismo factor (5) que otro de 34.000 metros cuadrados pero con relación largo-ancho de 1:1. Ello es debido a que en este factor se evalúa conjuntamente la "superficie" y la "accesibilidad".



**Medidas normales de protección:** (Nm<sub>máx</sub>: 1,0) Evalúa las medidas de protección frente al incendio consideradas normales.

El valor máximo atribuido a cualquier parámetro “n” es 1, lo que significa que la presencia de uno de ellos no reduce el riesgo sino que tan sólo no lo empeora. Esto se debe a que en este método se considera que éstas son las medidas mínimas necesarias y su ausencia penaliza el índice de riesgo obtenido.

La simple observación de los pesos relativos de cada factor y su comparación con los el método anterior permite ver que no hay relación alguna entre ellos.

Este método introduce respecto al anterior un pequeño matiz relativo a las medidas organizativas en materia de seguridad, al considerar un peso del 20% según exista o no personal instruido en la manipulación de los equipos de extinción.

**Medidas especiales de protección:** (Sm<sub>máx</sub>: 7,93) Establece como medidas especiales de protección todas aquellas encaminadas a reducir el tiempo de detección, la transmisión de la alarma, la intervención y las instalaciones fijas de extinción.

En el factor “detección” se contempla la vigilancia propia y permanente, la detección automática y los rociadores automáticos, ya que a parte de iniciar la extinción, también cumplen una función detectora.

El peso relativo atribuido a la rapidez de actuación es del 40% sobre el factor S ya que divide por 0,6 en el peor de los casos. En la misma línea, el peso asignado a la presencia de rociadores automáticos es del 100%. Resulta interesante destacar la presencia de un factor para la evacuación de humos a través, generalmente, de ventanas de evacuación, no contemplado en otros métodos, con un peso relativo del 20%.

**Medidas inherentes a la construcción:** (Fm<sub>máx</sub>: 2,72) Con el cálculo de los factores f, se evalúa la capacidad de resistencia al fuego propia de la edificación que alberga las instalaciones. Ello restringe su aplicación a instalaciones ubicadas en edificios.

**Cálculo del peligro de activación (A):** (Amín: 0,85; Amáx: 1,8) El factor “A”, peligro de activación, se desarrolla poco y se deja abierto a la subjetividad del analista. Como única ayuda, se presenta una tabla con ejemplos tipo como orientación.

Resultan evidentes las limitaciones de este método a la hora de valorar, de manera concreta y específica, el riesgo de activación de un incendio en un lugar determinado.

**Peligro para las personas (PH,E) (valores entre 0,4 y 1):** Una interesante aportación del método Gretener es la estimación del peligro para las personas, de especial interés para aquellos riesgos en los que la masificación o las dificultades de evacuación pueden suponer una agravación importante.

**Definición del riesgo de incendio aceptado:** Se define según la siguiente expresión:

$$\gamma = \frac{1,3 * P_{H,E}}{R}$$

donde:

- $\gamma$ : coeficiente de seguridad contra incendio
- $P_{H,E}$ : exposición al riesgo de las personas
- R: riesgo de incendio efectivo.

Se considera aceptable cualquier situación en la que el coeficiente de seguridad contra incendio  $\gamma$  sea igual o superior a 1. Para ello, R deberá tomar valores inferiores a 1,3 siempre que el riesgo para las personas no sea significativo para considerar aceptable el riesgo.

El método Gretener es un índice de riesgo de incendio exclusivamente, por lo que no toma en consideración otras situaciones de emergencia potencialmente peligrosas, estando especialmente adaptado a la evaluación de riesgos en edificios con grados de ocupación alto o problemas específicos de evacuación (hospitales, hoteles, etc).



Su aplicabilidad es sencilla y no requiere grandes conocimientos específicos sobre el riesgo analizado. Por contra, esta falta de información le impide profundizar en el nivel de riesgo generado por las operaciones del proceso desarrollado.

### Índice “Evaluation du risc d’incendie par le càcul” (índice ERIC)

El método tiene por objeto la evaluación global del riesgo de incendio de un edificio o sector, enfocado los 2 aspectos: el riesgo para las personas y el riesgo para los bienes. Pretende también facilitar la aportación de medidas de seguridad.

Se basa en el método Gretener y está claramente enfocado al riesgo en edificios, diferenciando tres ambientes: industrial, establecimientos con gran afluencia de público y oficinas y viviendas.

El riesgo para las personas se evalúa como:

$$R_1 = \frac{P_1}{M_1 * F_1}$$

Donde:

- R1: riesgo para las personas
- P1: peligro potencial para las personas
- M1: medidas de protección para las personas
- F1: resistencia al fuego valorada para las personas.

A su vez el riesgo para los bienes es calculado como:

$$R_2 = \frac{P_2}{M_2 * F_2}$$

Donde:

- R2: riesgo para los bienes
- P2: peligro potencial para los bienes
- M2: medidas de protección para los bienes
- F2: resistencia al fuego valorada para los bienes.

Para el cálculo de P1:

$$P_1 = t.f.i.r.c$$

donde:

- t: coeficiente asociado al tiempo de evacuación calculado según la fórmula de Togawa
- f: coeficiente relativo a la opacidad de los humos
- i: coeficiente asociado a la toxicidad de los humos
- r: riesgo de activación
- c: coeficiente de inflamabilidad del combustible.

Todos estos parámetros son estimados mediante tablas, al igual que sucedía en el método Gretener.

Para calcular P2:

$$P_2 = q.e.f.g.k.a.c$$

donde:

- q: coeficiente de carga térmica
- e: coeficiente para el nivel del sector considerado
- f: coeficiente de opacidad de humos
- g: coeficiente del tamaño y forma del sector de incendios
- k: coeficiente asociado al peligro de corrosión
- a: peligro de activación.

Para calcular Mi:

$$M_i = S_i.T_i.E_i.D_i$$

Donde:

- Mi: medidas de protección
- Si: coeficiente asociado a las posibilidades y medios de extinción
- Ti: coeficiente relativo al tiempo de intervención
- Ei: coeficiente asociado a los medios de extinción y la formación de los encargados de usarlos
- Di: coeficiente asociado a la instalación de evacuación de humos.

El cálculo de Fi, se efectúa considerando los factores relativos a la resistencia mínima al fuego y el tamaño de las aberturas existentes.

Para el caso industrial el índice R para las personas se considera adecuado por debajo de 0,5 y aceptable (con limitaciones o mejoras) hasta 1,3. En este mismo caso (industrial) para el índice R para los bienes, se admiten 0,5 y 1,5 como valores límite.

## Índice de Pourt

**Nota: El método de Pourt (Norma IRAM 3528) es el que se utiliza en Argentina por mandato de la Ley 19587 en su decreto 351 y sus anexos.**

Se trata de un método sencillo para identificar el riesgo de incendio, en muchos aspectos es muy similar al método Gretener, al que hace referencia en algunos apartados.

Se basa en suponer que la acción destructora del fuego se desarrolla en dos ámbitos distintos: **los edificios y su contenido**, es por ello calcula dos coeficientes independientes.

El riesgo del edificio estriba en la posibilidad de que se produzca la destrucción del inmueble. Dependerá de dos factores que son, por un lado, la intensidad y duración del incendio y por otro la resistencia de la construcción.

El riesgo del contenido está constituido por el daño a las personas y a los bienes materiales que se encuentran en el interior del edificio.

El cálculo de GR se hace según la ecuación:

$$GR = \frac{(Q_m * C + Q_i) * B * L}{W * R_i}$$

donde:

- **GR:** grado de peligro
- **Qm:** coeficiente de carga térmica del contenido (1,0-4,0)
- **Qi:** coeficiente de carga térmica del inmueble (0,0-0,6)
- **C:** coeficiente de combustibilidad (1,0-1,6)
- **B:** coeficiente correspondiente a la superficie del sector (1,0-2,0)
- **L:** coeficiente correspondiente al tiempo de intervención (1,0-2,0)
- **W:** coeficiente de resistencia al fuego de la estructura portante (1,0-2,0)
- **Ri:** coeficiente de reducción del riesgo (escasos focos, almacén correcto,...).

Los factores de riesgo considerados coinciden con los de los otros métodos. Obsérvese que, por ejemplo, el factor de superficie o el factor de intervención pueden agravar el índice en un 100% cada uno, y la combinación de los factores similares en el método Gretener tiene una ponderación similar.

Si bien teóricamente es posible obtener un GR de 28, el método establece que para valores superiores a 5 es preciso replantear la instalación dado que el riesgo se considera inaceptable y no susceptible de mejora mediante medidas de protección.

Dado que el objetivo fundamental de este método es determinar la necesidad o no de instalar sistemas de intervención automáticos, no valora la posible existencia de estos.

El método define el índice al riesgo del contenido como:

$$IR = H.D.F$$

donde:

- **IR:** índice de riesgo para el contenido
- **H:** coeficiente de peligro para las personas
- **D:** coeficiente de peligro para los bienes
- **F:** coeficiente de peligro por humos.

Los valores de H y D oscilan entre 1 y 3. Los de F, lo hacen entre 1 y 2. De ello se desprende que el índice de riesgo para el contenido está entre 1 (riesgo umbral) y 18 (riesgo máximo).

### Índice del cálculo de la carga de fuego ponderada

Se considera aplicable a los edificios o establecimientos de uso industrial o almacenamientos que estén ubicados en edificios destinados exclusivamente a estos usos. Incluye las secciones de oficinas y servicios auxiliares que estén ubicados en el mismo edificio.

Se basa en el cálculo de **Qp** (carga de fuego ponderada) y clasifica el riesgo en tres categorías:

- **Riesgo bajo** para Qp inferior a 200 Mcal/m<sup>2</sup> (840 MJ/m<sup>2</sup>)
- **Riesgo medio** para Qp entre 200 y 800 Mcal/m<sup>2</sup> (entre 840 y 3.340 MJ/m<sup>2</sup>)
- **Riesgo alto** para Qp superior a 800 Mcal/m<sup>2</sup> (3.340MJ/m<sup>2</sup>):

$$Q_p = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i \times H_i \times C_i}{A} \times R_a$$

donde:

- Qp : carga de fuego ponderada (Mcal/m<sup>2</sup> o MJ/m<sup>2</sup>)
- Pi : masa de cada una de las sustancias combustibles (kg)
- Hi : poder calorífico de cada una de las sustancias en Mcal/kg o MJ/kg
- Ci : coeficiente adimensional que valora la peligrosidad de los productos
- A : superficie construida del local en m<sup>2</sup>
- Ra : coeficiente del riesgo de activación inherente a la actividad (adimensional)
- i : cada uno de los productos almacenados considerados.

Los tres primeros parámetros se pueden obtener de tablas bibliográficas generales o de las mediciones hechas sobre el proyecto de la instalación. Lo mismo puede indicarse del parámetro área (A). Para el índice C, se propone 1,6 para riesgos altos, 1,2 para riesgos medios y 1,0 para riesgos bajos (por ejemplo, líquidos con punto de inflamación superior a 61°C).

Para la estimación del parámetro Ra, el índice propone tres niveles en función del riesgo de activación: 3,0 para riesgo alto, 1,2 para riesgo medio y 1,0 para riesgo bajo.

Pese al fundamento termodinámico de su ecuación, la aplicación de este procedimiento adolece de ciertas indefiniciones. Los valores de los coeficientes C y Ra son un tanto arbitrarios y en particular la estimación de Ra es tan generalista como sucedía en el índice Gretenner.

### Método de los coeficientes “K”

Es un método de evaluación. El grado de resistencia o estabilidad al fuego se calcula como:

$$G = \frac{K \cdot Q_r}{4}$$

donde:

- G: resistencia al fuego en minutos
- Qr: carga térmica en Mcal/m<sup>2</sup>

- K: coeficiente reductor entre 0,2 y 1.

El coeficiente K se calcula como:

$$K = f(\sum k_i)$$

Los factores  $k_i$  hacen referencia a: altura del sector analizado, superficie del sector, actividad desarrollada, distancia al edificio más próximo, señalización, accesibilidad y posibilidades de intervención (detección, alarma, bomberos de empresa, equipos de lucha contra incendios, bomberos profesionales, vigilancia permanente, tiempos de intervención, etc.).

### **Método de los coeficientes “a”**

Es un método de evaluación de riesgos parcial, para determinar la estabilidad y resistencia al fuego de un determinado recinto, de manera que se garantice que, de iniciarse un incendio en su interior, sus consecuencias quedarían confinadas, sin afectar a otros sectores.

La resistencia y/o estabilidad al fuego se calculan gráficamente en función de un parámetro V tal que:

$$V = \hat{a} * \sum \hat{a}_i$$

En general, se trata de un método de evaluación de las posibilidades de confinamiento de un incendio en recintos cerrados.

### **ÍNDICES BASADOS EN LA PELIGROSIDAD DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS**

Estos métodos son muy específicos, buscando los riesgos de incendios en industrias químicas principalmente, por lo tanto no vamos a entrar en detalles.

#### **Método IFAL**

El método IFAL, se basa en el cálculo de la pérdida anual esperada, expresada como fracción del total del valor de la planta evaluada, promediada durante un largo período de años, y suponiendo que durante ese período las condiciones de operación se mantengan constantes.

Se compone de tres factores, según la ecuación:

$$\text{IFAL} = P \times E \times M \quad (2.27)$$

Donde P es el factor de proceso, E es el factor de ingeniería y M es el factor de gerencia.

#### **Índice de incendio y explosión de Dow Chemical**

El índice de incendio y explosión ha sido desarrollado por la empresa DOW y está ampliamente respaldado por el AIChE (American Institute of Chemical Engineers). Constituye un índice de riesgo exclusivo para incendios y explosiones pero especialmente desarrollado para empresas químicas con un riesgo significativo.

Los objetivos del método son: cuantificar el daño esperado ocasionado por un incendio o una explosión, identificar los equipos que generan el mayor riesgo potencial y facilitar a la gerencia de seguridad una priorización de las medidas a adoptar.

### **Índice Mond (Desarrollado por ICI)**

El índice MOND fue desarrollado por Imperial Chemical Industries (ICI). Es un índice de riesgo de incendio y explosión aplicable a industrias de proceso de gran capacidad productiva. Sin embargo, la toxicidad de los materiales involucrados o de los que posiblemente se generen en un accidente, es contemplada únicamente como un factor agravante en las tareas de control y limitación de la incidencia y no como un posible riesgo en sí mismo.

### **El índice de la Unión des Chambres Syndicales de l'Industrie du Petrole (Método UCSIP)**

Es un método desarrollado por la Unión des Chambres Syndicales de l'Industrie du Petrole en Francia. Sus objetivos son el análisis semicuantitativo de riesgos en términos de probabilidad y gravedad, que se integran en el cálculo del factor de seguridad. Se desarrolló para industrias petroleras, refinerías y plantas petroquímicas, aunque es de fácil adaptación a otras industrias del sector químico. Su compleja aplicación hace casi imposible su cálculo sin apoyo informático. Incluso en ocasiones es preferible abordar un análisis cuantitativo de riesgos completo.

Frente a otros métodos antes descritos, es más detallado, especialmente por lo que se refiere a la evaluación de las consecuencias.

### **Índices de riesgo de procesos químicos (INSHT)**

Elaborados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, pretenden la evaluación sistemática de todos los riesgos (tecnológicos y laborales) presentes en las plantas de tipo químico (por separado), con un enfoque muy similar al de los métodos específicos descritos anteriormente y sin embargo con aportaciones muy significativas en cuanto a las hojas de trabajo o "check-list" y la parametrización de los factores de riesgo.

Se trata por tanto de un método desarrollado específicamente para plantas de tipo químico.

Sin embargo, no se limita a la evaluación de un índice de riesgo de incendio y/o explosión, sino que contempla una larga relación de peligros, incluidos los relacionados con el área de higiene y condiciones de salud laboral (atmósfera de trabajo, fatigas, formación de la plantilla, caídas,...). En este sentido resulta muy útil para valorar riesgos toxicológicos o de accidentes graves no necesariamente de incendio.

### **Índice Chemical Exposure Index de DOW (CEI)**

Este método fue elaborado en 1986 por DOW y contempla el riesgo de exposición a contaminantes químicos derivado de un accidente tecnológico agudo. Por lo tanto no es un índice de riesgo de incendio como los anteriores y, en principio, es exclusivo para aplicar en industrias químicas o que manipulen sustancias tóxicas o peligrosas.

No evalúa las probabilidades de ocurrencia del suceso y no valora la mayor o menor peligrosidad intrínseca del proceso, sino que únicamente estima la peligrosidad de manipular una sustancia peligrosa en un área determinada.

## **NORMA IRAM 3528 - EVALUACIÓN DE RIESGOS DE INCENDIO (MÉTODO DE PURT) – (Para la aplicación de sistemas automáticos de detección y extinción).**

### **DEFINICIÓN Y OBJETIVO**

Toda medida de protección contra incendio tiene por objeto reducir el peligro de Incendio en un objeto determinado. prescripciones legales de diversa índole, relativas a la construcción y proyecto de edificios, materiales de construcción, instalaciones eléctricas y de calefacción, talleres, etc., tienden a dicho fin.

Se trata esencialmente de medidas preventivas que tienen como finalidad los puntos siguientes:

- Primero, conseguir que la probabilidad de que se declare un incendio sea muy pequeña.
- Segundo, en el caso de que el incendio se produzca, el fuego no se debe poder extender rápida y libremente. es decir solamente deberá causar el menor daño posible.

Cuando se origina un incendio el tiempo necesario para dominarlo eficazmente comprende dos fases:

- 1) El tiempo necesario para descubrir el incendio y transmitir la alarma
- 2) El tiempo necesario para que entren en acción los medios de extinción.

Estas dos fases, así como la eficacia de los servicios públicos de extinción (efectivos, material, formación) constituyen lo que se llama tiempo necesario para iniciar la extinción y evidentemente es necesario tenerlo en cuenta para la evaluación del riesgo. Esta es la finalidad de las instalaciones automáticas de protección contra incendios.

Por otra parte se debe juzgar si es necesario establecer una instalación automática de protección contra incendio (detección - extinción). En determinados casos puede imponerse una mejora de efectivos de intervención, como ser la organización de un cuerpo de bomberos de empresa.

Esta proposición consiste en calcular el riesgo de incendio mediante los referentes a la construcción y explotación, así como de los relativos a los efectivos de intervención disponibles. Los valores numéricos así obtenidos, deberán permitirnos determinar si el riesgo se puede considerar tolerable.

### **DEFINICIONES**

- **Poder calorífico:** Capacidad de 1 kg de material para producir calor por combustión completa (4,18 Mj/kg = 1Mcal/kg).
- **Carga de fuego:** Capaz de desarrollar una cantidad de calor equivalente a la de los materiales contenidos en el sector de incendio
- **Inflamable:** Producto capaz de entrar y mantenerse en combustión en fase gaseosa con emisión de luz, durante o después de la aplicación de una fuente de calor.
- **Combustible:** Susceptible de quemarse.
- **Incombustible:** No susceptible de quemarse.
- **Estable al fuego:** Aptitud de un elemento de construcción portante o no de no debilitar su resistencia cuando se lo somete a la acción del fuego.
- **Parallama:** Material estable al fuego que además, posee estanqueidad a la llama.
- **Muro cortafuego:** Muro construido con materiales de resistencia al fuego similar a los exigidos al sector de incendio que divide y que cumple asimismo con los requisitos de resistencia a la rotura por compresión, resistencia por impacto, conductibilidad térmica, relación altura/espesor y disposiciones constructivas que establecen las normas IRAM respectivamente.
- **Resistencia al fuego:** Propiedad que se corresponde con el tiempo, expresado en minutos, durante un ensayo de incendio después del cual el elemento de construcción ensayado pierde su capacidad resistente o funcional.
- **Sector de incendio:** Lugares al aire libre, local o conjunto de locales, delimitados por muros y entrepisos de resistencia al fuego acorde con el riesgo y la carga de fuego que contiene, comunicado con un medio de escape.
- **Medio de escape:** Medio de salida exigido, que constituye la línea natural de tránsito que garantiza una evacuación rápida y segura. Cuando la edificación se desarrolle en uno o más niveles, el medio de escape puede estar constituido por:

### **CONDICIONES GENERALES**

- **Sector de incendio de peligrosidad alta:** Aquel cuya carga de fuego es mayor a 120 kg de madera/m<sup>2</sup>
- **Sector de incendio de peligrosidad media:** Aquel cuya carga de fuego está comprendida entre 120 y 60 kg de madera/m<sup>2</sup>
- **Sector de incendio de peligrosidad baja:** Aquel cuya carga de fuego es menor a 60 kg de madera/m<sup>2</sup>
- **Carga de fuegos menores:** Las cargas de fuego menores a 20 kg de madera/m<sup>2</sup> no se tendrán en cuenta a los efectos de aplicación de ésta norma.
- **Extintores portátiles:** Las instalaciones fijas deberán complementarse con equipos extintores portátiles manuales y sobre ruedas, de acuerdo con las normas IRAM correspondientes

## CALCULO DEL RIESGO DE INCENDIO

### FUNDAMENTO DEL CALCULO DEL RIESGO DE INCENDIO

La acción destructora del fuego se desarrolla en dos ámbitos distintos: los edificios y su contenido. El riesgo del edificio estriba en la posibilidad de que se produzca un daño importante: la destrucción del inmueble. Depende esencialmente, de la acción opuesta de dos factores:

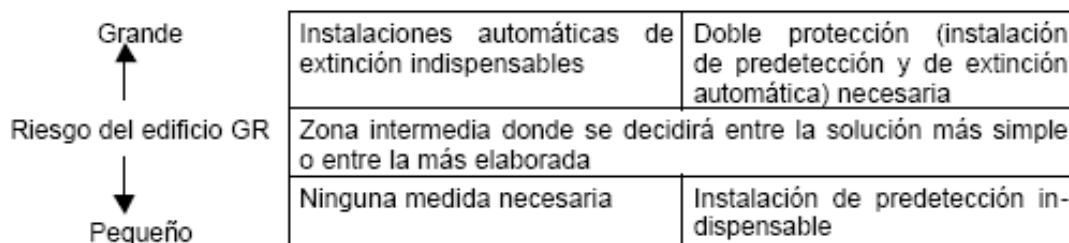
- La intensidad y duración del incendio.**
- La resistencia de la construcción.**

El riesgo del contenido está constituido por el daño a las personas y a los bienes materiales que se encuentran en el interior del edificio, estando estos dos, íntimamente unidos, aunque de todos modos, estos dos riesgos pueden existir también independientemente uno del otro.

Un gran riesgo para el edificio puede no representar más que un riesgo insignificante para el contenido, pudiendo ocurrir también que el contenido sufra un perjuicio muy importante antes de que se produzca un daño apreciable en el edificio.

La finalidad del sistema consiste en deducir, de la evaluación, las medidas de protección contra incendios, necesarias.

El siguiente diagrama comprende zonas correspondientes a las diferentes medidas de protección. Estas zonas determinan si el riesgo es tolerable o si son necesarias instalaciones automáticas de extinción o de predetección, o incluso las dos conjuntamente.



Si el edificio comprende varias zonas o sectores corta fuegos que se diferencian claramente unos de otros, es necesario que el cálculo de G R y de IR se realice separadamente para cada zona. Se puede llegar así a medidas de protección diferentes para cada una de las zonas corta fuegos.

Si no es posible llegar a una normalización, por ejemplo a consecuencia de un cambio en la concepción, se deberá considerar la combinación de varios tipos de instalaciones de protección contra incendio para un mismo edificio. Este será muy frecuentemente el caso para edificios de grandes dimensiones.

### CALCULO DEL RIESGO DEL CONTINENTE GR (Edificio)

Aumentan el peligro en relación con el riesgo del edificio los siguientes factores principales:



- 1) *La carga térmica (Q) y la combustibilidad (C).* La carga térmica se compone de la carga térmica del contenido (Qm) y la carga calorífica del inmueble (Qi).
- 2) *La situación desfavorable y gran extensión del sector corta fuegos (B)* considerado.
- 3) *Largo período de tiempo para iniciar la actuación* de los bomberos y eficacia de intervención insuficiente comprendidos en el coeficiente de tiempo necesario para iniciar la extinción (L).

Por el contrario favorecen la acción del riesgo:

- 1) *Una gran resistencia al fuego* de la estructura portante de la construcción (W).
- 2) *Numerosos factores de influencia secundaria* (pe., focos de ignición, almacenaje favorable) que hay que tener en cuenta como factores de reducción del riesgo (R).

De acuerdo con los factores mencionados anteriormente, se puede calcular el riesgo del edificio de acuerdo con la siguiente expresión:

$$GR = \left( \frac{Qm.C + Qi}{W.Ri} \right).B.L$$

Donde:

- **Qm** = Coeficiente de carga de fuego del contenido
- **C** = Coeficiente de combustibilidad del contenido
- **Qi** = Coeficiente de la carga de fuego del continente (inmueble)
- **B** = Coeficiente del sector de incendios según tabla VII
- **L** = Coeficiente correspondiente al tiempo necesario para iniciar la extinción
- **W** = Factor correspondiente a la resistencia al fuego de la estructura portante de la construcción según tabla IX
- **Ri** = Coeficiente de reducción del riesgo, según tabla X

**Qm = Coeficiente de carga calorífica del contenido:** La carga calorífica se mide generalmente en Kgs. De madera/m<sup>2</sup> o en Mcal/m<sup>2</sup>. El valor se puede calcular o estimar y en determinados casos se puede obtener de tablas de apreciación para las diferentes clases de materiales. Se atribuye así a la carga calorífica efectiva un valor numérico estimado: Qm.

La resistencia al fuego a su vez, puede relacionarse con el tiempo necesario para iniciar la extinción: un edificio tiene grandes probabilidades de ser salvado si se espera que la intervención pueda realizarse en forma eficaz en un periodo de tiempo inferior a la resistencia al fuego de la estructura portante de la construcción.

**C = Coeficiente de combustibilidad:** Desde el punto de vista técnico de la protección contra incendio, se toma como base, para la determinación del coeficiente de combustibilidad, la clasificación de materiales y mercancías, establecida de acuerdo con la lista publicada por el Servicio de Prevención, Extinción de Incendios y Salvamento (SPEIS) y el CEA.

Se establecen seis clases de las que tres presentan una combustibilidad y velocidad de combustión superior a la madera en trozos. A la madera en trozos, se le asigna el valor 1.

**Qi = Valor suplementario para la carga calorífica del inmueble:** Solamente se consideran los factores que de acuerdo con la experiencia, juegan un papel real durante el incendio de un inmueble. Debido a ello no se tienen en cuenta las ventanas ni los revestimientos exteriores. En caso de incendio su calor de combustión escapa generalmente, por la periferia. La forma cómo influye la carga calorífica del inmueble y la naturaleza de los materiales empleados, permiten renunciar a una diferenciación en función de su combustibilidad.

**B = Coeficiente correspondiente a la situación y superficie del sector corta fuego:** Tiene en cuenta el incremento del riesgo resultante, por una parte, de la dificultad de acceso del equipo de intervención (sótano, planta superior) y por otra la posibilidad de propagación del incendio a todo el sector.

**L = Coeficiente correspondiente al tiempo necesario para iniciar la extinción:** Comprende el tiempo necesario para la entrada en acción de los bomberos y la medida en que su intervención será más o menos eficaz.

**W = Coeficiente de resistencia al fuego de la construcción:** Tiene en cuenta la disminución del riesgo del edificio, cuando este, presenta una estabilidad adecuada en caso de incendio.



**Ri = Coeficiente de reducción del riesgo:** Teniendo plenamente en cuenta los principales factores de riesgo, se estima el riesgo máximo de incendio. Esto supone implícitamente: una gran probabilidad de incendio una propagación muy rápida de incendio el efecto total de la carga térmica

Se considera así que existe un riesgo determinado a consecuencia del número y naturaleza de los focos de ignición y de la forma en que el almacenaje inadecuado de los materiales combustibles facilita la rápida extensión del incendio.

## CALCULO DEL RIESGO DEL CONTENIDO IR

Como hemos indicado, el riesgo del contenido puede considerarse como una cuestión prácticamente independiente del riesgo del edificio, en cuanto a la elección de medidas de protección complementarias. Su cálculo es mucho más sencillo que el del riesgo del edificio y está condicionado esencialmente por las consideraciones siguientes:

- En caso de incendio ¿hasta qué punto existe un peligro inmediato para las personas que se encuentren eventualmente en el edificio?
- en el mismo caso ¿hasta qué punto existe un peligro inmediato para los bienes, bien porque presenten un gran valor, o porque sean irremplazables o particularmente sensibles a los productos de extinción?
- Y también ¿en qué medida el humo incrementa, todavía más, el peligro para las personas y los bienes?

El estudio de estos tres factores de influencia nos da la siguiente expresión:

$$IR = H \times D \times F \text{ (fórmula 2)}$$

Donde:

- H = Coeficiente de daño a las personas,
- D = Coeficiente de peligro para los bienes,
- F = Coeficiente de influencia del humo,

### Cálculo de los diferentes factores.

Teniendo en cuenta que no hemos establecido ninguna relación directa con el riesgo del edificio, no es necesario establecer una relación directa entre los valores precitados y GR.

Por el contrario, los tres valores H, D, F deben presentar entre ellos una relación lógica. Para el peligro para las personas se ha escogido un margen comprendido entre 1 y 3 y para el humo entre 1 y 2.

**H = Coeficiente de peligro para la personas:** Para su determinación son importantes los siguientes puntos:

- ¿Hay normalmente personas en el edificio ?
- ¿Cuántas y por cuánto tiempo ?
- ¿Están familiarizadas con las salidas de socorro ?
- ¿Pueden salvarse por si solas en caso de incendio ?
- ¿Cómo son las salidas de socorro ?

Es evidente que los hospitales, las residencias de ancianos y las casas de maternidad representan un peligro particularmente elevado para las personas. También los hoteles, especialmente los de construcción muy antigua, pueden presentar un peligro acrecentado. Este peligro es frecuentemente, todavía mayor debido a que la señalización es insuficiente.

**D = Factor de peligro para los bienes:** Hay que tener en cuenta: por una parte, la concentración de bienes y la posibilidad de reemplazarlos (bienes culturales, pérdidas que constituyen una amenaza para la existencia de la empresa. etc.) y por otra, su destructibilidad. La tabla 9 indica la clasificación.

**F = factor correspondiente a la acción del humo:** Comprende el efecto agravante del humo para las personas y los bienes. Por una parte el humo es tóxico y por consiguiente, directamente nocivo para las personas.

Por otra parte los bienes pueden resultar inutilizados sin estar en contacto con el fuego, sino simplemente por el efecto del humo o de los productos corrosivos resultantes de la combustión.

El humo puede también provocar el pánico y por consiguiente, un peligro indirecto para las personas. Además, dificulta el trabajo de los equipos de extinción, lo que en principio acrecienta también el peligro para el edificio. Pero es incuestionable que el peligro directo a las personas y los bienes es el más importante.

### **Medidas a tomar:**

Las medidas de prevención están ligadas a las siguientes hipótesis:

- El abastecimiento de agua está asegurado de manera satisfactoria en la zona en cuestión.
- Existe en el edificio medios de lucha contra el fuego (extintores portátiles, puestos de incendio interiores) de naturaleza y en cantidad adecuadas.
- Las instalaciones complementarias automáticas de protección contra incendio y de transmisión de la alarma serán montadas en forma que respondan a las exigencias requeridas.

Si se instala un sistema automático de extinción hay que determinar cuál es el que debe emplearse: Instalación de rociadores automáticos de agua (sistema húmedo o seco), instalación de inundación total o bien instalación de extinción por CO<sub>2</sub>. En determinados casos será necesario considerar también los más recientes procedimientos de extinción tales como espuma, polvo seco o compuestos halogenados (si existen) y agentes extintores inertes.

En cuanto a las instalaciones de pre-detección la elección del sistema es también muy importante. Existe en efecto una gran variedad de detectores, entre otros por ejemplo, los de ionización, los de llamas, detectores ópticos de humos (de absorción y difusión).

### **VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL METODO**

La complejidad de un Incendio es extremadamente grande. Sería deseable, ciertamente, poder determinar con exactitud todos los factores que influyen sobre el peligro de incendio, pero por una parte, son todavía escasos los datos científicos que son necesarios para tener un control exacto del problema y por otra parte, es necesario además, conocer hasta qué punto están afectados de exactitud los factores principales tomados ya en consideración.

Así por ejemplo, la carga térmica no puede ser evaluada más que a grosso modo y además, se ignora casi por completo si se modificará con el tiempo. El tiempo necesario para iniciar la extinción tampoco es, evidentemente un valor constante. Además, ¿quién podría decir con exactitud en qué proporción disminuye el riesgo de incendio cuando, por ejemplo, se subdivide en dos una zona corta fuego? ¿Para que pues una búsqueda detallada de factores que no hacen más que complicar la operación y cuya influencia está comprendida en todo caso en las usuales tolerancias de exactitud? .

Nos parece mucho más importante desarrollar un procedimiento simple, que puede ser ampliamente aplicado.

Por este procedimiento, la operación queda clara hasta el final del cálculo y permite ver la influencia de los distintos factores en el resultado obtenido.

Es particularmente importante el hecho de que las instalaciones de protección contra incendios no sean introducidas en el cálculo con que su utilización solo sea recomendada en función de un riesgo determinado (edificio y contenido)

Otro objetivo principal, consiste en que el método propuesto permite a todos los observadores hablar un mismo lenguaje, es decir que partiendo de datos idénticos, deben llegar a los mismos resultados y que sus decisiones no se vean influidas ni por la emoción ni por la susceptibilidad ni mucho menos por intereses comerciales.

## **Conclusión:**

El mundo industrializado en el que vivimos, trae muchas veces apareados riesgos para la salud, e inclusive la vida, y no solamente a para los trabajadores, sino también, muchas veces para la sociedad donde la empresa se encuentra inserta.

Es muy importante poder cuantificarlos de algún modo los riesgos, para poder saber que hacer al respecto. Hay veces que los riesgos son intolerables, y se debe detener la empresa en forma inmediata, no siendo posible continuar el proceso hasta que no se hayan solucionado el problema. Otras veces, el riesgo debe ser corregido en un tiempo determinado, pero para ello, necesitamos hacer análisis previos de estos.

En este resumen, se pudieron apreciar varios métodos para cuantificar los riesgos, y los podemos definir en 3 grades grupos ya que están basados en:

- Basados en la definición del riesgo
- Basados en la carga de fuego
- Basados en la peligrosidad de las sustancias.

Dentro de estos grupos de métodos, existen a su vez dos grande grupos:

- Métodos cualitativos.
- Métodos semicuantitativos.
- 

Cada uno de los métodos estudiados, tiene en sí, algunas ventajas y desventajas, inclusive, pudimos aprender también métodos para cuestiones específicas, como ser sustancias peligrosas.

Cabe destacar, que si bien algunos métodos son muy subjetivos, se hace necesario conocimiento en la materia, pera que los cálculos sean fiables, además, en algunas ocasiones, es necesario un conocimiento muy específico o inclusive el trabajo interdisciplinario entre todos los actores involucrados para poder aplicarlos en forma efectiva algunos métodos.

## **Bibliografía:**

Apunte sobre "Cálculo y Detección de Riesgos" facilitado por la cátedra de Ergonomía 2015.  
Título: Cálculo y detección de Riesgos. Autor: Carlos Alberto Lestón.