

## **FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M. DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

### **A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS**

**Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.**

**El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.**

**Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.**

**Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.**

**Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.**

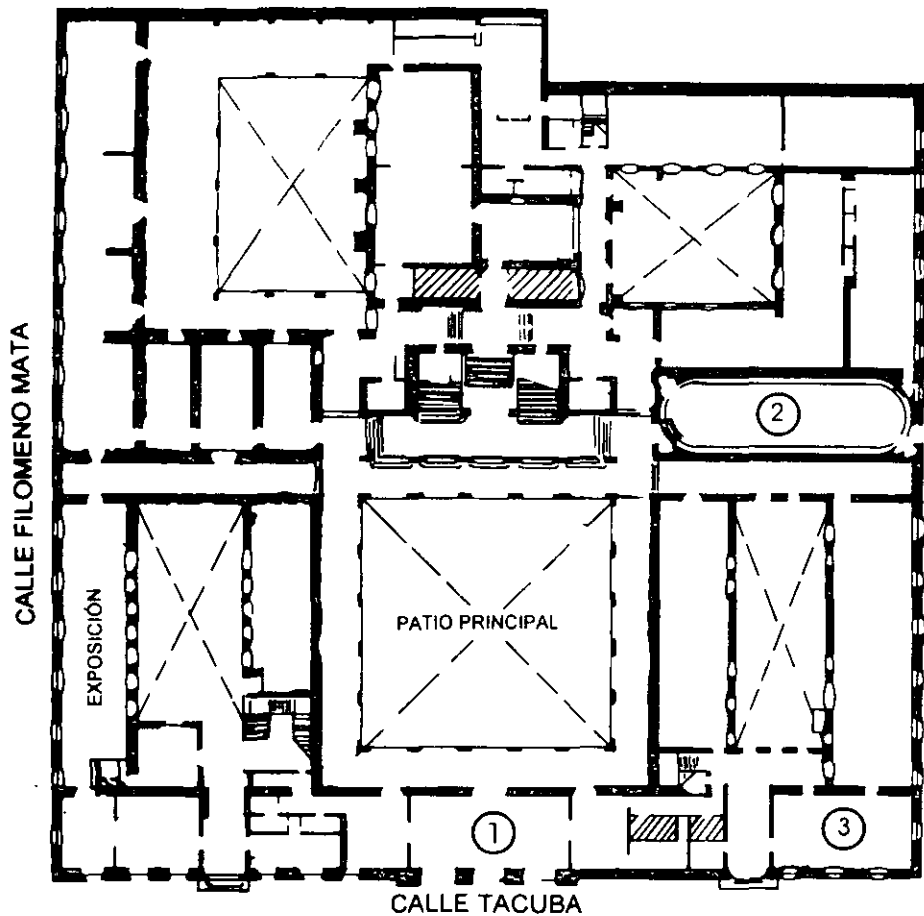
**Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.**

**Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.**

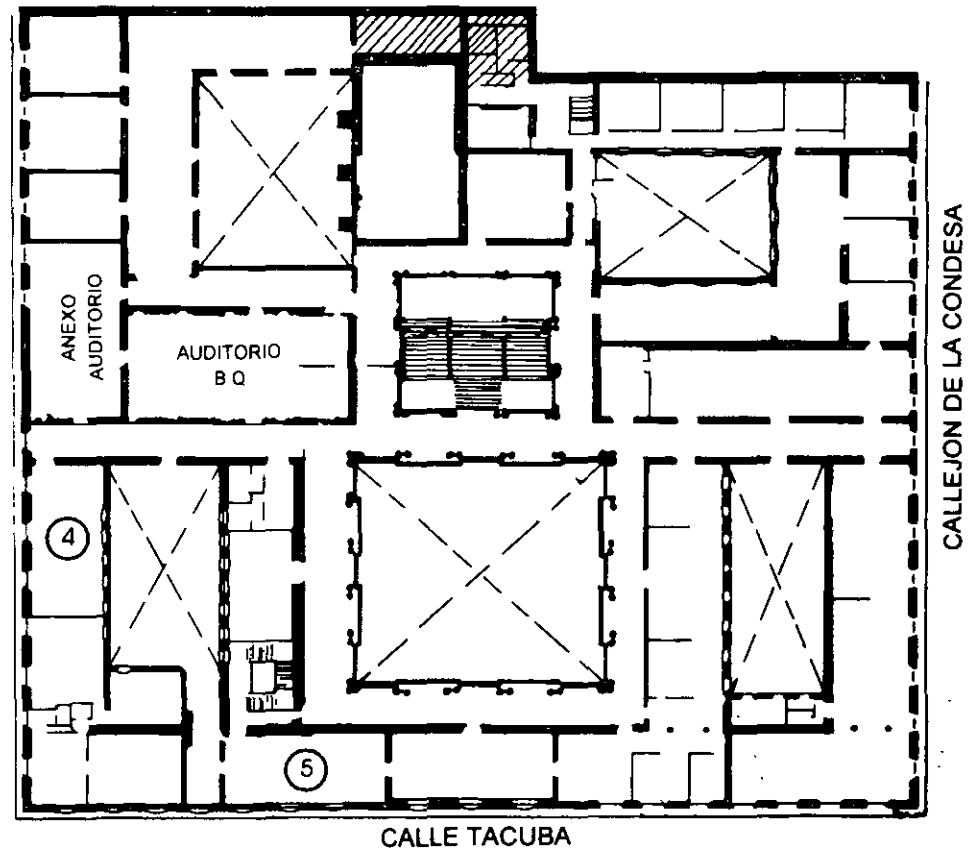
**Atentamente**

**División de Educación Continua.**

# PALACIO DE MINERIA

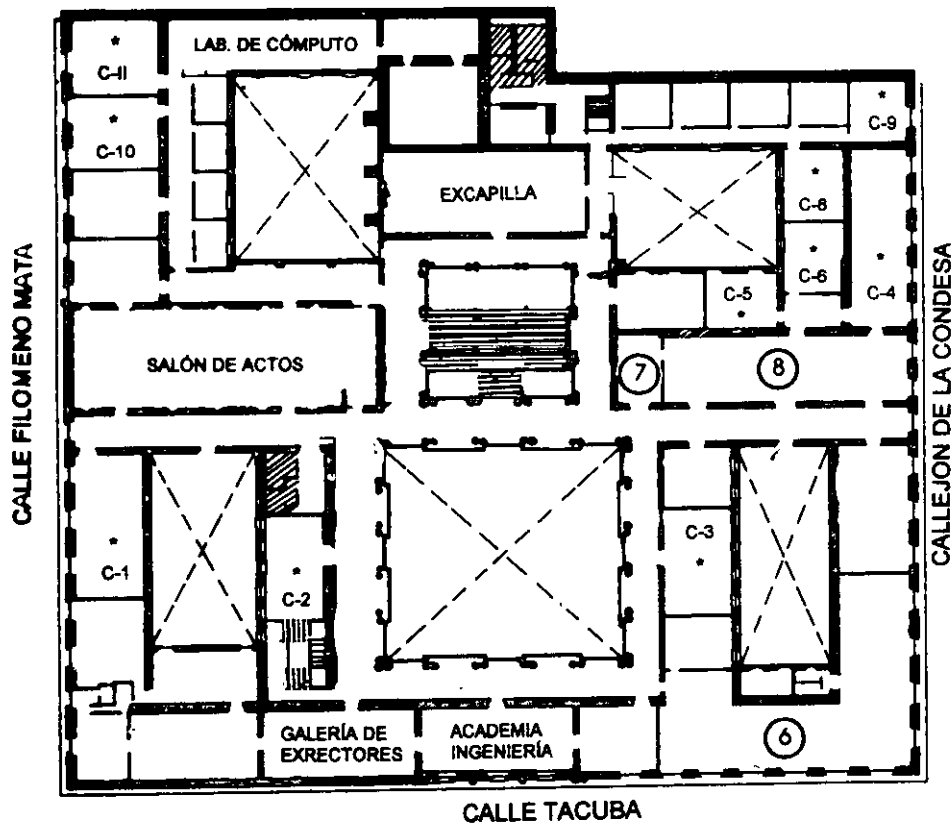


PLANTA BAJA



MEZZANINNE

# PALACIO DE MINERIA



## GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
3. LIBRERÍA UNAM
4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
6. OFICINAS GENERALES
7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
8. SALA DE DESCANSO

SANITARIOS

\* AULAS

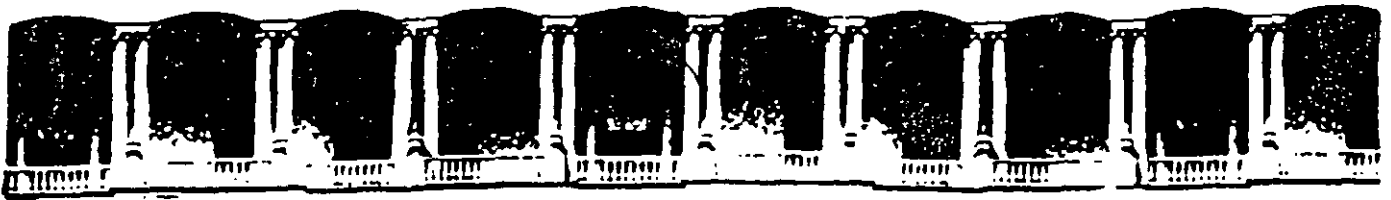
**1er. PISO**



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.  
CURSOS ABIERTOS

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL EN RIESGO  
AMBIENTAL**

**MÓDULO III: MÉTODOS DE ANÁLISIS Y CUANTIFICACIÓN  
DE RIESGOS AMBIENTALES**

**TEMA**

**ÍNDICE DOW, MOND Y ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, EFECTOS Y  
CRITICIDAD**

**EXPOSITOR: ING. ENRIQUE JIMÉNEZ VARGAS  
PALACIO DE MINERÍA  
JUNIO 2000**

# **RIESGOS GENERALES DEL PROCESO**

Estas consideraciones de riesgo se refieren al tipo básico de proceso u otra operación que se efectúe en la unidad.

## **1.- Manejo y cambio físico**

Al almacenamiento de materiales inflamables que esté provisto de protección adecuada (dique) y separado de las operaciones de cargas y descarga se le debe un factor de 10.

Cuando un material que está siendo almacenado está caliente y tiene una fase acuosa separada, y/o el recipiente de almacenamiento está calentado con vapor, se usa un factor de 50.

Las operaciones de proceso que incluyen manejo y cambio físico solamente se llevan a cabo en sistemas cerrados con tubería permanentemente instalada (como destilación, absorción, evaporación, etc), deben ser asignadas con un factor de 10.

Los procesos como centrifugado, mezclado " batch", filtración, etc., requieren un factor de 30.

## **2.- Reacciones continuas simples**

Para reacciones endotérmicas y aquellas exotérmicas que se efectúen en soluciones diluidas de manera que el solvente pueda absorber todo el calor que se genere en un disparo de reacción sin crear una situación peligrosa, úsese un factor de 25; algunos ejemplos son reacciones de separación (cracking) e isomerización y también producción de clorohidrina cuando la sección del reactor contenga más de 90% de agua.

El factor 50 se asigna a otras reacciones exotérmicas como polimerización, cloración, oxidación, etc.

A los procesos que incluyen materiales sólidos como pulverización, mezclado, transportación neumática, tolvas, filtración de polvos, secado de polvos, secado de sólidos, etc., se les debe dar un factor de 50.

### 3.- Reacciones "batch" simples.

El factor escogido debe ser mayor cuando la reacción batch sea rápida ( menos de 1 hora) o lenta ( más de un día). Las reacciones de velocidad media entre estos valores deben tener un factor bajo. Se debe usar además un factor adicional entre 10 y 60 para tomar en cuenta un posible error del operador.

### 4.- Multiplicidad de reacciones diferentes operaciones de proceso efectuadas en el mismo equipo

Se debe incluir otro factor extra por el riesgo de contaminación de una a otra reacción o por obstrucción de sólidos. El procedimiento debe considerar las reacciones individuales u operaciones y seleccionar el factor más alto para la reacción u operación individual.

Se debe aplicar un factor de contaminación cuando las reacciones u operaciones difieran considerablemente una de otra o cuando se use el reactor para hacer otro tipo de producto en el que la contaminación afecte a la reacción. Aplique un factor de hasta 50 de acuerdo con el grado de contaminación.

Donde haya una alteración en el orden o secuencia de admisión de reactivos en una situación de multi-reacción, que pueda conducir a reacciones inesperadas, aplíquese un factor de hasta de 75.

Si por la multiplicidad de reacciones u operaciones se tiene un riesgo de obstrucción debido a las reacciones de subproductos, úsese un factor de 25.

### 5.- Transferencia de materiales

Bajo este encabezado se consideran los riesgos adicionales asociados con métodos específicos de llenado, vaciado o transferencia de materiales. Los factores que deben aplicarse son como siguen:

- Solamente donde haya tubería permanentemente instalada, completamente cerrada, aplíquese un factor de CERO.
- Donde haya tubería flexible o donde la operación requiera la conexión o desconexión de tubería, úsese un factor de 25.
- Donde las operaciones de llenado o vaciado se efectúen a través de compuertas o otras tapas o salidas inferiores ( por ejemplo reactores " batch", mezcladores, centrifugas, filtros) úsese un factor de 50.

#### **6.- Recipientes Transportables**

Si los tambores, tanques desmontables, pipas carros tanque están bien cerrados (excepto cuando se llenan o vacían), las consecuencias de choques, fuego externo y otros incidentes pueden ser mayores que en las unidades fijas de las plantas, debido a que el venteo disponible es insignificante o mínimo. Esta sección considera los riesgos adicionales causados por esta razón; también se ha tomado en cuenta el caso de tambores llenos de vapor y otros recipientes. Se les debe asignar el factor como sigue:

- Cuando se trate de tambores llenos( que no estén en vehículos de transporte) úsese un factor de 25.
- Cuando se trate de tambores llenos en vehículos de transporte, úsese un factor de 40.
- Cuando se trate de tambores vacíos (en o fuera de vehículos) úsese un factor de 10.
- Cuando se trate de pipas o trailers, úsese un factor de 100.

- Cuando se trate de carros-tanque, úsese un factor de 57.

## **RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO**

En esta sección los factores se asignan con respecto a las características de operación del proceso, almacenamiento, transferencia, etc., que intensifiquen el riesgo total sobre la clasificación determinada por las características del material clave y del proceso u operación básica de que se trate.

Esta es la sección donde es de la mayor importancia hacer una estimación correcta de las medidas de control y protección.

### **1.- Baja presión**

Cuando los procesos operan a presión atmosférica o al vacío ( condiciones sub-atmosféricas), el aire o contaminantes pueden entrar al sistema de proceso. Cuando el aire u otro contaminante (por ejemplo vapor de agua) no represente un riesgo, no se necesita aplicar un factor, por ejemplo : unidades que contienen "freón" o "argón", unidades de compresión de cloro, sistemas de condensación de agua, etc. Si el aire o los contaminantes que entren al sistema reaccionan con materiales allí presentes para producir una condición riesgosa, aplíquese un factor de 50. Un ejemplo es el manejo de



diolefinas (dioxano) donde hay el peligro de formación de peróxido y polimerización catalítica subsecuente; y el manejo de materiales pirofóricos etc., requiere tratamiento similar.

Los procesos que operan casi a presión atmosférica (defina como más/menos 0.5 psig ó más/menos 0.35 bar) o al vacío (hasta un diferencial de 600 mm Hg) con materiales inflamables, presentan un gran peligro por el riesgo de explosión originado por la entrada de aire al sistema. En tales casos debe usarse un factor de 100. Ejemplos de estas situaciones son los sistemas colectores de hidrógeno, destilación a vacío parcial de líquidos inflamables, etc.

Los procesos que operan a más alto vacío (diferencial) superior a 600 mm Hg) con materiales inflamables, presentan un riesgo menor y se debe usar un factor de 75.

## 2.- Alta presión

Donde se opera una unidad de planta a una presión más alta que la atmosférica, se requiere un factor para compensar la magnitud de riesgos de fuego y de explosión interna. Los riesgos de fuego se incrementan si se aumenta la presión de la sección y por lo tanto el riesgo de una explosión interna que sobrepresionará alguna parte de la unidad. Se debe usar un factor  $p$  para representar el peligro de alta presión, el cual se determina graficando dos curvas: la primera curva o curva principal va del rango 0-900 psig (0-62.1 bars man), mientras que la segunda curva va del rango 1,000 - 10, 000 psig (69 a 690 bars manométricos).

Para sistemas de más de 3,000 psig (207 bars manométricos, el sistema está fuera de códigos estándar ( sección VIII, DIV. 1 del código ASME para recipientes a presión no sujetos a fuego directo) y las juntas especiales para esa presión, los sellos de cono o equivalentes se deben usar en el diseño de bridas. Puede resultar un riesgo considerable de un escape grande de fluido descargado a la atmósfera proveniente de sistemas a estas elevadas presiones (excepto donde se trata de sólidos como es en las operaciones de moldeo por extrusión o inyección). La segunda curva aumenta más rápidamente arriba de 3, 000 psig (207 bars manométricos) por el problema descrito. Arriba de 10,000 psig

(690 bars manométricos), debe aumentarse al factor  $p$  en 10 por cada 2,500 psig adicionales ( 172.4 bars).

### 3.- Baja temperatura

Donde se use acero al carbón normal en la construcción de equipos para la planta y las temperaturas normales de operación oscilen entre  $10^{\circ}\text{C}$  ( $850^{\circ}\text{F}$ ) y  $-10^{\circ}\text{C}$  ( $14^{\circ}\text{F}$ ), asígnese un factor de 15.

Cuando se use acero al carbón normal a temperaturas normales de operación entre  $-10^{\circ}\text{C}$  ( $14^{\circ}\text{F}$ ) y  $-25^{\circ}\text{C}$  ( $-13^{\circ}\text{F}$ ) sin posibilidad de alcanzar temperaturas menores a  $-25^{\circ}\text{C}$  bajo cualquier condición, asígnese un factor de 30.

Donde se use acero al carbón normal a temperaturas normales de operación menores de  $25^{\circ}\text{C}$  ( $-13^{\circ}\text{F}$ ) o donde haya posibilidad de alcanzar temperaturas menores a  $-25^{\circ}\text{C}$  bajo condiciones anormales, asígnese un factor de 100.

El propósito de esta sección es tomar en cuenta el posible debilitamiento de unidades de acero al carbón al ser operadas a una temperatura igual o menor a la de transición. Sin embargo, si las pruebas muestran que el acero al carbón ha operado siempre sobre su temperatura de transición, no se aplica ningún factor.

Cuando se usan grados de acero para bajas temperaturas, aleaciones de acero u otras aleaciones, resistentes a la corrosión, debe aplicarse un factor adecuado (normalmente entre 0 y 30, pero ocasionalmente hasta 100) cuando la temperatura normal de operación difiera en menos de  $10^{\circ}\text{C}$  de la temperatura de transición (tomando la temperatura normal de transición de acero al carbón como  $0^{\circ}\text{C}$ ). Se debe buscar la guía de los especialistas en Diseño de recipientes a presión y de metalúrgistas para los valores de la temperatura de transición de aleaciones de acero etc. y para los efectos que se pueden anticipar al usar construcciones de paredes gruesas.

### 4.- Alta temperatura

La operación a alta temperatura presenta un efecto doble: primero, aumenta los riesgos inherentes al manejo de material inflamable; y segundo, la resistencia del equipo de planta se puede ver afectada negativamente.

Los efectos de la alta temperatura en los riesgos del material dominante presente, son mayores cuando el material es un líquido inflamable, pero también son significativos con gases y vapores inflamables.

Cuando la unidad contenga el material dominante en fase líquida o sólida se asigna el factor de inflamabilidad por alta temperatura como sigue:

- Cuando un líquido o sólido inflamable esté arriba de su punto de inflamación de copa cerrada, úsese un factor de 20.
- Si el líquido o sólido está por arriba del punto de inflamación de copa abierta úsese un factor de 25.
- Si el material dominante está en fase líquida a una temperatura arriba de su punto de ebullición a 760 mm Hg, úsese un factor de 25. Esto también se aplica en el caso de GASES LICUADOS INFLAMABLES presentes en la sección como un LIQUIDO.
- Si el material es un sólido a temperatura normal, pero se presenta en la unidad en fase líquida, úsese un factor de 10.
- También para todos los materiales inflamables, si el material (ya sea su estado normal gas, líquido o sólido) se maneja arriba de su temperatura normal de autoignición, úsese un factor de 35.

Cuando algún material cae bajo varios criterios se usa el factor más grande, o donde los factores sean iguales, se debe usar un factor de 1.1 VECES el factor individual para este efecto de temperaturas en el material.

Un factor adicional se debe asignar, cuando sea apropiado, para el efecto de la temperatura sobre la resistencia del equipo de la planta, como sigue:

- Si la temperatura es tal que el material (metales, plásticos, plomo etc) usado para construir los equipos de la planta se opera bajo condiciones de esfuerzo longitudinal a progresivo, aplíquese un factor de 25.
- Si la temperatura de operación está en el rango donde la resistencia disponible del material de construcción se reduce en un 25% o más, por un aumento en la temperatura de 50°C. aplíquese un factor de 10.

### 5.- Riesgos de corrosión y erosión

Bajo este encabezado se consideran los riesgos debido a los efectos de corrosión/erosión. Los factores que se deben aplicar son como sigue:

- Velocidad de corrosión menor que 0.1 mm/año, factor de 0.
- Velocidad de corrosión menor que 0.5 mm/año con algún riesgo de perforación o erosión local, factor de 10.
- Velocidad de corrosión cercana a 1 mm/año con o sin defectos de erosión, factor de 20.
- Velocidad de corrosión mayor que 1 mm/año sin efectos de erosión o hinchazón de plásticos, factor de 50.
- Velocidad de corrosión mayor que 1 mm/año acompañada de efectos de erosión, factor de 100.
- Alto riesgo de desarrollo de tensión y agrietamiento, factor de 150.
- Cuando un tubo soldado en forma espiral se usa en lugar de un tubo soldado longitudinalmente o fundido, se debe usar un factor de 100 A MENOS que la calidad del tubo y su uso se controle de manera que su comportamiento no esté por abajo del tubo longitudinalmente soldado.

Estos factores deben asignarse tanto un respecto a la **corrosión interna** como a la **corrosión externa**. Se debe vigilar la influencia de impurezas menores en la corrosión o erosión producidas por el fluido del proceso y también la corrosión externa producida por

la caída de la pintura o por líquidos contaminantes en el recubrimiento, que se concentran por evaporación. Cuando la planta se construye con revestimientos resistentes (plásticos, ladrillos, hule, metales, recubiertos, etc.) los efectos del resquebrajamiento en los agujeros para espigas, uniones con cemento, soldaduras contaminadas, etc., se deban tomar en cuenta en todos los problemas de corrosión. Igualmente se deben revisar los efectos de la corrosión de sub - productos normalmente producidos cuando la reacción deseada se inhibe o se modifica.

#### 6.- Riesgos de juntas y empaques

Un equipo de proceso puede contener partes donde el sellado de juntas o flechas se efectuó. Estas partes pueden causar problemas, particularmente donde se tienen ciclos de temperatura y de presión. Se debe seleccionar un factor de acuerdo con el diseño y los materiales escogidos para estas partes, como sigue:

- Construcción soldada para la mayoría de las uniones, más uniones con bridas se sabe que no causan problemas, cuellos de bombas y válvulas bien sellados (posiblemente con fuelles o doble sello mecánico) ; factor de 0.
- Uniones bridadas que se sabe llegaran a tener fugas regulares de menor cuantía, factor de 30.
- Sellos de bombas que podrían tener fugas de menor cuantía, factor de 20.
- Problemas mayores de sello en el proceso (fluido del proceso que penetra, lodos abrasivos, etc.) factor de 60.

#### 7.- Riesgos de vibración y de fatiga por carga cíclica y fallas en los cimientos o ganchos de soporte

Algunos tipos de operaciones tales como unidades de compresión, introducen vibración en equipos asociados y tuberías. Efectos similares, en un período más largo de tiempo se pueden producir en un equipo donde las condiciones de temperatura y presión varían cíclicamente dentro de un rango razonable. Ambas situaciones introducen riesgos de fatiga en equipo, que intensifican el riesgo de la sección. En estos casos aplíquese un factor de HASTA 30 de acuerdo con las consecuencias que ocasione la falla.

Cuando un recipiente se coloca sobre celdas de carga o artefacto similar de tal manera que los movimientos laterales puedan causar inestabilidad al recipiente, úsese un factor de 50.

### **8.- Procesos o reacciones difíciles de controlar**

Cuando se llevan a cabo reacciones de naturaleza exotérmica o en casos en los que se puede evitar una reacción lateral de naturaleza exotérmica, hay una gran posibilidad de que la reacción quede peligrosamente fuera de control. Algunos ejemplos lo constituyen las nitraciones, algunas polimerizaciones y reacciones de Friedel-Crafts.

La operación de un proceso a temperatura normal dentro de 20°C del límite de temperatura especificado por seguridad para dicho proceso (definido con respecto a la capacidad REAL de operación y materiales de construcción) debe asignarse un factor de 100.

Factores en el rango entre 20 y 300 se deben usar para otros aspectos de difícil control, dependiendo la dimensión del Factor, de la influencia de impurezas y cantidad de catalizador, de la sensibilidad general de la reacción a condiciones súbitas fuera de control sin cambios de avance detectables, etc.

Para asignar el valor del factor que se debe usar, se debe considerar el efecto de inercia a cambios del material en una unidad. Con reacciones líquido-líquido y líquido-gas, hay una cantidad amortiguadora que actúa como un agente buffer en los riesgos introducidos por un cambio en el flujo de material. En estas situaciones, se debe considerar un valor en el rango de 20 a 75. En el caso de sistemas de gas o fase de vapor, el tiempo de

residencia es mucho más corto y los efectos de un cambio en velocidad de un material son más pronunciados. Aquí se deben seleccionar factores más altos en el rango de 100 a 300, de acuerdo con el grado de dificultad de control esperada.

### 9.- Operación en o cerca del rango inflamable

No se necesita considerar aquí a las unidades de proceso que operan a baja presión. Los límites de inflamabilidad considerado bajo este apartado son aquellos determinados con el aparato de 2" del US Bureau of mines por propagación hacia arriba ( NO aquellos observados en la práctica que tienden a ser más pequeños, ni aquellos determinados en aparatos más grandes).

En el caso de almacenamiento de líquidos inflamables dentro de recipientes cerrados que no tienen venteo atmosférico, se debe usar un factor de 25 si el espacio de vapor puede caer dentro del rango inflamable por venteo accidental. Un ejemplo de esto sería un tanque de metanol normalmente purgado con nitrógeno donde el espacio de vapor se puede inflamar si se permite al nitrógeno dispersarse en la atmósfera.

Se debe asignar un factor de 150 a los tambores vacíos u otros recipientes que hayan contenido materiales inflamables y no hayan sido purgados o descontaminados totalmente.

Donde se haya almacenado líquidos inflamables de manera que el espacio de vapor esté (bajo condiciones normales o de equilibrio) fuera del rango inflamable, pero que puedan entrar en el rango inflamable durante el vaciado o llenado, o en otras situaciones frecuentes pero normales, se debe usar un factor de 50. Por ejemplo: tanques de almacenamiento de gasolina y crudo (normalmente ricos en combustible) que pueden producir una atmósfera inflamable si se vacían rápidamente.

Igualmente un líquido inflamable almacenado a una temperatura por abajo de su punto de inflamación de copa cerrada, puede producir un espacio de vapor inflamable por la entrada de líquido caliente, formación de neblina, etc. Donde se tiene un llenado de golpe ( sin evitar salpicaduras) en tales condiciones se debe usar un factor de 50.

Las reacciones de proceso y otras operaciones, que se lleven a cabo cerca del rango inflamable donde se debe tener confianza en la instrumentación para permanecer fuera de los límites de inflamabilidad, se aplica un factor de 100. Un ejemplo es la oxidación de tolueno a ácido benzoico con aire.

Se les debe asignar un factor de 150 a los procesos que siempre operen dentro del rango inflamable. Un ejemplo es la destilación y/o vaporización del óxido de etileno.

#### 10.- Riesgos de explosión mayor que el promedio

Para los procesos que usen líquidos inflamables o gases licuados inflamables a temperaturas y presiones tales que una descarga procedente del equipo resulte en rápida vaporización y formación probable de concentración inflamable en una gran parte del edificio o atmósfera circundante, úsese un factor de 40.

A los procesos con riesgo de explosiones de vapor se les debe dar un factor de 60; por ejemplo; procesos donde el agua de enfriamiento se usa en conjunto con circuitos de sales fundidas.

A los procesos susceptibles de acumular contaminantes que puedan causar una explosión, se les debe dar un factor de 100; por ejemplo plantas de separación de aire, almacenamiento de óxido de etileno.

Para cualquier proceso donde por la experiencia que se tiene se sospeche que la ESCALACION en tamaño PUEDA AFECTAR LA REACTIVIDAD y aumentar la naturaleza peligrosa de la operación, úsese un factor de POR LO MENOS 60. Ejemplos: el uso a gran escala de químicos sensibles tales como el etileno, acetileno, óxido de etileno, presurizados o el cambio de un proceso de reactores con serpentín a reactores con hervidor, etc.



Donde los subproductos, productos corrosivos o residuos puedan acumularse en la unidad y afectar la estabilidad de los materiales que están siendo procesados, produciendo una descomposición, úsese un factor de POR LO MENOS 50.

Donde se almacenan gases licuados inflamables usando refrigeración y en los casos de almacenamiento de líquidos criogénicos inflamables u oxidantes, aplíquese un factor de 80.

### 11.- Riesgo de explosión por polvo o neblina

Se debe aplicar un factor para este riesgo cuando la experiencia muestra que bajo condiciones normales o ligeramente anormales se pueda desarrollar un potencial de explosión por polvo o neblina.

Si se sabe que un proceso bajo condiciones y variaciones definidas NO se origina un riesgo por polvos, no se necesita ningún factor; por ejemplo: el manejo y transporte controlado de "pellets" de polietileno donde no exista peligro de polvo.

Para procesos donde los materiales se manejen de tal manera que los riesgos de explosión por polvo o neblina dentro o fuera del equipo puedan producirse únicamente por ruptura o mal funcionamiento del equipo, úsese un factor de 30. Ejemplos: aceite hidráulico de alta presión, óxido de difenilo, sistemas de azufre o naftaleno fundido, cuando la falla del sistema de contención de lugar a la formación de una nube de polvo o niebla.

Si el proceso o la operación usa líquidos a una temperatura que sea susceptible de ignición o explosión de tal manera que pueda haber formación de neblina DENTRO del equipo, aplíquese un factor de 50. Por ejemplo: Sistemas "Dowtherm" de transferencia de calor y el bombeo de aceites hidráulicos calientes, aceites minerales, aceites, fluidizantes, etc.

En los procesos en los que el riesgo de formación de polvo o neblina casi siempre está presente, se les debe dar un factor de 50 a 70. El manejo de polvos finos que se

clasifican como inflamables por pruebas estándar, es ejemplo de lo anterior y el valor del factor debe relacionarse con el grado de riesgo presentado por el polvo. La neblina se debe tratar de igual manera.

## 12.- Procesos que usan oxidantes gaseosos muy fuertes

La liberación potencial de energía en procesos que usan oxígeno, mezclas de aire-oxígeno, óxidos de nitrógeno y cloro, se intensifica considerablemente sobre los procesos de oxidación con aire a la misma temperatura y presión. Se debe hacer una consideración basada en la concentración máxima del soporte en la corriente del proceso de la planta bajo la base libre de combustible.

- Donde el oxígeno se use como oxidante, úsese un factor de 300.
- En el caso de aire enriquecido por oxígeno, úsese un factor calculado de acuerdo con el x% de oxígeno disponible en el aire enriquecido.

$$(x-21) 300/79$$

- Donde se use cloro sin dilución, úsese un factor de 125.
- Si el cloro se diluye con un inerte hasta una concentración de y%  $Cl_2$ , en una base libre de combustible, úsese un factor dado por:

$$(y-39) 125 / 61$$

- Donde  $N_2O$  o  $NO_2$  se usan sin ser diluidos, el aumento en la liberación de energía potencial es similar al del oxígeno. Por lo tanto, se debe usar un factor de 300.

La dilución de  $N_2O$  o  $NO_2$  se debe tratar igual que la del oxígeno diluido.

- Si el óxido Nítrico sin dilución es el oxidante, se debe usar un factor de 230.
- En lo que se refiere al Óxido Nítrico diluido, se debe calcular el factor basado en la composición z% del Óxido Nítrico, como sigue:

$$\text{Factor} = (z-26) \ 230 / 74$$

- En lo referente a oxidantes mezclados, recúrrase a especialistas.

No se deben dar factores negativos para las condiciones en las que el soporte se diluye abajo del equivalente de aire, ya que el AIRE puede entrar al equipo de la planta durante una operación anormal.

### 13.- Sensibilidad a la ignición del proceso

Al igual que los efectos anteriores sobre la liberación potencial de energía, se debe introducir un factor separado para ajustar una mayor sensibilidad a la ignición de algunas mezclas de procesos comparada con el mismo material en el aire. Este factor también se debe usar para tomar en cuenta la posible formación de sub-productos pirofóricos, peróxidos inestables, etc. que puedan actuar como fuentes de ignición eficientes.

El factor usado se debe seleccionar como sigue:

- Si O<sub>2</sub> concentrado, N<sub>2</sub>O o NO es el oxidante, úsese 50.
- Donde C<sub>1</sub><sub>2</sub> concentrado o NO<sub>2</sub> es el oxidante, úsese 75.
- Donde el oxidante se diluye, úsese un factor linealmente proporcional, de manera que de un factor cero a 21% N<sub>2</sub>O, 26% NO, 21% NO<sub>2</sub> y 39% C<sub>1</sub><sub>2</sub>.

- Donde es probable que el proceso produzca materiales pirofóricos, que pueden provocar ignición en espacios de vapor o donde es probable que se formen pequeñas cantidades de materiales inestables como peróxidos, úsese un factor de 25.

#### 14.- Riesgos electrostáticos

Los riesgos electrostáticos se pueden introducir cuando una unidad contiene:

- Polvos y materiales granulados en movimientos.
- Líquidos puros de gran resistividad.
- Líquidos que contienen dos fases
- Descargas de gas que contienen dos fases y
- Cuando el equipo en estudio está hecho de materiales aislantes o tiene recubrimientos aislantes, por ejemplo plásticos y hule.

El comportamiento de POLVOS O MATERIALES GRANULADOS, de alta resistividad (ejemplo: materiales en polvo o forma granular a partir de los que se elaboran los aislantes eléctricos) es tal, que pueden generar cargas electrostáticas cuando fluyen dentro de equipos de la planta, ductos, silos, etc. El riesgo se aumenta cuando se tratan volúmenes considerables de material, ya que la carga en las partículas sólo puede pasar a tierra lentamente.

Si el equipo está recubierto con materiales aislante, el riesgo es mayor. Cuando se tiene este riesgo, se debe usar un factor de entre 25 y 75 más un factor adicional de 50 si el equipo es de material aislante o tiene recubrimientos aislantes (incluyendo recubrimientos de polietileno no fijos para tambores)

LOS LIQUIDOS ORGANICOS de alta resistividad también tienen la facilidad de generar cargas electrostáticas cuando: son bombeados a altas velocidades, caen libremente en superficies líquidas dentro de los recipientes, pasan a través de filtros y unidades similares, etc. Cuando se trata de líquidos sustancialmente puros (no contaminados por una segunda fase de material como agua otro material en partículas) el potencial de generación de cargas electrostáticas peligrosas durante las operaciones convencionales

de flujo de líquido, puede relacionarse con la resistividad eléctrica del líquido puro. Si esta resistividad es menor de  $10^8$  ohms cm, se puede concluir que el manejo del LIQUIDO SUSTANCIALMENTE PURO presenta riesgos mínimos de generación de carga electrostática. Si el líquido se va a manejar en estado contaminado o si la pureza en la operación puede ser tal que se espere un valor de resistividad más alto, se recomienda que los riesgos se consideren mínimos, si la resistencia es menor de  $10^{10}$  ohms cm. Los combustibles que generalmente se encuentran en esta categoría de riesgo son: gasolina, nafta, benceno, tolueno, parafinas, xileno, etc. Alcoholes, cetonas, aldehidos y ésteres generalmente tienen baja resistividad.

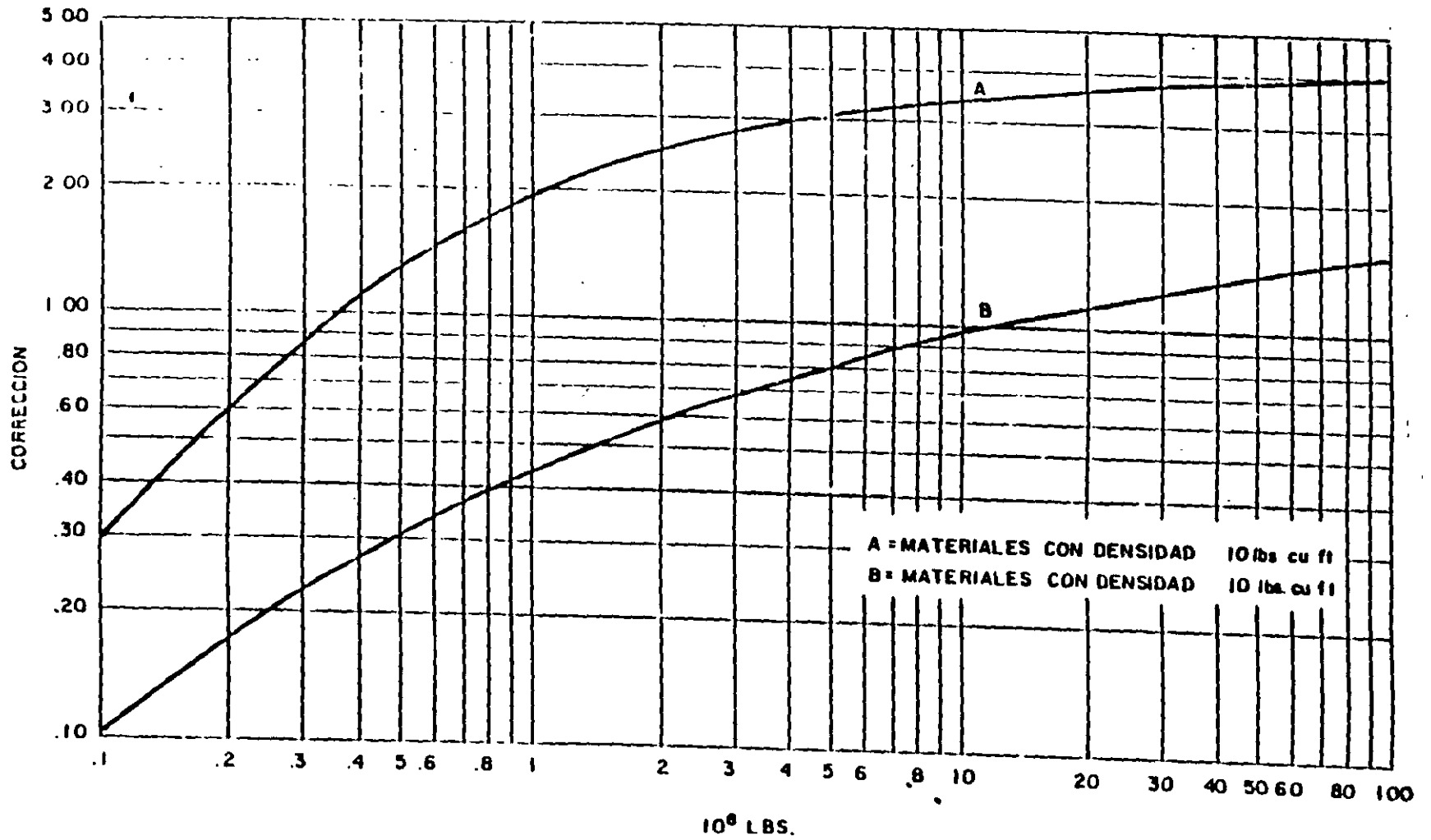
Los sistemas acuosos tienen resistividad que son mucho más bajas ( $10^7$  ohms cm. o menos) y en general no presentan ningún potencial de generación de carga, ya que cualquier carga formada, rápidamente descarga en componentes de tierra. Al otro extremo de la escala, un hidrocarburo altamente purificado es esencialmente no-conductor y tiene una resistividad muy alta. Como resultado, los valores de resistividad del líquido están en función del nivel de pureza y de la naturaleza de las impurezas. Las listas de los valores de resistividad no siempre se encuentran en los documentos de referencia sobre propiedades de líquidos. PARA EL LÍQUIDO EN CUESTIÓN, ESTE DATO DEBE SOLICITARSE EN ESTADO SIMILAR AL PREVISTO EN LA UNIDAD. Se aconseja un factor de entre 10 y 100 cuando se prevean riesgos de descarga electrostática en líquidos. Se debe buscar la guía de un experto en esta materia cuando probablemente estén presentes dos fases (partículas o un segundo líquido inmiscible) y seleccionar así un factor de 50 a 200. Algunos GASES, cuando se descargan a gran velocidad, también pueden generar cargas electrostáticas, por ejemplo: dióxido de carbono gaseoso, vapor húmedo, gases conteniendo partículas sólidas, etc. Esto también es un asunto para que un experto decida un factor en el rango de 10 a 50.

## MEDIDAS DE SEGURIDAD

Cuando se habla de riesgo de proceso es necesario hablar también de algunas medidas que se deben considerar para operar los equipos con seguridad. A continuación, y a manera de ejemplo, se mencionan algunas de estas.

- Para permitir el escape de gases, las cajas de los manómetros Bourdon deberán estar previstas de grandes orificios respiraderos cubiertos con papel o una fina hoja metálica para protegerlos contra el polvo. Para proteger el aparato contra el polvo, debe sustituirse el vidrio con una lámina gruesa o vidrio de seguridad.
- Los barómetros de Bourdon deben ponerse a una altura mayor que la de los ojos. Debe hacerse uso de los cierres de aceite para impedir la corrosión, regular con una válvula la toma de presión para evitar la fatiga por las oscilaciones, y el empleo de dispositivos de retención para impedir que la presión suba o baje bruscamente.
- Con gases inflamables a presiones elevadas, el efecto Armstrong es una fuente posible de accidentes, debido a que el gas puede contener partículas líquidas o sólidas que pasan a gran velocidad sobre un objeto metálico aislado, el cual puede adquirir una carga eléctrica tan grande capaz de provocar una chispa que a su vez inflame el gas.
- Los efectos de fricción pueden hacerse presentes cuando se rompen recipientes metálicos, situación que puede provocar temperaturas locales muy elevadas e inflamar los gases.
- Cuando no es factible usar una válvula de seguridad de reposición automática, es a veces factible tener dos válvulas de seguridad, una puesta en punto para una presión ligeramente mayor que la de trabajo con una válvula de cierre interpuesta entre ella y el aparato que se quiere proteger, y la otra regulada para una presión algo más elevada y sin la válvula de cierre o interrupción. Cuando la válvula de seguridad regulada para la presión más baja funciona, puede reponerse con la válvula de interrupción cerrada, mientras que la observación-minuciosa y la válvula de seguridad a presión más alta proporcionan la seguridad necesaria.
- Las piezas mayores y más calientes de las instalaciones de alta presión pueden colocarse detrás de gruesas barricadas de protección; pues en caso de explosión, los

FIG. 5 - SOLIDOS COMBUSTIBLES ALMACENADOS



## 2. Requerimiento para aplicar el índice Dow.

- A) Plano de localización de la planta (Plot Plan) preciso.
- B) Conocimiento profundo del flujo y condiciones de proceso.
- C) Diagrama de flujo detallado.
- D) Formato de trabajo índice Dow.
- E) Guía de Cálculo índice Dow.
- F) Calculadora y compás.
- G) Relación de costo de equipo instalado en la planta.

## 3. Secuencia de cálculo.

Se inicia identificando, en el plano de localización, aquellas unidades o secciones de procesos que se consideren como de las de mayor impacto que contribuyan más el riesgo de fuego ó explosión

Se determina el factor material para cada unidad o sección. Se evalúa la contribución de cada factor de riesgo para determinar el factor de riesgo de la unidad y el factor de daño, que representa el grado de exposición o de perdidas.

Se calcula el índice Dow de fuego y exposición (IFE) y el área de exposición alrededor de la unidad o sección analizada.

Se determina el valor de US Dlls. Del equipo dentro del área de exposición. Con lo que se calcula el daño máximo probable a la exposición probable a la exposición a la propiedad base, el cual se corrige por los factores por medidas de control por pérdidas obteniendo el daño máximo probable a la propiedad actual ó corregido. (Esto también se logra relocalizando equipo fuera del área de localización.)

Con el daño máximo probable a la propiedad actual, se determinan los días máximos probables fuera de operación. El DMPP actual representa la pérdida probable que puede ocurrir si se representa un incidente de magnitud razonable y operan varias protecciones, la falla de algún equipo de protección puede regresar al DMPP a su valor base.

Cada paso citado se explica en esta guía de cálculo del índice de Dow; se incluye una lista checable para la evaluación de las áreas importantes de control de pérdidas en la planta.

## II Unidad de proceso

Para el estudio DOW, es necesario dividir el proceso en unidades o secciones, como pueden ser: unidades de alimentación, almacenamiento, precalentamiento, reacción absorción, adsorción, purificación, mezclado, destilación, ó considerar equipos específicos como bomba, tanques, reactores, evaporador, columna de destilación, etc.



En determinados casos, como los de una bodega, unidad de proceso se considera como el material almacenado.

El índice Dow debe aplicarse en aquellas unidades de proceso donde existe un gran impacto en el riesgo de incendio o explosión de acuerdo al material existente, reacciones o proceso peligroso.

El objetivo del grupo ASP, será encontrar el área más grande de exposición en la Planta, y determinar los costos y días perdidos máximos que se podrían originar, así como, las medidas necesarias para prevenir los riesgos que se encuentren.

### **III Factor Material (FM)**

El FM es una medida de la intensidad de energía liberada para un compuesto químico mezcla o sustancia; y es el punto de partida para el cálculo de; índice de fuego ó explosión.

El FM se determina considerando los riesgos de inflamabilidad y reactividad del material, y es un número entre 1 y 40; para determinar el factor material de materiales, se procede de la siguiente manera:

1. Gases, líquidos o sólidos:

a) Use el NFPA 49 y 325 M y encuentre Nf (riesgo de inflamabilidad) y Nr (riesgo de reactividad) ó,

b) Use las propiedades termodinámica del material.

Inflamabilidad (Nf): se deriva del punto de flama (Flash Point), y del punto de ebullición cuando el punto de flama es menor a 100 °F.

Reactividad (Nr): se deriva de los cálculos de reactividad química por cualquiera de los siguientes métodos:

Usando la temperatura adiabática de descomposición (Td), que es la temperatura teórica alcanzada por el proceso de descomposición completa del material inicialmente a 25°C, sin considerar la presencia de trazas de impurezas, efectos catalíticos, atmosféricos, etc.

Utilizando un calorímetro con rango de aceleración, o similar, para materiales con Td iguala 1 000 °K.

2. Polvos:

El FM se basa en la máxima velocidad de incremento de presión que alcanza, definida como la velocidad de incremento de presión de explosión para el intervalo de tiempo de ese aumento.

3. Mezcla de Compuestos:

El FM se obtiene de los datos de la mezcla (Punto de flama, Td, etc.); otra manera es considerar el FM promedio de acuerdo al % en peso de los componentes no reaccionan entre sí.

VER A CONTINUACION TABLA GUIA PARA DETERMINAR FM

#### IV Riesgos Generales del proceso.

Los puntos contenidos en esta sección incrementan la magnitud de un probable incidente, por lo que deben ser revisados en relación a la unidad de proceso analizada y evaluar los factores adecuados.

##### A. REACCIONES EXOTÉRMICAS.

1. El siguiente tipo de reacciones tiene un factor de 0.30: hidrogenación, hidrólisis, isomerización, sulfonación, neutralización. La hidrólisis con Epiclorohidrina tiene un factor de 0.50.
2. Las reacciones de Alquilación, Esterificación, Oxidación, Polimerización, y Condensación, tienen un factor de 0.50. La Oxidación con oxidantes fuertes como cloratos,  $\text{HNO}_3$ , ácidos Hipoclorosos, tiene un factor de 1.00.
3. La reacción de Halogenación tiene un factor de 1.00.
4. La reacción de Nitración tiene un factor de 1.25

##### B. REACCIONES ENDOTERMICAS

Todas las reacciones endotérmicas tienen un factor de 0.20, excepto aquellas cuyas fuentes de calor, para sostener la reacción, sea proporcionada por combustión directa de combustión directa de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, los cuales tienen un factor de 0.40

##### C. MANEJO Y TRANSFERENCIA DE MATERIALES.

Se consideran actividades relativas o mezclado, carga y descarga, almacenaje y empaçado.

1. En la carga y descarga de líquido inflamables Clase Y (PF 100°F) o gas LP considerando actividades de conexión y desconexión de líneas de transferencia desde pipas, carros-tanques, barcos o tanques, se aplica un factor de 0.50.
2. El uso de centrifugas, reacciones batch, o mezclado en batch en recipientes semi abiertos, tiene un factor de 0.50.
3. Bodegas y Patios de almacenamiento.
  - Líquidos inflamables clase o Gas LP o gases inflamables, factor de 0.85.
  - Sólidos combustibles abiertos o de celda abierta (espesores < 40 mm), factor de 0.65
  - Sólidos combustibles densos o celda cerrada (espesor >40 mm) factor de 0.40
  - Líquidos combustibles Clase II, factor de 0.25

Los factores se aplican de acuerdo a la cantidad presente.

#### D. UNIDADES DE PROCESO CERRADAS:

1. Si existen colectores o filtros para polvos explosivos, factor de 0.50
2. Si contiene líquidos inflamables calentados arriba del punto de flama pero abajo del punto de ebullición, factor de 0.30.
3. Líquidos inflamables o Gas LP calentados arriba del punto de ebullición, factor de 0.60
4. Más de 10 M lb. De material de los puntos 2 ó 3, el factor se multiplica por 1.5.

#### E. ACCESO CON EQUIPO DE EMERGENCIA AL ÁREA DE PROCESO.

Se debe poder llegar a la unidad de proceso con equipo de emergencia y combate de incendios por la menos 2 caminos distintos. Si el acceso es inadecuado, el factor será de 0.35.

#### F. DRENAJE.

Un drenaje inadecuado incremento las pérdidas por fuego cuando se produce un derrame de inflamables. Para la evaluación de este punto se asume que es el 75% del líquido inflamable contiene en la unidad se derrama, si el líquido queda rodeando la unidad se aplica un factor de 0.50, si el drenaje es directo a un contenedor, se aplica un factor de 0.25.

#### V Riesgos Especiales del Proceso.

##### A.- TEMPERATURA DE PROCESO.

1. Si la temperatura del proceso o de las condiciones de manejo es- o está- sobre el punto de flama del material, se usa un factor de 0.30.
2. Si la temperatura del proceso o de las condiciones de manejo es o está sobre el punto de ebullición, el factor es de 0.60.
3. Para materiales con baja temperatura de autoignición o pirofóricos, como el CS<sub>2</sub> o el Hexano, se usa un factor de 0.75.

##### B.- BAJA PRESION (SUB-ATMOSFERICA).

Se aplica a cualquier proceso donde la entrada de aire al sistema pueda ser un riesgo. El factor aplicable a cualquier equipo de proceso que opere a presión sub atmosférica, aún momentáneamente, es de 0.50.

##### C.- OPERACIÓN EN O CERCA DEL RANGO INFLAMABLE.

1. Tanques de almacenamiento de líquidos inflamables Clase 1, donde pueda entrar aire durante el bombeo, factor 0.50.

2. Procesos u operaciones donde se pueda caer en el rango inflamable o cerca de él, sólo en caso de falla de instrumentos o falla de purga, factor de 0.30.
3. Procesos y operaciones donde se opere cerca o en el rango inflamable, ya sea porque no se pueda purgar, por el proceso en sí, o por diseño, tiene un factor de 0.80.
4. La descarga de pipas o carros-tanque que involucren relleno, factor de 0.40. En procesos donde no pueda entrar aire, ya sea por bloqueo con gas o no, por la presión de operación del material es factor es cero.

#### D.- POLVOS EXPLOSIVOS.

Tamaño de partículas	Mesh de Malla Tyler	Factor
Más de 175	60-80	0.25
150 A 175	80 a 100	0.50
100 A 150	100 a 150	0.75
75 A 100	150 a 200	1.25
Menos de 75	Más de 200	2.00

Si se transporta o maneja con gas inerte, el factor será la mitad del señalado.

#### E.- PRESION.

Esta sección se refiere a las unidades de proceso que operan a presión de calibración de la válvula de seguridad, discos de ruptura.

1. Si se manejan materiales altamente viscosos, se multiplica por 0.70.
2. Si son gases comprimidos, se multiplica por 1.20.
3. Si son gases licuados inflamables o materiales con presión vapor de 40 psig., o más, se multiplica por 1.3.

Esta sección no se aplica a procesos de extrusión o moldeado.

#### F.- BAJA TEMPERATURA.

Esta sección estima los posibles daños que ocurren en el acero al carbón, en o bajo de su temperatura de transición, sin considerar si el equipo no opera a temperaturas debajo de la transición del material con el que está construido.

1. Para equipos de acero al carbón, operando entre 10 y 29°C (50 y 20°F), el factor es de 0.30.
2. Si el acero al carbón se usa debajo de -290 (-200°F), el factor es de 0.50.
3. Para otros materiales en o debajo de su temperatura de transición, el factor es de 0.20.

## G. CANTIDAD DE MATERIAL INFLAMABLE

1. Líquidos inflamables, ó combustibles, gases licuados ó gases en varias etapas de proceso, se obtienen los  $BTU \times 10^9$  totales, multiplicando las libras el material por AHC; Los líquidos combustibles con punto de flama arriba de  $140^{\circ}F$ , sólo se consideran si la temperatura del proceso es mayor al punto de flama del material.

En los materiales inestables se determina el valor del factor utilizando 6 veces el valor del calor de descomposición en BTU/lb ( $Hd=(Td-300) \times 0.70$ ).

2. Líquidos o gases en almacenamiento: En este punto se analiza el riesgo que representan los líquidos inflamables o combustibles, los gases licuados o gases en almacenamiento, aplicándose el proceso en tambores, tanques y en tanques portátiles.

El factor se basa en los BTU totales de un solo recipiente de almacenamiento, excepto en el caso de tambores donde se utiliza la cantidad total almacenada en tambores.

Los materiales inestables se evalúan en función del calor de descomposición. Cuando hay más de un recipiente en un área de tanques con un dique común, y no hay drenaje hacia un contenedor seguro, se evaluarán los BTU de todos los tanques para obtener el factor.

3. Sólidos combustibles en almacenamiento. El factor se evalúa considerando las libras totales de sólidos combustibles almacenados en un área aislada de otras, de acuerdo a la densidad del material.

## H. CORROSION Y EROSION.

Esta sección considera tanto corrosión externa como interna.

- 1.- Velocidad de corrosión menor a 0.5 mm/año, factor de 0.10
- 2.- Velocidad de corrosión de 0.5 mm/año a menos de 1.0 mm/año, factor de 0.20
- 3.- Velocidad de corrosión mayor a 1.0 mm/año, factor de 0.50
- 4.- Riesgo de que la corrosión desarrolle esfuerzos de ruptura, factor de 0.75

## I. FUGAS-JUNTAS Y EMPAQUES.

1. Bomba y prensaestopas sellados de manera que sólo puedan dar fugas menores, factor de 0.10
2. Si se sabe que se tendrán problemas regulares de fugas en bombas, compresores y juntas, factor de 0.30
3. Si la naturaleza del fluido puede causar problemas continuos en los sellos, el factor es de 0.40
4. Juntas de expansión, tubos o juntas flexibles y mirillas de vidrio, tienen un factor de 1.50

## J EQUIPO CALENTADO CON FUEGO DIRECTO.

La localización de los equipos calentados con fuego directo (Hornos, Calderas, etc.) en una unidad de proceso, aumentan la exposición a un incendio o explosión cuando hay un alivio de vapores inflamables. Si el líquido inflamable se derrama, podrá formar una mezcla vapor-aire inicial de algún grado de peligrosidad. La cantidad de fuga, las condiciones ambientales, la dirección y velocidad del viento y la distancia del equipo al punto de fuga, determina la probabilidad de ignición, la cual aumenta si el líquido que fuga está calentado arriba de su punto de ebullición.

El factor se evalúa considerando la temperatura del proceso y la distancia de la fuente de fuga al equipo.

Los equipos operados con quemador de presión, aplican sólo la mitad del valor del factor.

## K. INTERCAMBIO DE CALOR CON ACEITE.

Los sistemas que utilizan aceites combustibles como medio de intercambio de calor, presentan una exposición adicional al fuego cuando opera arriba de su punto de flama. El valor del factor, depende de la cantidad utilizada y de la temperatura de operación sin considerar las partes del sistema usadas como almacenamiento o que no tienen alimentación automática, excepto si es la unidad estudiada.

TABLA 3

Cantidad de aceite (gal)	T sobre punto de flama	T sobre punto de ebullición
< 5 M	0.15	0.25
5 M a 10 M	0.30	0.45
10M a 25M	0.50	0.75
>25M	0.75	1.15

## L. EQUIPO ROTATORIO - BOMBAS YK COMPRESORES.

La evidencia estadística indica que los equipos rotatorios, como bombas y compresores, arriba de cierto tamaño, contribuyen a producir incidentes de pérdida, por lo que las unidades de proceso que utilicen bombas mayores a 75 h.p. o compresores desde 600 h.p. tienen un factor de 0.50

## VI.- Determinación del Factor de Riesgo de la Unidad (F3)

El factor de riesgo de la unidad es el producto del factor de riesgos generales del proceso (F1) y el factor de riesgos especiales del proceso (F2), siendo cada uno la suma de los factores considerados más 1.00 que es la base del factor. El factor de riesgo de la unidad (F3), es la medida de la magnitud del daño probable relativo a la exposición a la combinación de los factores utilizados en el análisis y es un valor de 1 a 8.

El factor de daño es la magnitud de daño probable y está en función del factor de riesgo de la unidad y del factor material.

## VII. Determinación del índice DOW de Fuego y Explosión (IFE).

El IFE es la probabilidad de daño de un fuego o explosión al área determinada por el radio de exposición y se calcula multiplicando el factor material por el factor de riesgo de la unidad.

Aunque un fuego o una explosión no afectan un área perfectamente circular, por lo que no producen el mismo daño en todas direcciones, por depender de la dirección y velocidad del viento, posición del equipo, drenajes, etc., para poder calcular el área de exposición se considera circular, como la necesaria para retener un derrame de líquido inflamable de 8 cm. De profundidad, y los radios de sobre presión de varias mezclas vapor-aire. Estos 2 tipos de exposición se han relacionado con el IFE para determinar el radio de exposición.

TABLA No. 4.  
CLASIFICACION DE RIESGO

TIPO DE RIESGO	IFE
Ligero	1 - 60
Moderado	61 - 96
Intermedio	97 - 127
Grave	128 - 158
Severo	Más de 158

## VIII Determinación del Daño Máximo probable a la propiedad Base (DMPP)

El DMPP base, se obtiene de; valor de reemplazo del equipo dentro del área de exposición.  
Valor de reposición = Costo original x 0.82 x Factor de Escalación

(\$ Us Dlls. Cy)

0.82 es la corrección estadística por partes no sujetas a reemplazo, tales como, preparación del lugar, cimentación, líneas subterráneas, ingeniería, etc..

En el cálculo del DMPP base, debe incluirse el valor de los inventarios de productos, materias primas y materiales considerando el 80 % de capacidad para tanques de almacenamiento, 70 % de capacidad para bodegas y la capacidad de diseño de los recipientes y líneas de proceso.

La suma de estos costos y del valor de reposición multiplicada por el factor de daño nos da el DMPP base.

## IX Factores de Corrección por Medidas de Control de Perdidas.

En el diseño y operación de Plantas y edificios, se incluyen factores básicos de seguridad que contribuyen a minimizar la exposición de un área donde pueda ocurrir un riesgo, o a reducir la probabilidad y magnitud del riesgo. Estos factores se utilizan para reducir el DMPP base a un valor actual y se ha dividido en 3 grupos: C1 - referente a control de proceso, C2 - aislamiento del material Y C3 protección contra incendios. Cada grupo contiene una serie de elementos afines, que al evaluarlos y multiplicarlos entre sí, se obtiene el factor de cada grupo (C1, C2 Y C3): el producto de los factores de grupo nos da el factor de corrección global ( $C1 \times C2 \times C3 = C$ ).

C, - Control de Proceso.

1. Energía de emergencia para los servicios esenciales, factor 0.97.
2. Sistema de enfriamiento capaz de mantener un enfriamiento normal durante 10 min. En una condición anormal, el factor es de 0.98; si es capaz de dar el 150% de los requerimientos en esos 10 min. El factor es de 0.95.
3. Control de explosiones: si hay sistemas de supresión de explosión instalado en los equipos de proceso, el factor es 0.75; si hay dispositivos de alivio de presión o de venteo de explosiones el factor es 0.96
4. Paro de emergencia: si el sistema es redundante, activado por 2 ó 3 condiciones anormales, el factor es 0.96; si los equipos críticos rotatorios (turbinas, compresores, etc.) tienen detecto de vibraciones y sólo alarma, el factor es de 0.98, si inicia el paro el factor es de 0.94.
5. Control por computadora: si la computadora es sólo una ayuda para los operadores y no controla las operaciones claves directamente o si la Planta se opera frecuentemente sin la computadora, aplique un factor de 0.98, si la computadora controla con falla segura lógica y con control directo use 0.95, si se utiliza alguna de las siguientes opciones, aplique un factor de 0.89.
  - a) Entrada a campos críticos redundantes.
  - b) Capacidad de abortar a salidas críticas.
  - c) Capacidad de registro de los sistemas de control.



6. Gas inerte: si los equipos que contienen vapores inflamables están blanqueados con gas inerte, el factor es 0.94; si la capacidad de gas inerte es tal que permita purgar toda la unidad, el factor es 0.90.
7. Instrucciones de operación: sume los valores de los procedimientos e instrucciones siguientes que la unidad cubra y aplique la relación  $1.0-x/100$ , para el total, el factor es 0.86.
  - a) Arranque, 0.50
  - b) Rutina de paro, 0.50
  - c) Operación normal, 0.50
  - d) Cambio de condiciones de operación, 0.50
  - e) Condiciones de espera de corrida o total recirculación 0.5 Condiciones de espera de corrida o total recirculación, 0.5
  - g) Condiciones sobre la capacidad de operación, 1.00
  - h) Procedimientos de mantenimiento, permisos, entrega, candado, 1.50
  - i) Paro de emergencia, 1.5
  - j) Modificaciones o adiciones a equipo y tubería, 2.00
  - k) Revisión de situaciones anormales de falla, 3.00
8. Análisis De reactivos químicos: si existe programa continuo como parte de la operación, aplique un factor de 0.85; si el análisis es ocasional, aplique 0.96.

#### C2 - Aislamiento del Material.

1. Válvulas de control remoto: si aíslan secciones de transferencia, tanques de almacenamiento o de proceso, el factor es 0.94.
2. Descarga a vertederos: si se cuenta con un vertedero de emergencia donde se reciban los desechos de una fuga de proceso, aplique un factor de 0.96, si el vertedero está en un área exterior al proceso, use 0.94 si los vapores van a un flare o a un receptor, el factor es de 0.94.
3. Drenaje: si el drenaje tiene una pendiente mínima de 2% y la trinchera es capaz de manejar mínimo el 75% del contenido de proceso, aplique 0.85; si cuenta con un vertedero para grandes fugas, pero puede manejar hasta el 30% de contenidos, el factor es de 0.95- El área de tanques en diques no tiene factor por seguridad, a menos que dentro de; dique exista una pendiente que lleve los derrames a un vertedero localizado a mínimo un diámetro de tanques de distancia, el factor es 0.95.
4. Interlock: el factor es 0.96 si el proceso cuenta con un sistema de interlock que prevenga flujo de material incorrecto o reacciones no deseadas.

**C3 - Protección contra Incendio.**

1. Detección de fugas: si se cuenta con detectores de vapores que alarmen e identifiquen la zona de fuga, aplique 0.97, cuando alarme al 25% del límite inferior de explosividad y actúe el sistema de protección al 75%, el factor es 0.90.
2. Acero estructural: si está recubierto a una altura de 3 m. Aplique 0.97; si está recubierto de 3 a 6 m. Use 0.95, si el recubrimiento está a más de 6 m. Use un factor de 0.92.
3. Tanques recubiertos: si el tanque tiene doble envolvente donde el segundo cuerpo pueda contener la carga total. factor de 0.85, si el tanque es recubierto bajo o sobre tierra con un contenedor o paredes de retención con una línea de retorno, el factor es de 0.75.
4. Suministro de agua: si la presión en el punto de descarga es 100 psi o más, el factor es 0.90, si es menor a 100 psi, aplique 0.95.
5. Sistemas especiales: si la unidad cuenta con sistemas de CO2, polvo químico seco, detectores de humo, temperatura o ionización el factor es 0.85.
6. Sistemas de rociadores: factor de 0.95 para sistema diluvio, los sistemas seco y húmedo tienen un factor de acuerdo a la densidad de diseño y corregida por el área a proteger.

**TABLA No. 5**

DENSIDAD gpm/ft <sup>2</sup>	FACTOR
< 0.20	
0.20 a 0.34	
> 0.35	

**TABLA No. 6**

Corrección del Factor por área protegida (ft <sup>2</sup> )	
> 10 000	1.10
> 20 000	1.15
> 30 000	1.20

Cortinas de agua: si se utilizan cortinas de agua entre la fuente de vapores y la fuente de ignición a menos de 25 m. De la fuente de vapores compuesta de una sola hilera de boquillas, elevadas a máximos 5 m. Aplique un factor de 0.97, si se cuenta con una segunda hilera a máximo 2 m. De la primera use un factor de 0.95.

Espuma: si se puede inyectar solución espumante al sistema diluvio desde una estación remota manual, el factor es 0.90, si el sistema de espuma es automático utiliza 0.87, si hay estaciones de espuma en los tanques de techo flotante, el factor es 0.95, si se utilizan dispositivos para la detección de inicio de un fuego uso 0.90, si se utilizan cámaras de espuma o sistemas superficiales en tanque de techos cónicos, el factor es 0.98, si se cuenta con estaciones de espuma exterior a los envoltentes de tanques de inflamables, el factor es 0.95, si se utilizan monitores o mangueras para aplicar la espuma, el factor es 0.95.

Extintores portátiles - cañones monitores: si se utilizan con la cantidad suficiente de extintores, se aplica 0.97, si además, se cuenta con cañones monitores se utiliza 0.95; si el cañón monitor se puede operar a control remoto, se aplica factor de 0.92.

Protección de cables: si se utilizan cables calibres 14 6 16 protegidos por rociadores de agua, el factor es 0.96, si el cableado es subterráneo o en una trinchera rellena seca, se aplica 0.90.

#### **X Determinación del daño máximo probable a la propiedad actual.**

El valor del factor de conexión actual, multiplica al DMPP base para obtener el DMPP actual o definitivo.

#### **XI Determinación de los máximos días probables fuera de operación. (MDPFO)**

Los MDPFO, es el tiempo en que la unidad estará fuera de operación debido a reparaciones y reemplazo de equipo, más la pérdida de capacidad de producir ciertos productos, por lo que está en función del DMPP actual.

La interrupción de negocios es la consecuencia final y puede estimarse con la siguiente relación:

$$\text{Interrupción de negocios} = \frac{\text{NMPFO}}{300} \times \text{Valor del producto terminado} \times 0.70$$

(\$ MM US Dlls Cy)

0.70 es el rango de probabilidad que refleja que la variable puede ocurrir debido que existen pequeñas pérdidas en costo pero con mucho tiempo de reparación y que además, se cuenta con stock de equipos y partes críticas que minimizan los MDPFO y la IN.

#### **XII Resultados del Análisis.**

Se concentran en la forma de reporte ASP los siguientes datos:

Factor de Riesgo, Factor Material, Valor del Area expuesta, IFE, Factor de daño, DMPP base, Factor de Corrección, DMPP actual, DMPFO e IN y las recomendaciones del grupo ASP para minimizar riesgos.

FIG.1 FACTOR POR ALTA PRESION P

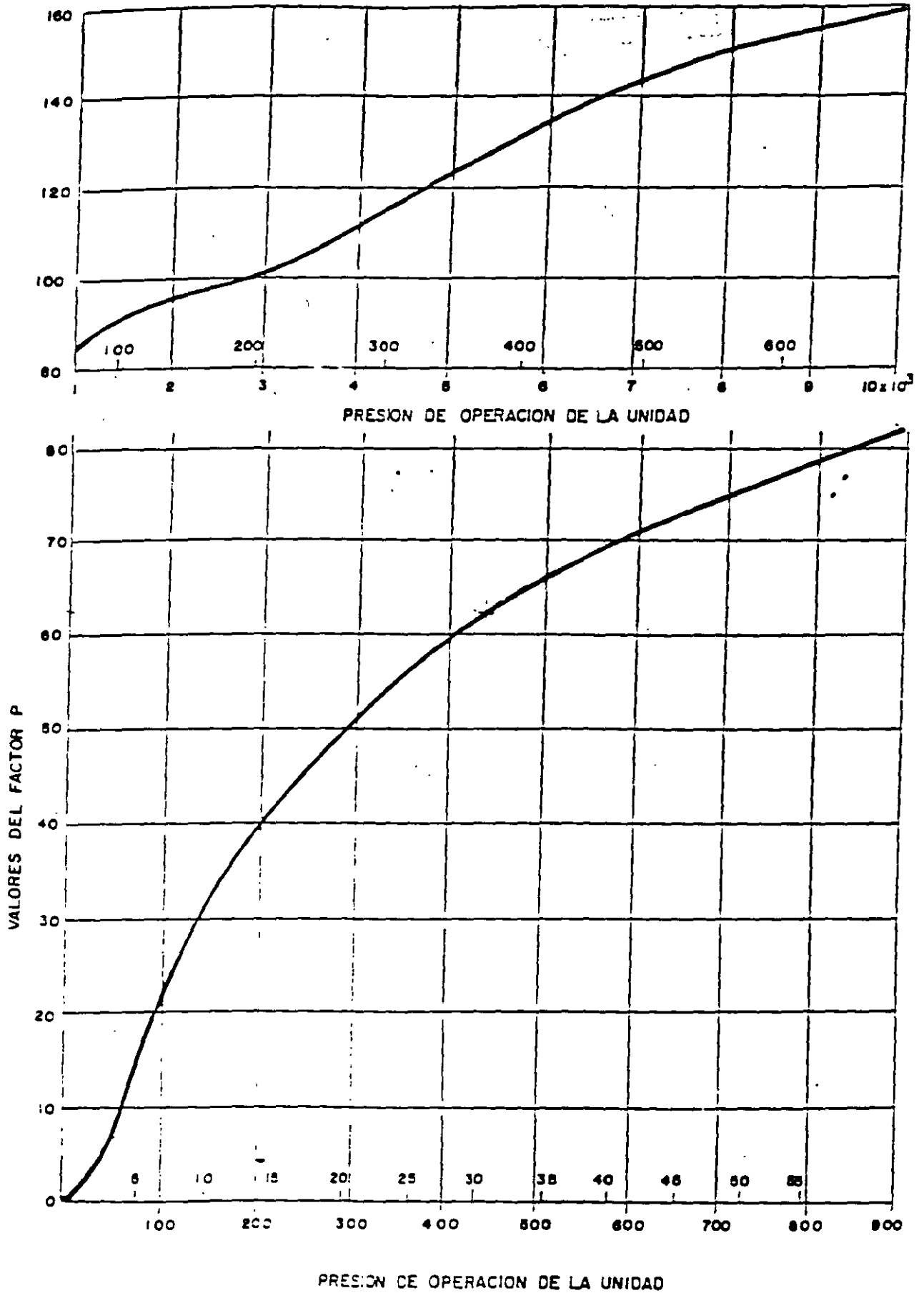
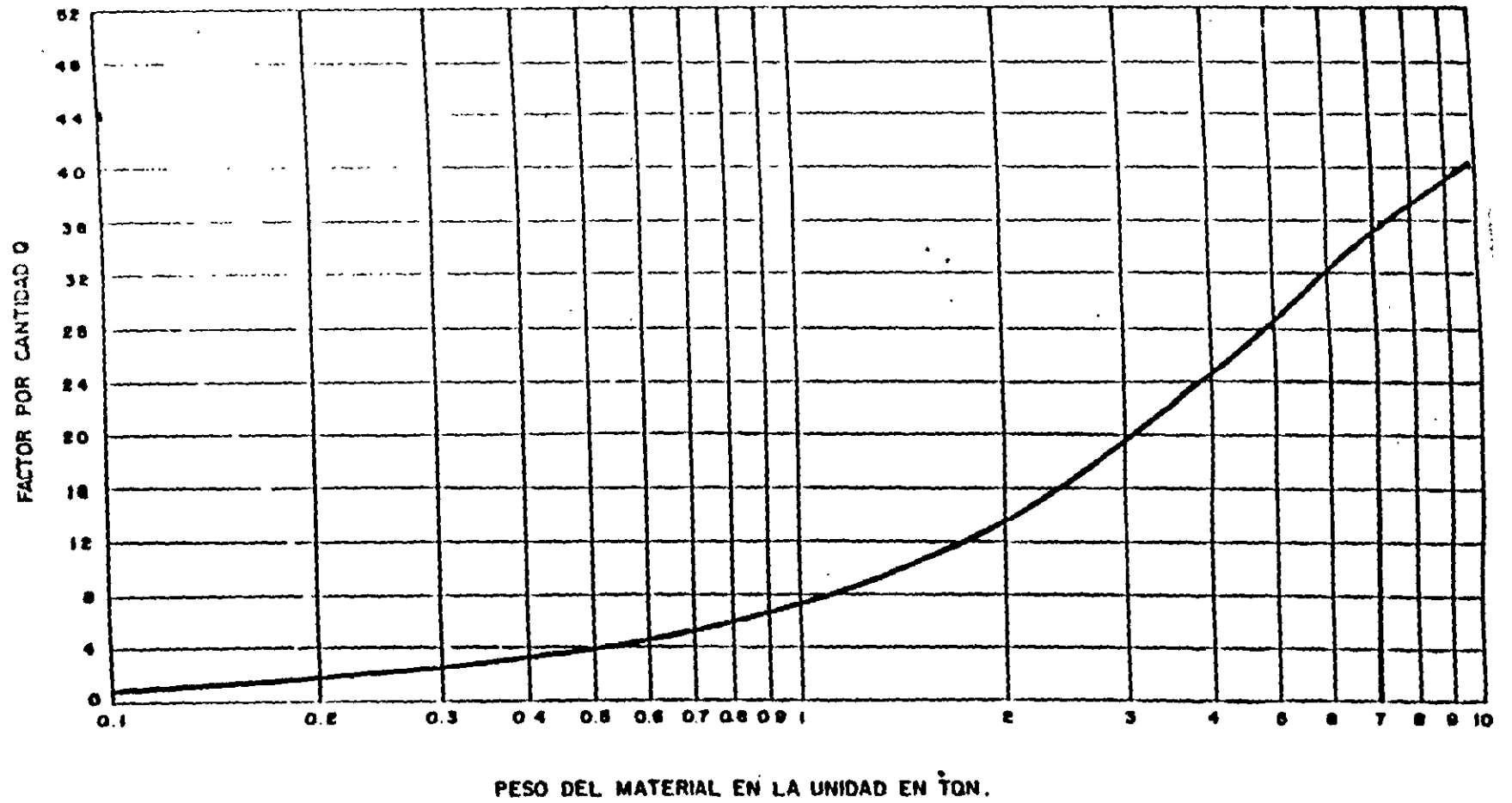


FIG. 2 FACTOR POR CANTIDAD (RANGO ARRIBA DE 10 TON.)



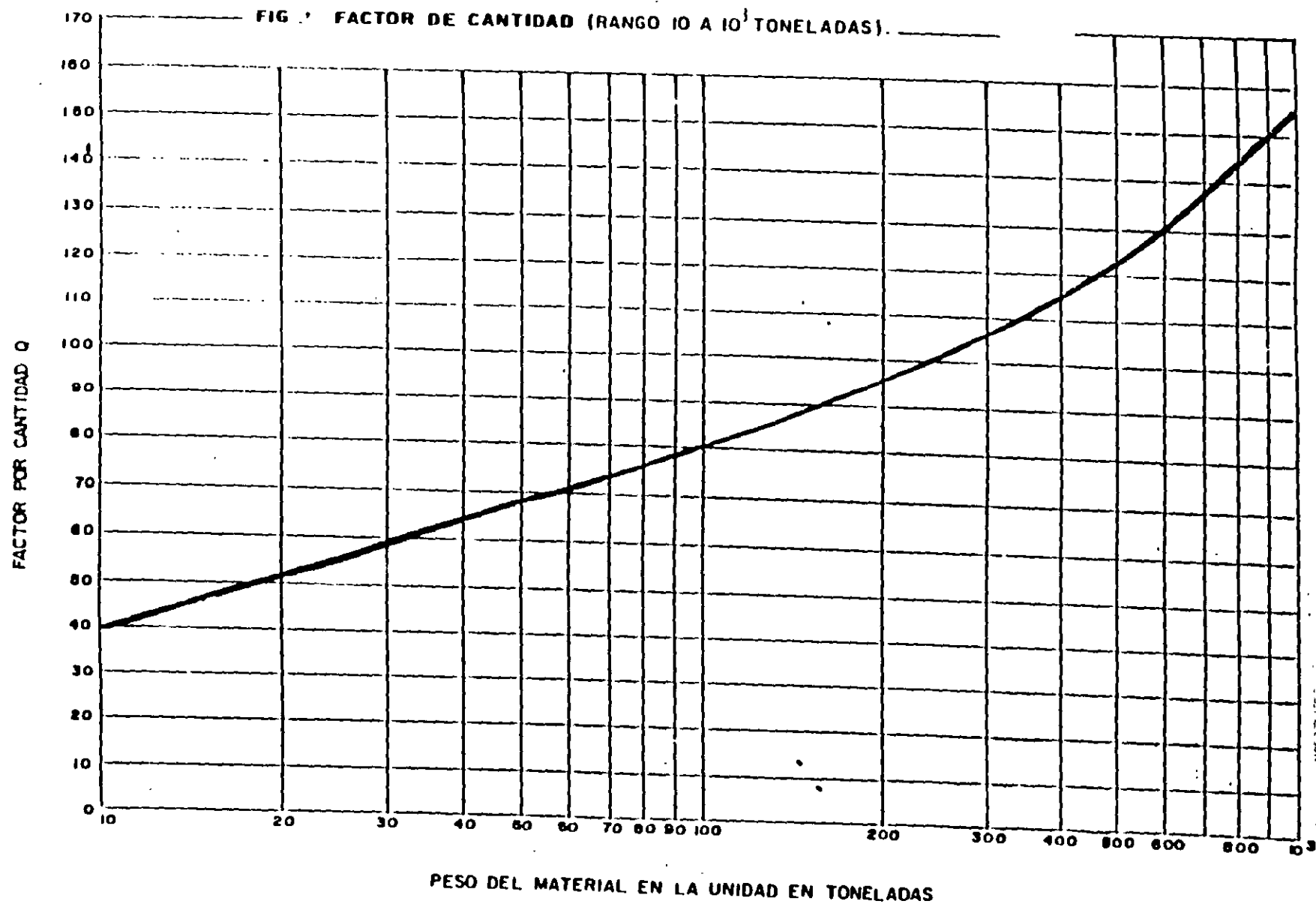
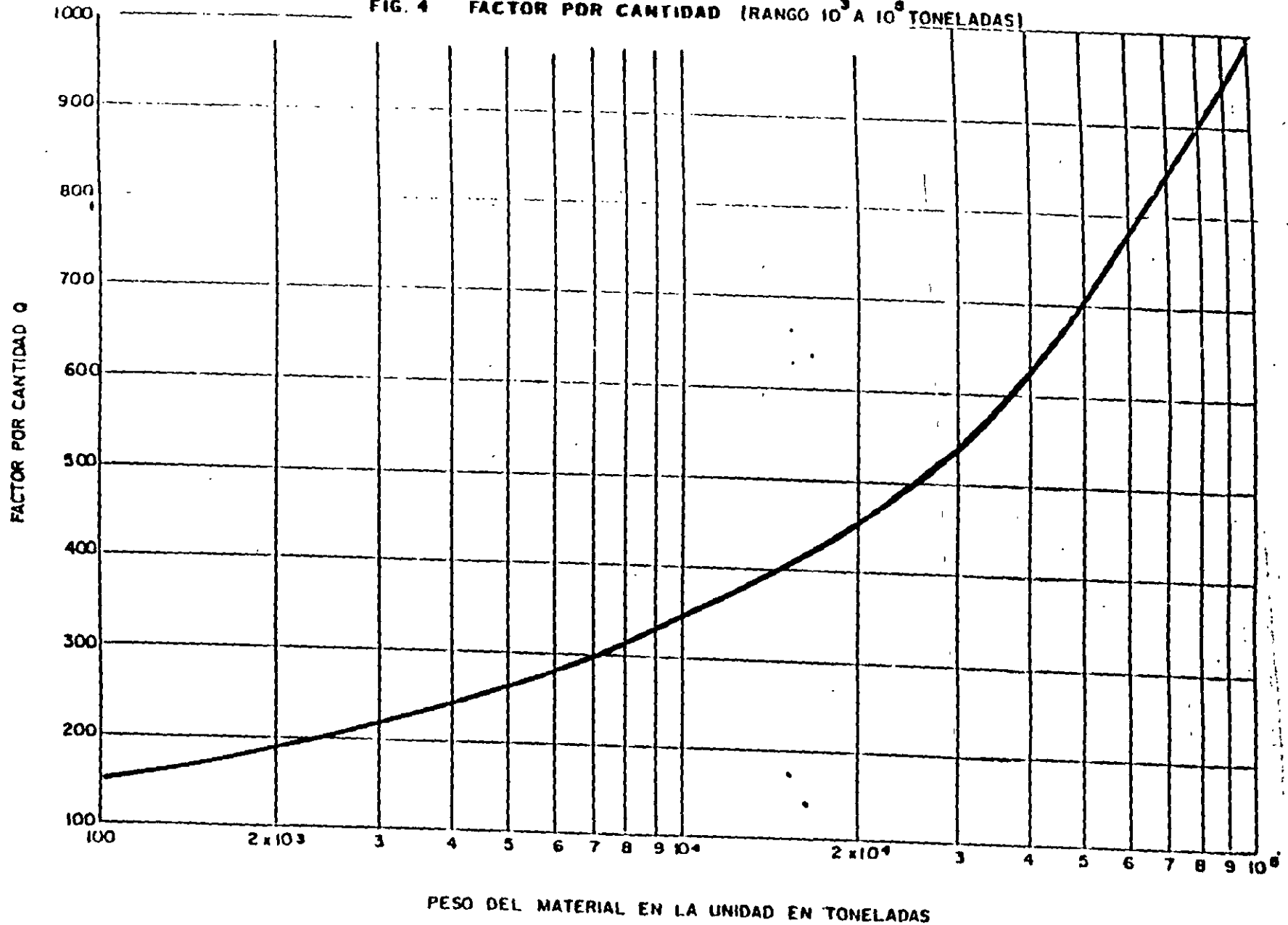
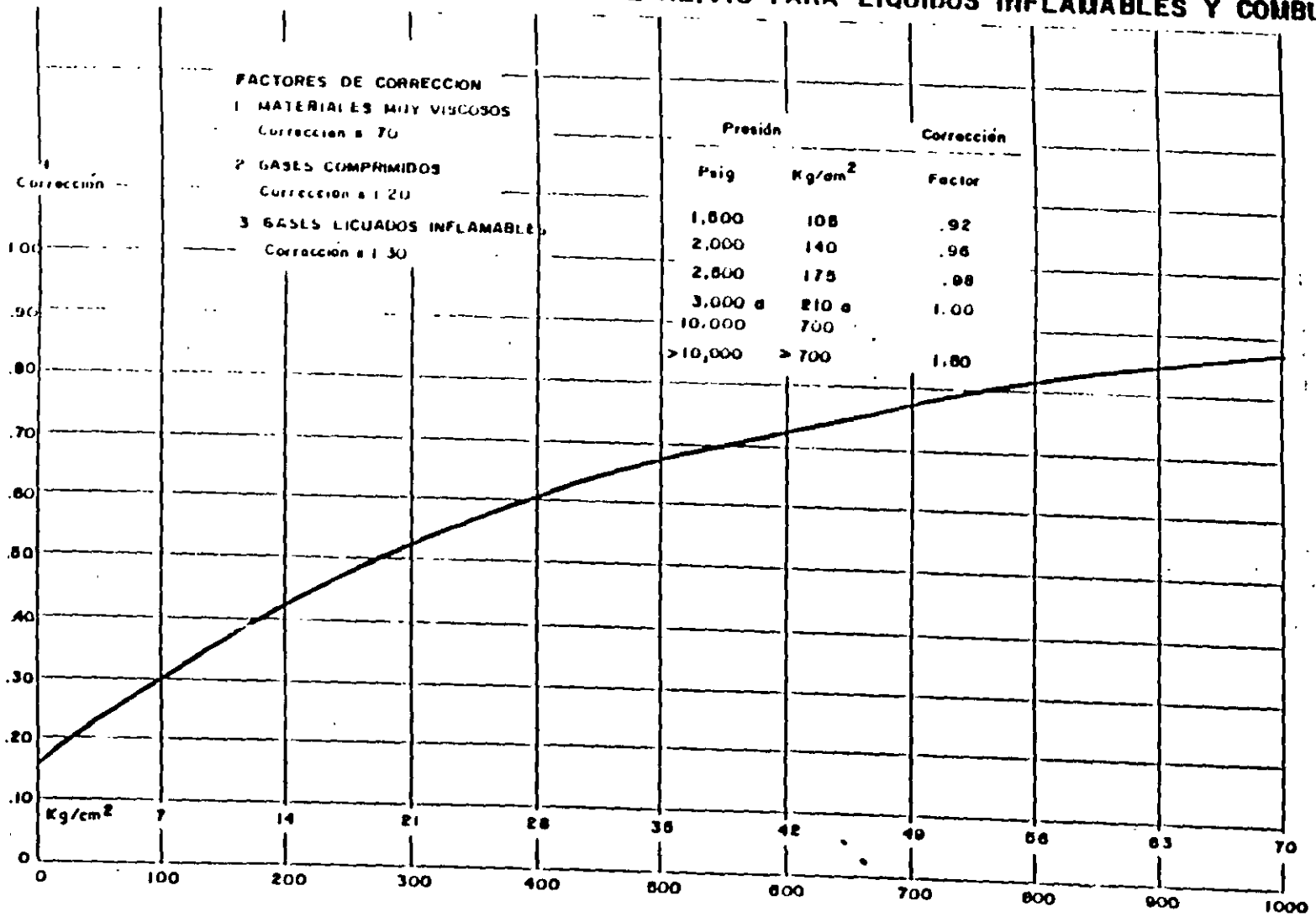


FIG. 4 FACTOR POR CANTIDAD (RANGO  $10^3$  A  $10^6$  TONELADAS)



**- PRESION-CALIBRACION PARA VALVULAS DE ALIVIO PARA LIQUIDOS INFLAMABLES Y COMBUSTIBLE**



Presión de Calibración de la Valvula de Alivio (PSIG)



**FIGURA 3 - LIQUIDOS O GASES EN EL PROCESO**

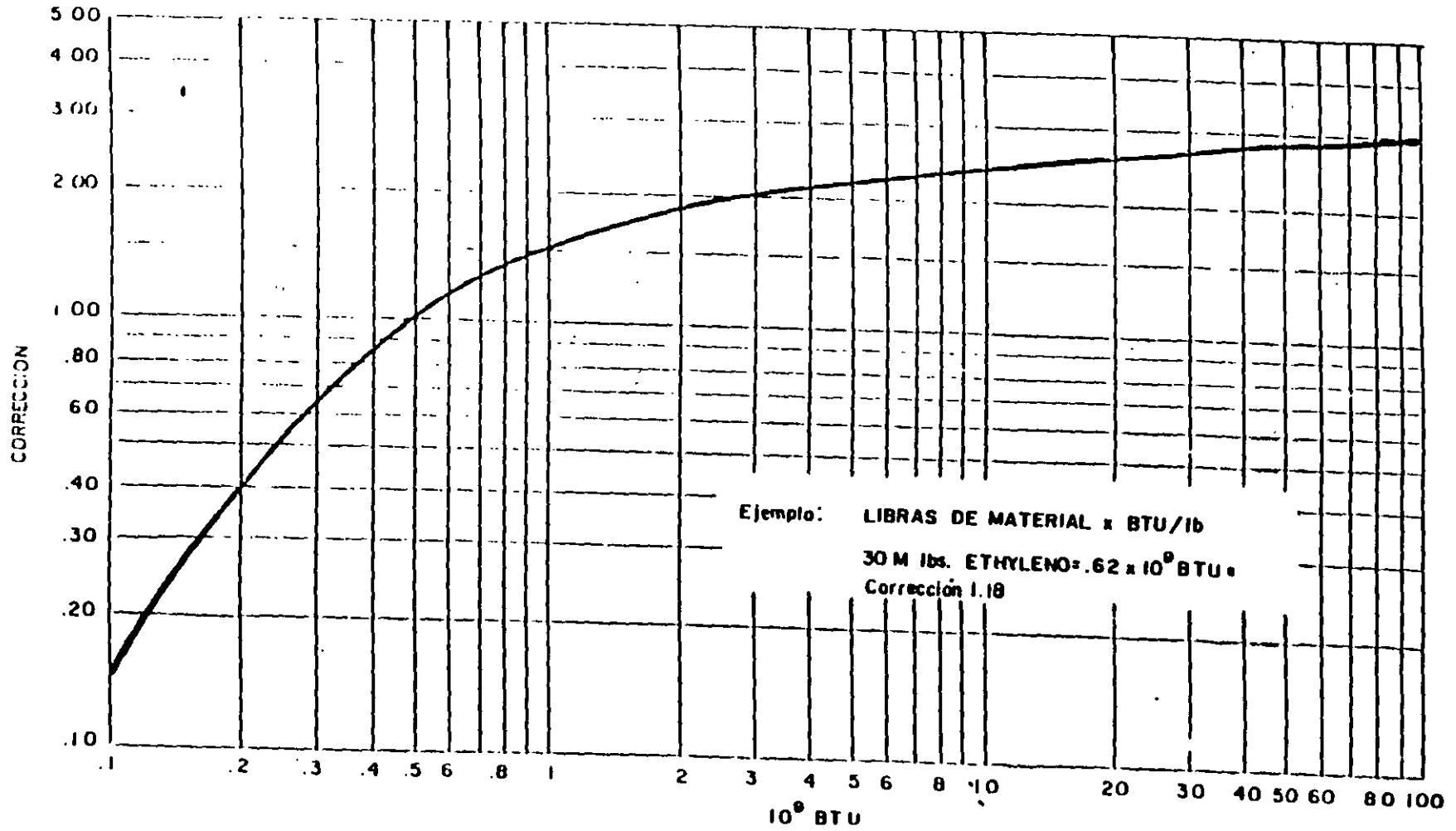
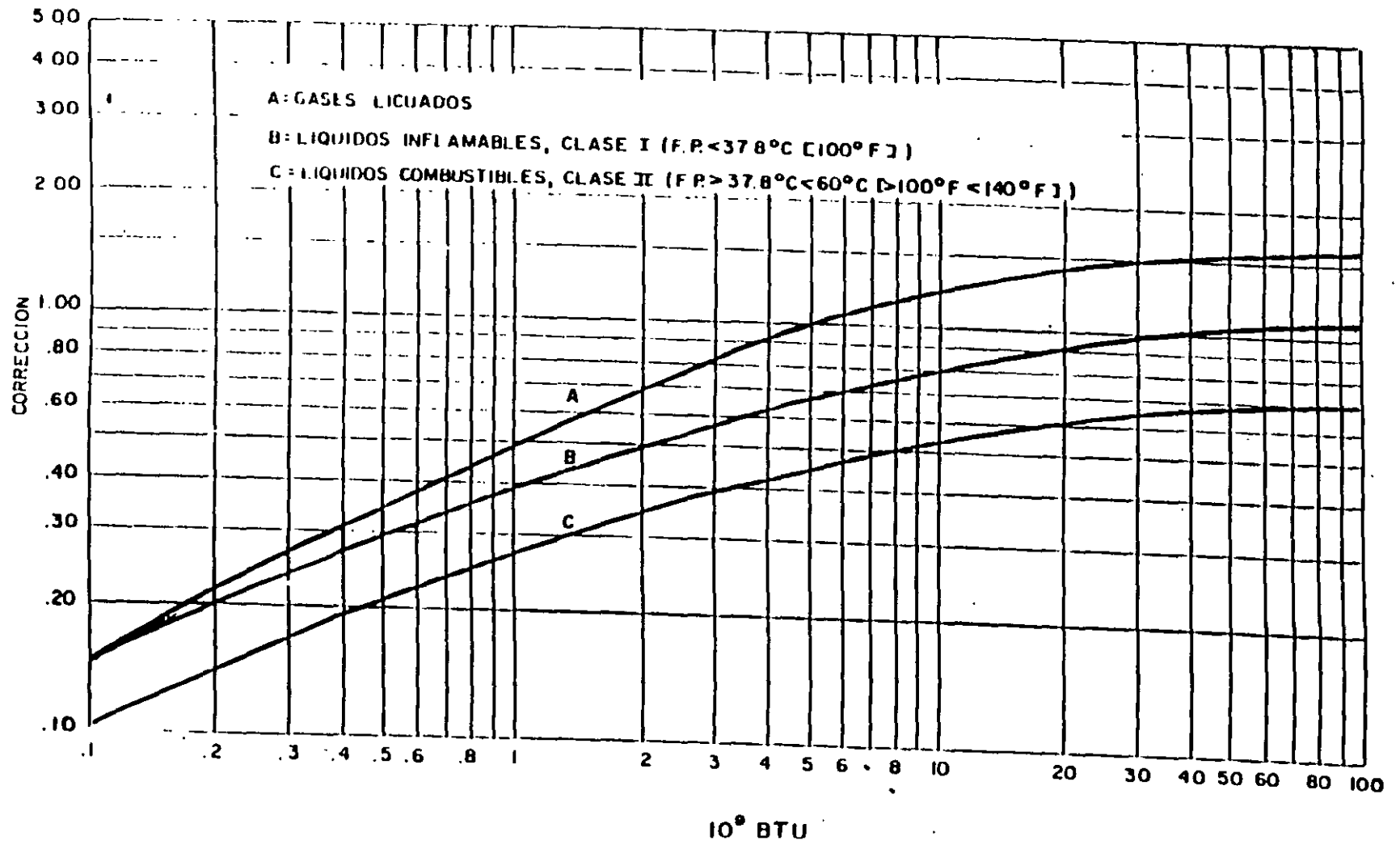
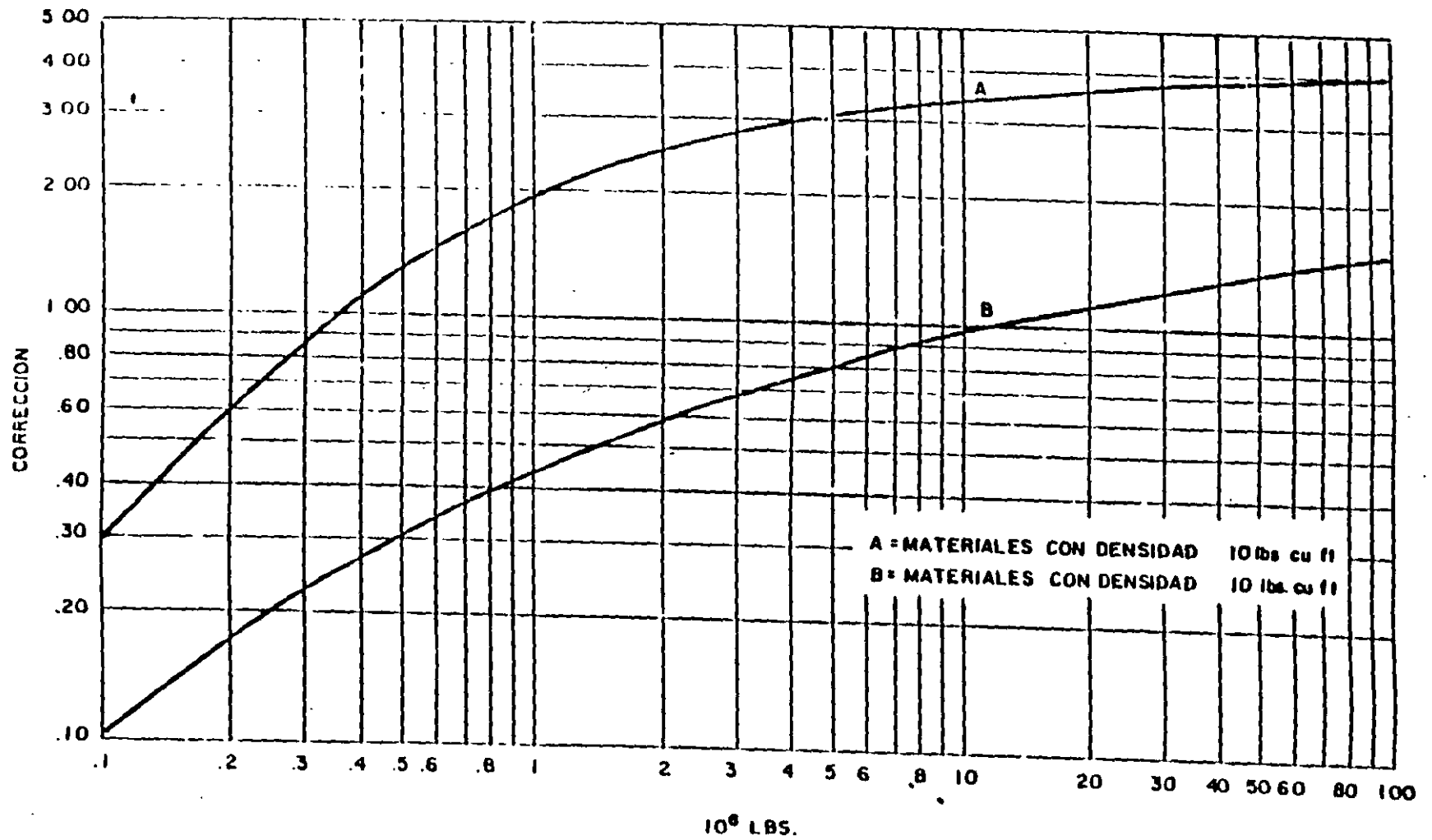


FIG. 4 — LIQUIDOS O GASES ALMACENADOS



**FIG. 5 - SOLIDOS COMBUSTIBLES ALMACENADOS**



**FIG. 6 - FACTOR DE CORRECCION POR EQUIPO VS. INCENDIO (INSTALADO AREA DE PROCESO)**

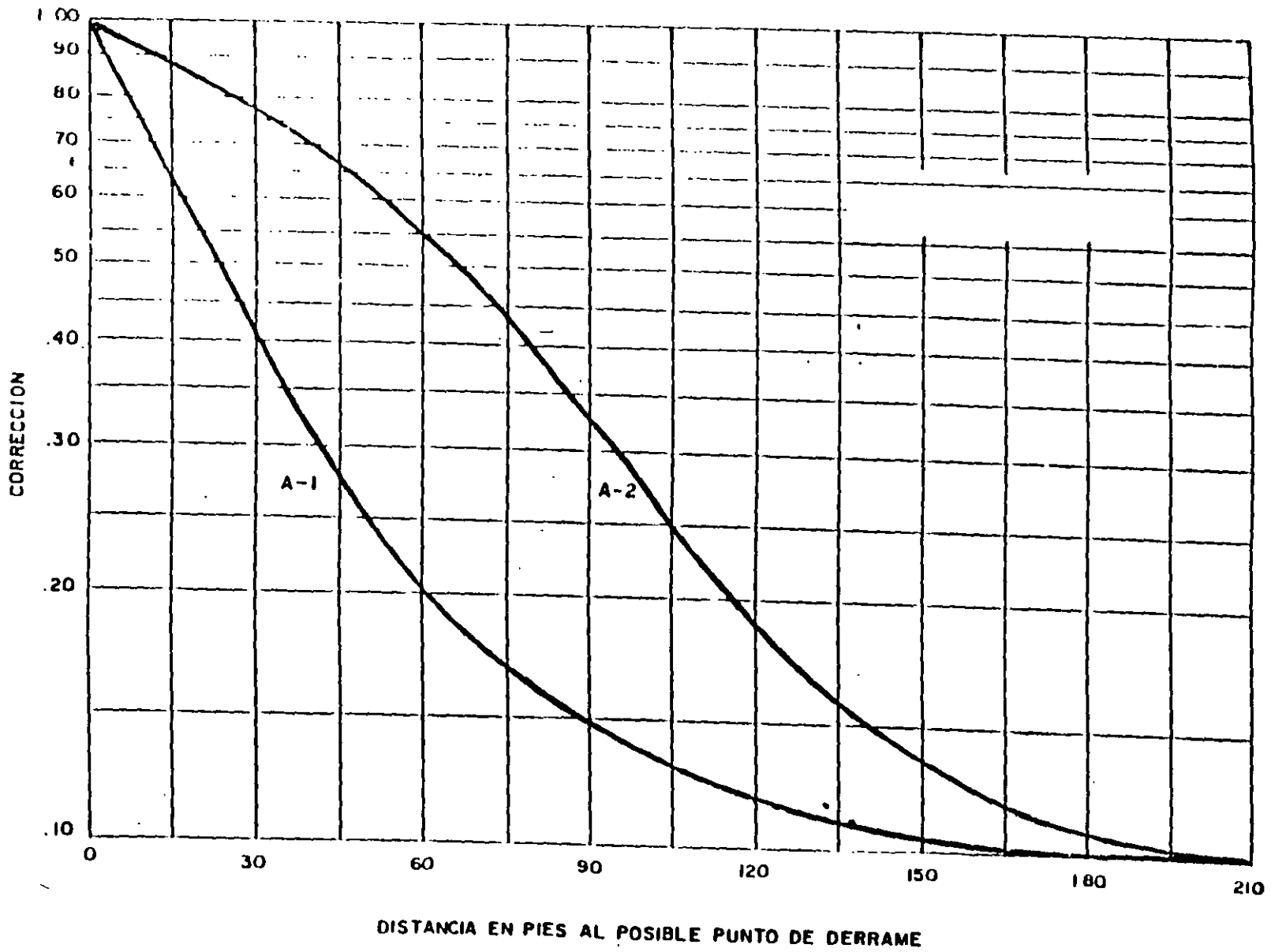


FIGURA 7 — RIESGO DE LA UNIDAD ( $F_3$ )

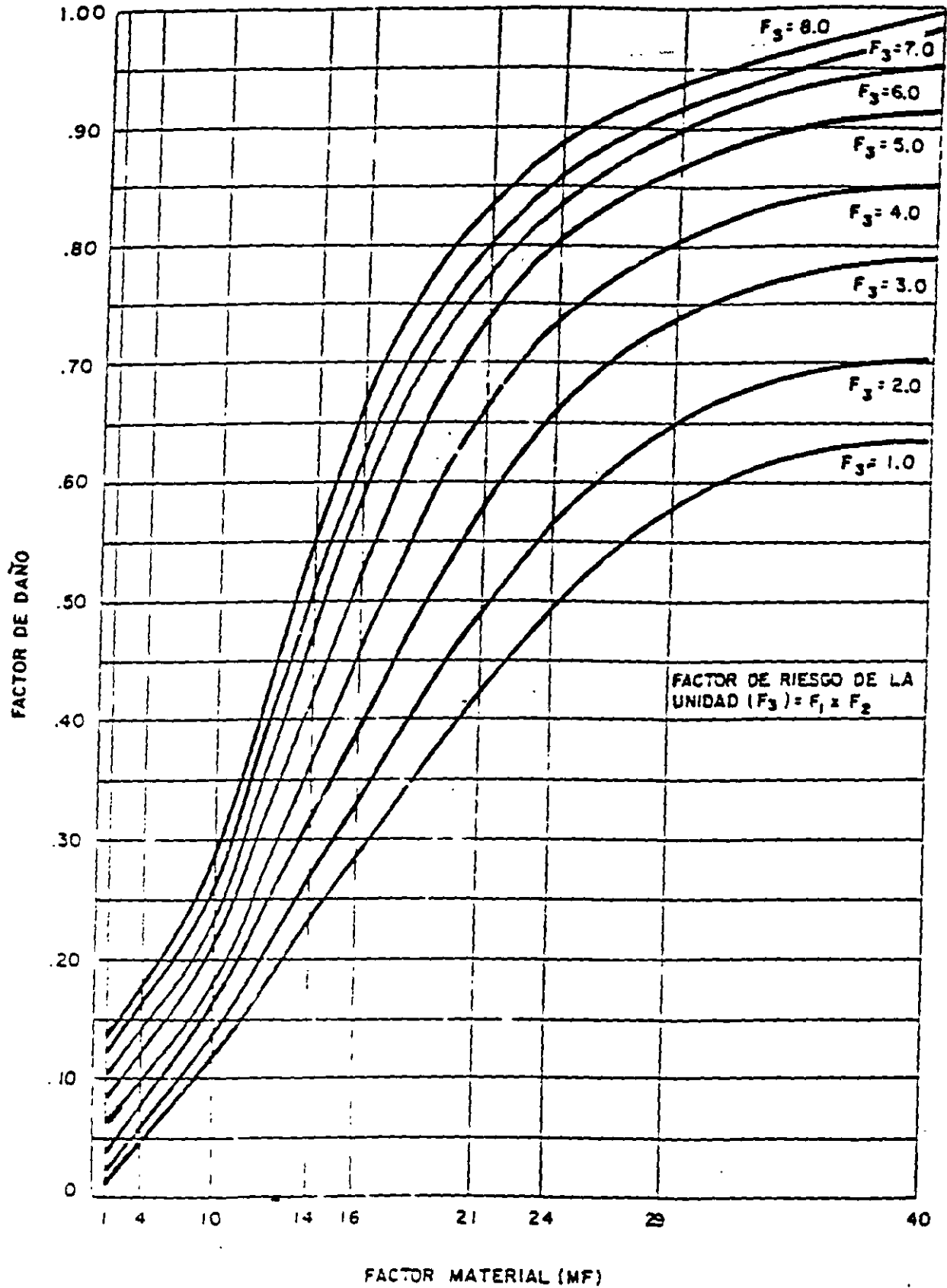


FIGURA 8 - AREA DE EXPOSICION

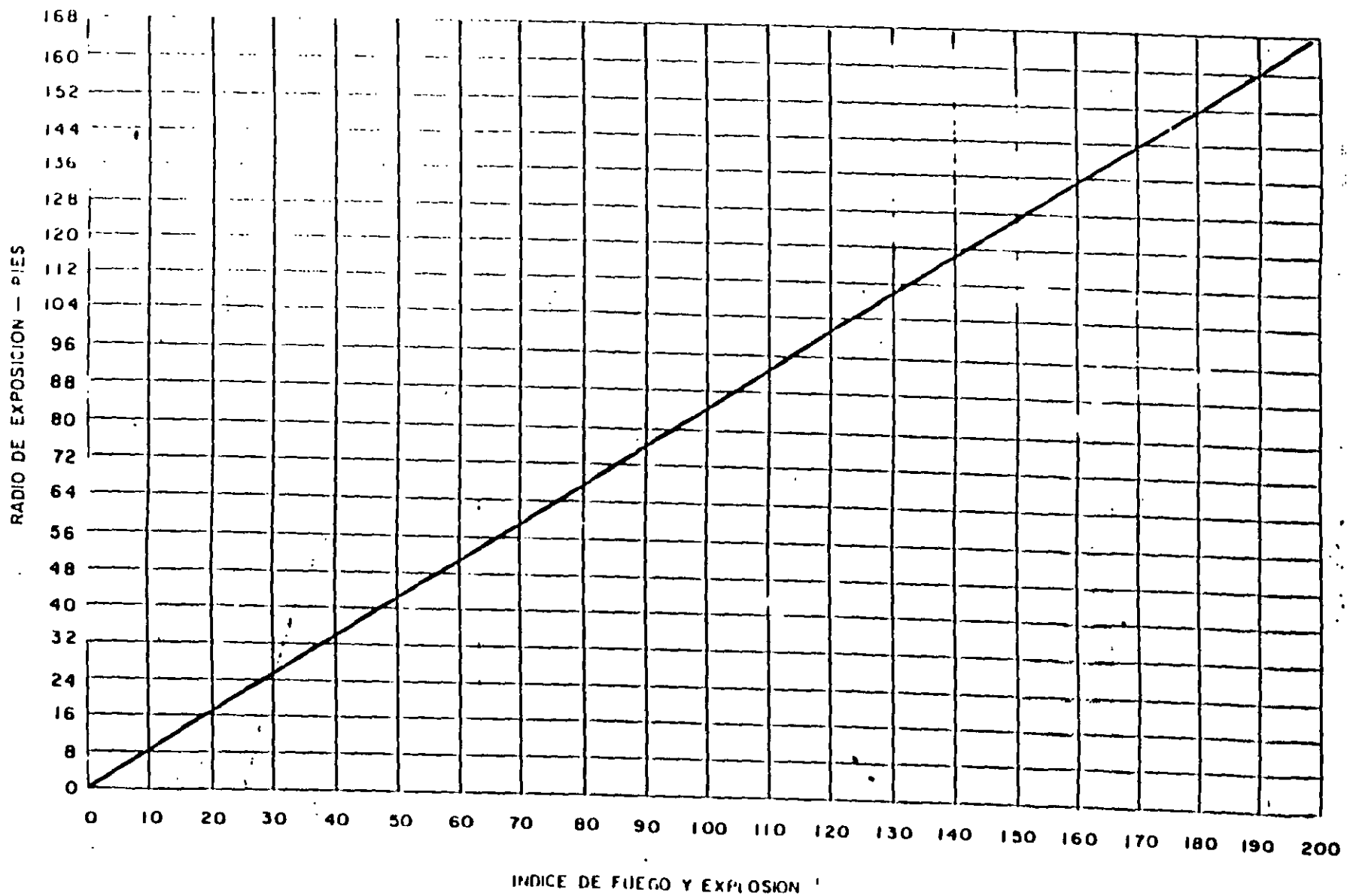
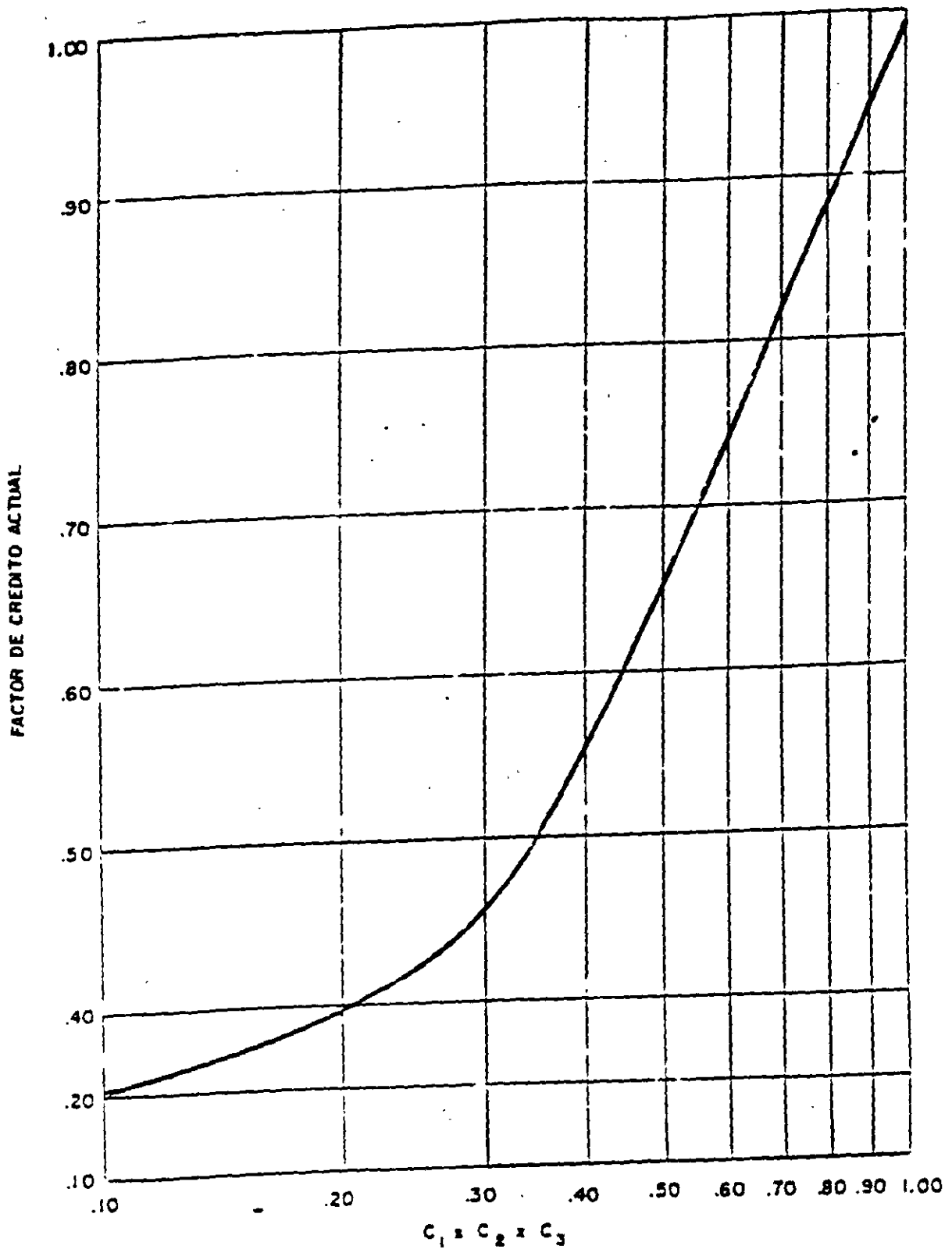
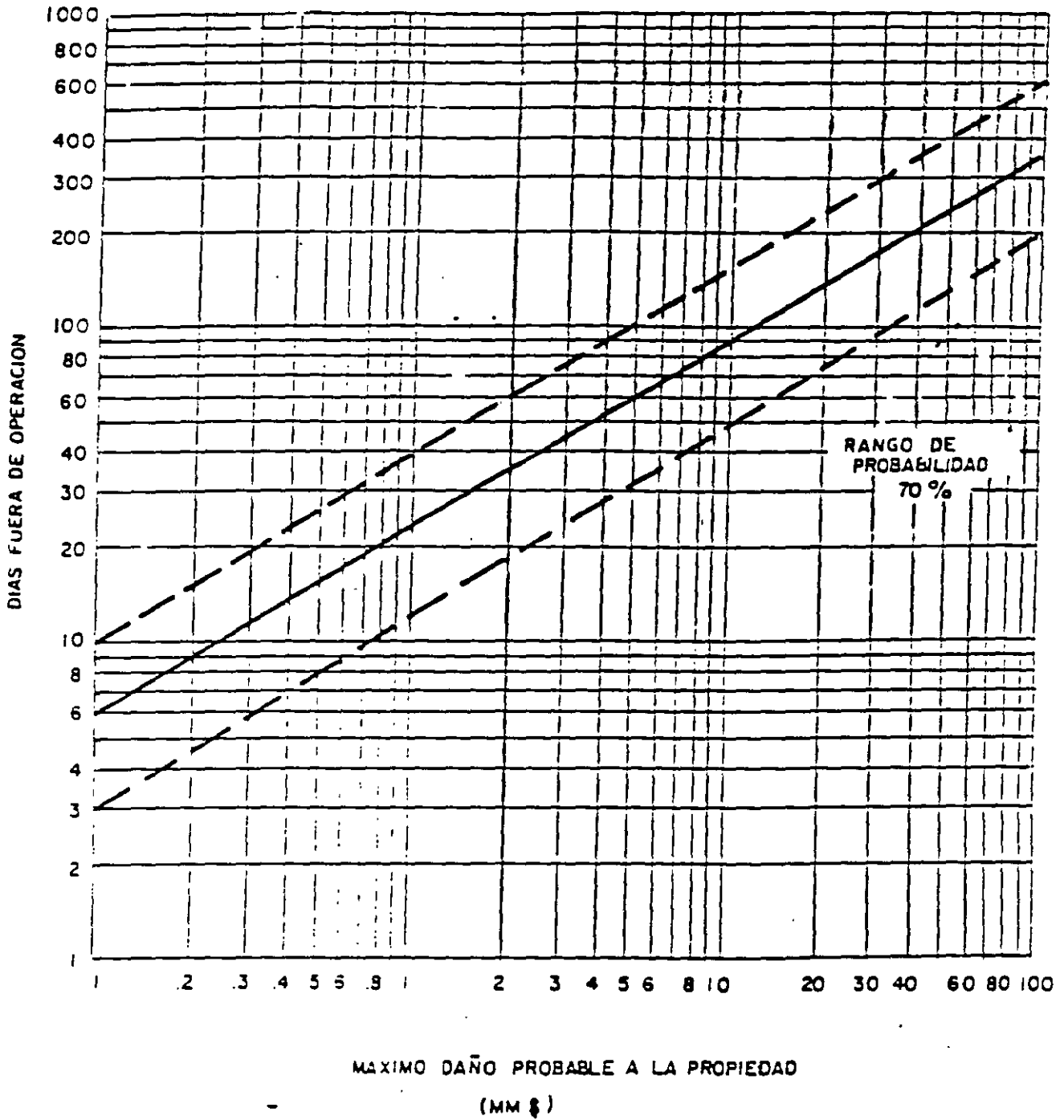


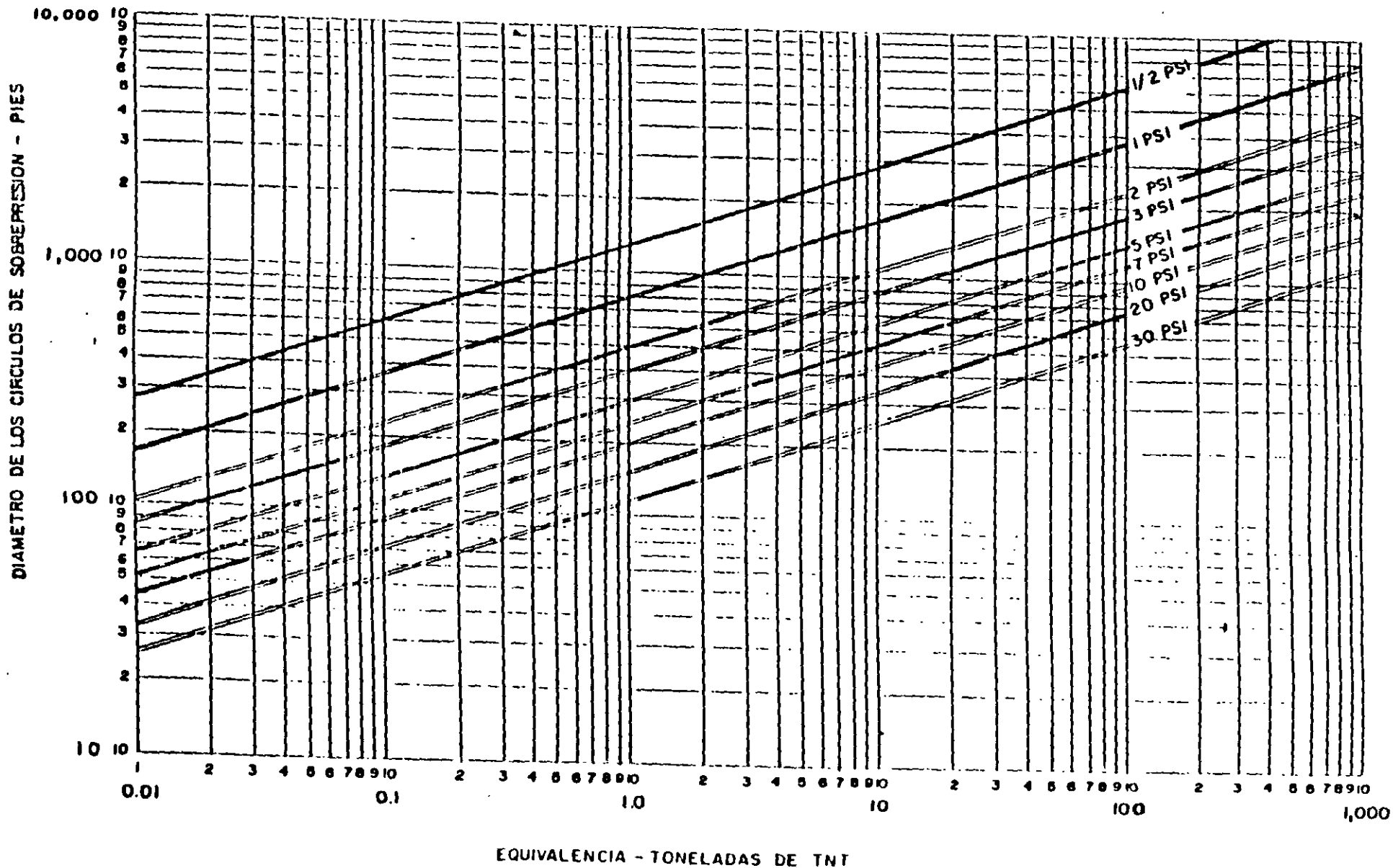
FIGURA 9 - FACTOR DE CREDITO

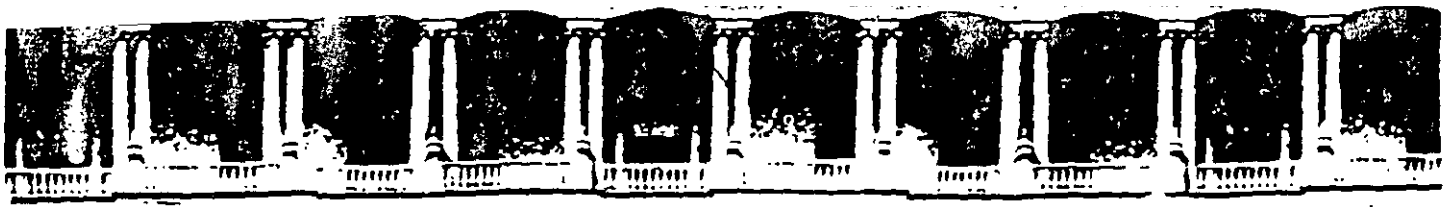


**FIGURA 10 - MAXIMOS DIAS PROBABLES FUERA DE OPERACION  
(MPDO)**









**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL EN RIESGO  
AMBIENTAL**

**MÓDULO III: MÉTODOS DE ANÁLISIS Y CUANTIFICACIÓN  
DE RIESGOS AMBIENTALES**

**TEMA**

**ÍNDICE MOND (PARA FUEGO, EXPLOSIÓN Y TOXICIDAD)**

**EXPOSITOR: ING. ENRIQUE JIMÉNEZ VARGAS  
PALACIO DE MINERIA  
JUNIO 2000**

## **4.0 ÍNDICE MOND (PARA FUEGO, EXPLOSIÓN Y TOXICIDAD).**

# ÍNDICE MOND DE FUEGO, EXPLOSIÓN Y TOXICIDAD

## METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE MOND

### 1. DIVISIÓN DE UNA PLANTA EN SECCIONES

Una "sección" se define como parte de una planta que se puede identificar lógica y fácilmente como una entidad separada. puede consistir en una porción de la planta que esta (o puede estar) separada del resto, ya sea por una distancia o por barreras contra fuego, dique, etc. la parte de la planta seleccionada como una sección es normalmente el área donde exista un proceso particular y/o un riesgo material, diferente de aquellos presentes en otras secciones cercanas. los tipos más comunes de secciones son:

- a) Almacenamiento de materias primas
- b) Sección de alimentación
- c) Sección de reacción
- d) Destilación de un producto
- Sección de absorción o agotamiento
- e) Almacenamiento intermedio
- f) Almacenamiento de productos
- g) Sección de carga y descarga
- h) Sección de manejo de catalizadores
- i) Tratamiento de subproducto
- j) Tratamiento de efluentes
- k) Una porción del puente de tuberías que entre al área la planta.

Estos tipos de unidades no son las únicas, hay otras tales como filtración, secado, procesamiento de sólidos, compresión de gas, etc., que deben usarse para dividir a la planta en secciones adecuadas.

Solamente dividiendo a la planta en una numero de secciones de diferentes tipos, pueden establecerse las características de riesgo de las diferentes unidades de la planta; de otra manera, toda la planta o una gran parte de ella se caracterizaría por la sección más peligrosa. también permite considerar limites par que los incidentes no se extiendan a otras unidades de alta inversión de capital desde la sección más peligrosa de una planta.

Evaluando las áreas de almacenamiento, una unidad comprenderá generalmente un dique y todos los tanques y equipos contenidos.

Otras áreas cercadas separadamente se consideran como secciones diferentes para identificar correctamente los peligros relativos de gases licuados, líquidos altamente inflamables, líquidos combustibles y materiales que tengan riesgos especiales, como riesgos de polimerización espontánea, formación potencial de peróxido, propiedades de explosión de la fase condensada, etc. los puentes de tuberías más grandes que están dentro del área de la planta se estudian como secciones separadas de los procesos de la planta y de las unidades de almacenamiento. una sección adecuada para considerar los riesgos de un puente de tuberías es el largo del puente de tuberías entre los polos de soporte principal y el armazón completo con la tubería colocada encima.

Los tubos que corren a nivel del piso se consideran como una sección. se sugiere una longitud de 25 m como definición adecuada de una sección (trincheras completas o tuberías individuales) para estudio, a menos que las condiciones locales indiquen otra alternativa de longitud.

En el caso de edificios de muchos pisos donde se efectúan operaciones de procesos separados en diferentes pisos y en diferentes partes del edificio, se puede dividir en secciones apropiadas tanto en dirección vertical como horizontal, teniendo cuidado de que ninguna operación (como columnas de destilación) pase a través de los límites entre las diferentes secciones verticales u horizontales. una vez que los límites de las secciones se definan, se analiza cada una en forma separada.

## 2. LISTADO DE MATERIALES PARA UNA SECCIÓN DE LA PLANTA

Los materiales, catalizadores, intermedios, subproductos y solventes se identifican y listan para la sección junto con las reacciones u operaciones normalmente efectuadas dentro de ella. a continuación se selecciona uno de estos materiales (o mezclas de los mismos) que represente el mayor riesgo de la unidad. esto se basa generalmente en el grado de inflamabilidad combinado con la cantidad de material entre los listados individualmente en la sección, pero en algunos casos la combinación de cantidad y energía potencial explosiva puede considerarse como de mayor riesgo.

Para que un material se seleccione como material clave, debe estar presente en tal magnitud que sea peligroso. si un material que tiene riesgo excepcional (como el acetileno) esta solamente presente en pequeñas cantidades en relación con una mayor cantidad de un material como el propano, este ultimo (propano) se seleccionara como el material clave. sin embargo, si un material tal como el acetileno esta presente en pequeñas cantidades relativas a un material inerte como el nitrógeno, el acetileno se seleccionara como el material clave.

Si una sección de la planta tiene más de un material apropiado, se deben hacer apreciaciones separadas basadas en cada material clave y establecerse como final el más severo, seleccionándolo como representando los riesgos de la sección. también se puede hacer una mezcla como el material clave si la mezcla permanece constante y representa la reacción o el potencial dominante de fuego, reactividad, explosión o toxicidad en la sección.

### 3. MÉTODO DE APLICACIÓN

#### 1. Determinación del factor de material

El primer punto para la aplicación de la técnica es el cálculo del factor de material de material clave (o mezclado de materiales) previamente identificado al listar los materiales, reacciones y operaciones incluidas en la sección.

El factor de material se define como una medida del fuego, explosión o energía potencial liberada por el material clave a una temperatura de 25 °c y a presión atmosférica (gas, líquido o sólido). en el formato de trabajo el factor material se designa con la letra "b".

a). el factor de material para materiales normalmente inflamable se define como el calor neto en aire a 25 °c del material clave en su estado normal a 25 °c y a presión atmosférica. el factor de material se calcula como sigue:

$$b = \frac{hc}{1000} \text{ donde } hc \text{ se expresa en btu/lb de material clave}$$

$$b = \frac{hc1 \times 1.8}{1000} \text{ donde } hc1 \text{ se expresa en calorías/gr. de material clave}$$

#### b) Materiales poco inflamables

El factor de material para materiales clave que tengan poca inflamabilidad o que se consideren como incombustibles en situaciones de transporte, no debe tomarse como cero debido a que se puede calcular un calor neto de combustión equivalente. esto se hace con referencia a los colores de formación del material clave y sus productos de combustión (en estado gaseoso) en la forma convencional. el factor de material a partir del calor neto de combustión equivalente se determina como sigue:

$$b = \frac{hr \times 1.8}{m} \quad \text{donde } hr = \text{ calor equivalente de combustión en kcal/gr.}$$

m = mol de "combustible".  
m = peso molecular del "combustible".

ejemplo de materiales poco inflamables:

tricloroetileno 1.1.1. tricloroetano, percloroetileno, cloruro de metilo, cloroformo.

### c) Materiales no combustibles

Algunas veces el material clave puede ser de los que no dan calor neto de combustión con oxígeno. ejemplos: agua, arena, nitrógeno, helio, tetracloruro de carbono, dióxido de carbono y hexacloroetano. para este grupo de materiales, que estrictamente no tienen factor de material, debe usarse un valor de 0.1 a fin de permitir que el método sea efectivo.

### d) Mezclas de materiales inflamables con diluyentes

En caso de mezclas de materiales, se usa el factor de material de componente más combustible o explosivo. a menos que siempre este una proporción fija de diluyente. en este caso se puede tomar el factor de material para el componente combustible y ajustarlo en base al peso y tomando  $f_m = 1.0$  para un diluyente inerte (o un valor más alto para materiales poco inflamables).

### e) Sólidos y polvos combustibles

Muchos materiales sólidos tienen valores de calor de combustión que no son apropiados para usarse en el índice mond. por ejemplo, cuando sólidos metálicos voluminosos u otros con materiales orgánicos como madera en gran volumen (otros que no sean granulados o más pequeños), se seleccionan como el material clave. en estos casos, se aplica un valor  $f_m = 0.1$ , a menos que el sólido combustible este en forma separada, granular o en polvo, lo que se reconoce como más peligroso que usando el mismo material en forma másiva. en estos casos de mayor riesgo, se calcula el factor de material basado en el calor de combustión del material.

### f) Materiales de composición no especificado

Algunos materiales tales como gases combustibles, materiales patentados para aplicaciones especializadas, polvos mezclados (productos farmacéuticos), algunos polvos (harina, carbón, etc.) pueden presentar dificultad para obtener el valor de calor de combustión (a menos que se cuente con datos de bomba calorimétrica). en algunas situaciones se puede disponer de datos en forma de

presión de explosión de recipientes cerrados, que pueden convertirse en factor de material por la siguiente relación:

$$b = \frac{p \times t}{288 \times 6.2}$$

donde p = presión de explosión máxima en psig  
partiendo inicialmente de presión atmosférica.  
t = temperatura inicial. °k

### g) Combinación de materiales que pueden reaccionar

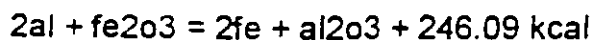
Esto se refiere a combinaciones de materiales donde la cantidad de calor que se puede liberar excede del valor del calor de combustión para el material clave. estas combinaciones surgen cuando se pueden mezclar en la planta cantidades de materiales oxidantes y reductores, y como ejemplo están las reacciones tipo "termita", reacciones de metales finamente divididos con solventes de hidrocarburos halogenados, reacciones de nitración o sulfatación.

Bajo estas condiciones, se calcula el calor de reacción de la combinación y se determina el factor de material como sigue:

$$b = \frac{hr1 \times 1.8}{m1}$$

donde: hr1 = calor de reacción en kcal/grmol de un componente  
m1 = peso molecular del componente usado para calcular  
hr + el peso molecular equivalente del otro  
componente basado en el mecanismo de reacción.

ejemplo de reacción "termita" de aluminio con oxido férrico:



$$b = \frac{246.09 \times 1.8}{53.96 + 159.69} = 2.07$$

Para identificar las combinaciones reactivas potenciales de materiales se debe consultar las referencias 1,2 y 3.

### h) Materiales que tienen potencial de explosión o descomposición de la fase condensada

Se considera bajo esta categoría la situación en la que cantidades apreciables de



materiales. tienen algunas propiedades de comportamiento de este tipo. por ejemplo: nitrometano, dinitrobenzeno, acetileno, nitrato propilico, peróxido de hidrogeno concentrado, peróxido orgánico, tetrafluoretileno, etc. en estos casos es necesario establecer si el calor neto de combustión es mayor o menor que el calor neto liberado durante la explosión o descomposición. el valor de liberación de calor que sea mayor se usa para determinar el factor de material.

En los casos en que el material clave pueda formar una mezcla o producto que tiene potencial de explosión o descomposición en la fase condensada al exponerse al aire u otras condiciones, no se considerara este hecho en el cálculo del factor material, ya que el material modificado no representa el volumen total del material presente durante la operación de la unidad.

## CONSIDERACIONES DE MEDIDAS PREVENTIVAS POTENCIALES

Al considerar muchos aspectos de los riesgos especiales de proceso, surgen problemás para fijar el valor correcto de los factores cuando se sabe por anticipado que se tomaran medidas preventivas para neutralizar algún riesgo especial del proceso en particular. obviamente, si no se hace ninguna concesión para el sistema más simple de control de la unidad o estándar de diseño, resultara un riesgo alto fuera de la realidad. por otra parte, si se supone que todos los sistemas de seguridad y control operan correctamente todo el tiempo, esto dará una estimación muy baja de riesgos porque no se toman en cuenta las fallas de los operadores ni del equipo.

La directriz que debe seguirse en el estudio de riesgos especiales de proceso (y cualesquiera otras comparables) es suponer que la planta cuenta con sistemas de control ( si se operan correctamente) apropiados para mantener la operación del proceso ( aunque con algunas desviaciones). este es el sistema de control básico sin considerar los sistemas complejos que normalmente se instalan para mejorar la eficiencia o por razones de control de seguridad. por lo mismo, se considera que la unidad contara con equipo eléctrico de acuerdo con los materiales presentes normalmente y con la guía de clasificación eléctrica de áreas (ver ref. 4).

Los sistemas especiales de interlock, equipo de supresión de explosión, sistemas de venteo o desecho, sensores de gas combustible o analizadores de gas continuo, sistemas fijos de inerte, válvulas de exceso de flujo u operadas a distancia y muchos otros aspectos similares de seguridad, no deben tomarse en cuenta para el estudio inicial de la sección de proceso.

El objetivo del estudio inicial es asegurar que el resultado represente el nivel de riesgo potencial si todos los sistemas de seguridad especiales no operaran. el tamaño y naturaleza de este incidente potencial se puede revisar junto con los sistemas especiales que existan en la sección o los que se consideren por la vía de otros estudios de riesgos. la técnica de la estimación del índice de fuego, explosión y toxicidad mond tiene como uno de sus objetivos la identificación de algunas, pero no necesariamente todas las áreas que requieren estudio más detallado de riesgo.

En una etapa posterior, los valores de factores de riesgo seleccionados inicialmente se revisan y se asignan factores para medidas preventivas.

## 2. Riesgos especiales del material (m)

Los aspectos a revisar para determinar los riesgos especiales del material tienen por objeto tomar en cuenta las propiedades específicas del material clave o cuando se mezcle con otros materiales tales como catalizadores, los factores de riesgo se asignan en función de las circunstancias de uso del material clave en la sección que se estudia y no se definen por las propiedades del material clave aislado.

### a) Materiales oxidantes

Se aplica cuando el material es capaz de liberar oxígeno bajo condiciones de fuego y a cualquier material que se clasifique como una sustancia oxidante en los reglamentos de transporte (ver refs. 1,2,3,5 y 6). el factor usado debe estar entre 0 y 20 y debe relacionarse con la cantidad de material oxidante respecto al material clave y a su poder oxidante. ejemplos: oxígeno líquido, cloratos, nitratos, percloratos, peróxidos.

No se aplica un factor cuando en material oxidante se haya incluido como parte de una combinación especialmente reactiva en la determinación del factor material. no se debe aplicar en los casos de reacciones de oxidación controlada o cloración, donde el abastecimiento de material oxidante o cloración se controla de manera que no se libere ninguna cantidad bajo condiciones de fuego.

### b) Materiales que reaccionan con agua para producir gas combustible

Se consideran aquellos materiales que en estado normal o bajo condiciones de fuego reaccionan con agua para liberar gas combustible. si la cantidad de material reactivo es lo suficientemente pequeña como para producir solo un fuego pequeño o un aumento insignificante del incendio, aplique un factor de hasta 5. si el material reactivo es inflamable, no se aplica ningún factor. en los casos en que los que la contribución al fuego de la reacción del material con agua es

todo tipo de sales

apreciable, se selecciona un factor de hasta 30. ejemplos: carburos, sodio, magnesio, amidas metálicas alcalinas, hidruros, etc. (ver refs 3,5 y 6).

### **c) Características de mezclado y dispersión (m)**

El grado de riesgo del material clave esta en función de si se trata de un gas denso o ligero, liquido inflamable, gas licuado inflamable, material viscoso, etc., aunque el material de material sea sensiblemente constante. se selecciona un factor m para los aspectos de riesgo de mezclado y dispersión por fugas o derrames como sigue:

#### **1. Gases inflamables de baja densidad**

A menos que estos estén a temperaturas bajo cero, se dispersan rápidamente y su contribución a los riesgos de fuego y explosión es menor que la de los gases con densidad igual a la del aire.

hidrogeno	-use un factor de -60 (menos 60)
metano y amoniaco	-use un factor de -20 (menos 20)
mezclas con otros materiales	-use un factor proporcional basado en los valores arriba anotados y un factor cero a la densidad del aire.

#### **2. Gases licuados inflamables**

Un gas licuado inflamable se define como un material inflamable con una temperatura critica arriba de -10 c. para estos gases se usara un factor de 30.

#### **3. Líquidos criogénicos inflamables**

El material criogénico se define como un liquido que se almacena a, o cerca de la presión atmosférica y a temperaturas de -73 c o menos.

En los casos en que sean inflamables (como el hidrogeno liquido) se aplica un factor de 60.

#### **4. Materiales viscosos**

Si el material clave es altamente viscoso a temperaturas relevantes de la sección, se debe seleccionar un factor de -20 (menos 20); por ejemplo: alquitran betún, aceites lubricantes pesados, resinas, asfaltos, materiales tixotropicos, etc.

### **d) Sujetos a calentamiento o combustión espontanea**

A los materiales que pueden desarrollar efectos de calentamiento durante el almacenamiento o uso, se les asigna un factor de 30; ejemplos: algunos peróxidos orgánicos y almacenamiento en silos de carbón, materiales orgánicos como paja y pasto, nitrato de amonio, etc.

A los sólidos pirofóricos (como sulfuro de hierro, metales reactivos, fósforo, etc.) se les asigna un factor de 50 a 250. el valor del factor seleccionado debe referirse a la tendencia al fuego que surja de las partículas de sólido pirofórico y si hay impurezas inertes que reduzcan el grado de piroforicidad.

A los líquidos pirofóricos se les asigna un factor de 100. si hay duda de las propiedades del material clave, se deben consultar las referencias 3 y 5.

#### **e) Polimerización espontanea**

Para materiales que se puedan polimerizar espontáneamente con rápida generación de calor, cuando se sobrecalientan con fuego o contaminación bajo condiciones normales de almacenamiento, use un factor de 75.

#### **f) Sensibilidad a la ignición**

Se refiere a la sensibilidad a la ignición en general del material clave del aire como oxidante. no se incluye la piroforicidad. la guía para seleccionar factores de sensibilidad a la ignición se basa en estándares de clasificación eléctrica para equipos de gas y de vapor, con cambios específicos en los casos en que el trabajo de estudio de riesgo requiere el reconocimiento de diferentes niveles de riesgo como se muestra en la tabla i.

En la tabla i se notaran variaciones entre los diferentes códigos de clasificación relacionados con sensibilidad a la ignición, y a menos que aparezca una guía específica en la tabla mencionada, se debe usar el factor más alto para sensibilidad a la ignición.

#### **g) Sujetos a descomposición explosiva**

Una descomposición explosiva se define como una reacción acompañada por la liberación de grandes cantidades de gases calientes que ocurre con suficiente rapidez para proporcionar una rápida reacción o una explosión visible a un observador.

El factor 125 se asigna para el caso de etileno de alta presión, peróxidos concentrados vaporizados, vapor de oxido de etileno, acetileno a presiones a bajo de una parcial de 20 psig, vapor de nitrato propílico, etc. dicho factor también se debe aplicar al acetileno almacenado en cilindros conteniendo absorbente poroso inerte aprobado. no se debe aplicar ningún factor bajo este

encabezado a materiales explosivos en fase condensada (ver i) o a materiales sujetos a detonación gaseosa (ver h).

#### **h) Sujetos a detonación gaseosa**

Ciertos materiales pueden dar lugar a detonación gaseosa bajo condiciones normales de procesos o con el equipo específico involucrado o cuando es necesario depender de la instrumentación para conservar el material fuera de los rangos especificados de temperatura, presión, etc. para evitar detonación a estos materiales se le debe dar el factor de 150; ejemplos: acetileno con una presión de más de 20 psig; tetrafluoroetileno bajo presión, peróxido de hidrogeno concentrado, etc. este factor no debe aplicarse a combustibles que detonan cuando se mezclan con aire u otro soporte.

#### **i) Propiedades explosivas de la fase condensada**

Bajo este encabezado se consideran las propiedades propulsoras y detonantes explosivas de la fase condensada del material clave o de la mezcla. cuando el material tiene propiedades deflagrantes o de propulsión se le asigna un factor de 200 y 400.

Cuando el material puede detonar, se le asigna un factor entre 500 y 1000.

Cuando el material sea tal que una explosión de gas o de fase vapor inicie una explosión de fase condensada, adicione 500.

Debe tomarse en cuenta que el comportamiento de la fase condensada de un material es una función de la cantidad del material presente, la presencia de contaminantes y de inertes.

Si el comportamiento es dudoso, debe consultarse con el área de seguridad industrial para definir el factor a asignar.

#### **j) Otro comportamiento extraño**

Un ejemplo de riesgos especiales que pueden producir fuego espontáneo o explosión, es el hexano mezclado con el 20 % o más de alquil aluminio, que provoca fuego espontáneo cuando se pone en contacto con el aire.

Las referencias 5 y 6 deben consultarse para estos casos peligrosos y se debe asignar un factor entre 0 a 150. Cuando se presente este riesgo especial se recomienda consultar el área de seguridad industrial.

### **3. Riesgos generales del proceso (p)**

#### **a) Solo manejo y cambio físico**

#### **d) Drenaje superficial**

Si la unidad de proceso tiene un área de contención de derrame donde el gradiente y/o drenaje a otra fosa es tal que el derrame de la unidad pueda producir un charco de líquido inflamable de más de 2" (50 mm) en el centro del área bajo la estructura o equipo de la unidad de proceso, use un factor de 100.

#### **e) Otros aspectos**

Si cualquier unidad de procesos que ocupe un área neta que exceda de 400 m<sup>2</sup> no se rodea por tres lados por caminos de acceso de 7 m. de ancho como mínimo, use un factor de 75.

Cuando parte de la unidad de proceso corresponde a almacenamiento de materias primas, productos intermedios o finales con una capacidad para más de 12 horas de demanda o producción, use un factor dependiente de la capacidad de almacenamiento involucrada. determine la más alta capacidad en el proceso para cada material como valor h (horas) y calcule el factor  $2(h-12)$ .

Si la unidad de procesos que esta siendo estudiada se localiza a menos de 10 m. del cuarto de control principal, cafetería, oficinas o limite de talleres, aplique un factor de 50; sin embargo, si la unidad esta construida sobre o abajo de la casa de control, oficinas, etc., use un factor de 250

### **7. Riesgos de toxicidad**

Los riesgos para la salud pueden variar tanto en el grado como en la forma en que se presentan. algunos son identificables en condiciones anormales de proceso, como mantenimiento o procesos fuera de control o en incendios, mientras que otros están presentes continuamente como resultado de pequeñas fugas en juntas, empaques, venteos de gases de proceso, etc. otros riesgos para la salud pueden producirse por asfixiantes como nitrógeno, metano, dióxido de carbono.

La toxicidad de gases, vapores y polvos se clasifica con base en los time weighted threshold limit values (tlv), que se basan en 8 horas de trabajo por día y 40 horas de trabajo por semana. la mayoría de los valores listados de tlv pueden ser excedidos para exposición corta (15 min) considerando que "balancearse" por periodos de tlv de manera que el valor promedio en tiempo no exceda del valor de tlv (referencia 8).

Asi mismo la presencia de fuentes radioactivas y los factores físicos como el calor, se deben considerar como riesgos relacionados con "toxicidad".

### a) Valores TLV

1) Identifique el material más peligroso en la sección como el que se presenta en cantidad apreciable con el valor de tlv más bajo o el mayor riesgo tóxico (por ejemplo, en el caso de absorción por la piel). Este material puede ser diferente al usado como material clave.

2) Para el valor del tlv se asigna un factor como sigue:

tlv de 0.001 ppm o menos	-factor de 300
tlv > 0.001 ppm hasta 0.01 ppm	-factor de 200
tlv > 0.01 ppm hasta 0.1 ppm	-factor de 150
tlv > 0.1 ppm hasta 1 ppm	-factor de 100
tlv > 10 ppm hasta 100 ppm	-factor de 75
tlv > 100 ppm hasta 1000 ppm	-factor de 50
tlv > 1000 ppm hasta 1%	-factor de 30
tlv > 10 ppm hasta 10 ppm	-factor de 10
tlv > mayor 1% (ejem. asfixiantes simples)	-factor de 0 (cero)

### b) Forma de material.

Si el material se presenta en el proceso bajo condiciones criogenicas, asigne un factor de 200.

Si el material se presenta en el proceso como partículas sólidas o polvo, asigne un factor de 200.

Si el material se almacena bajo condiciones gaseosas con una densidad relativa de 1.3 con relación al aire, o más asigne un factor de factor 25.

Si el material no tiene olor y no se puede ver en su nivel tóxico, aplique un factor de 200; de otra manera, cero.

### c) Riesgo de m corta.

El siguiente factor que se puede ver en su nivel permisible por un periodo corto (15 minutos) relativo al tlv medio en tiempo. se debe determinar el factor como sigue:

**Factor de excursión =  $stl/tlv$**

cuando el factor el eǻcursión es de 1.25	factor de 150
cuando el factor el excursión es > 1.25 hasta 2	factor de 100
cuando el factor el excursión es > 2 hasta 5	factor de 50
cuando el factor el excursión es > 5 hasta 15	factor de 20
cuando el factor el excursión es > 15 hasta 100	factor de 0
cuando el factor el excursión es > 100	factor de -100

## **b) Factores físicos**

Los factores físicos como el calor más alto que el promedio, radiaciones ionizantes o ultravioletas, humedad, gran altura de otros, provocan un mayor esfuerzo del cuerpo y aumentan los efectos de una exposición tóxica. donde se trabaja continuamente a temperaturas superiores a 32 °c y se tiene muchas horas de trabajo (más del 25% de tiempo extra), aplique un factor se 20. se deben evaluar otros factores físicos para caso individuales y se debe de aplicar un factor de 0 a 50 cuando sea apropiado. si hay partículas molestas, use un factor de 10 (ver referencia 8).

## **8) CÁLCULOS DEL ÍNDICE GLOBAL MOND/ (M)**

$$M = b (1 + m/100) (1 + p/100)[1 + (s + q + l)/100 + t/400]$$

donde:

b = factor material

m = factor por riesgos especiales del material

p = factor por riesgos generales del proceso

s = factor por riesgos especiales del proceso

q = factor por riesgos por cantidad

l = factor por riesgos por lay out

t = factor por riesgos de toxicidad



Hay situaciones particulares en las cuales los factores o cambios específicos pueden lograr mejoras en ambas clases al mismo tiempo. Para el propósito de este manual se clasifican de acuerdo al efecto más importante que se intente producir.

No se deben incluir bajo ambas clasificaciones porque esto produciría una disminución excesiva de riesgos.

El efecto combinado de estas dos clases de medidas es disminuir la categoría de riesgos de una unidad, lo que es aceptable y para decidir asuntos tales como un arreglo apropiado para la planta.

Los factores seleccionados en cada apartado se multiplican entre sí para obtener los valores de  $k_1$  a  $k_6$ . Cuando algún inciso no aplique, ya sea porque no se cuente con lo que especifique o no sea necesario, se le asignará un valor de 1.

## **MEDIDAS DE DISMINUCIÓN DE LA FRECUENCIA**

### **k1) sistemas de contención.**

Referido a la reducción de riesgo como consecuencia de riesgo como consecuencia de cualquier mejora en el diseño estándar de los recipientes a presión y sistemas de tuberías y protección de estos contra daño accidental o efectos de "knock-out", incluyendo procedimientos de mantenimiento y modificaciones. Los sistemas de detección de fugas que puedan advertir de un escape de material, si el equipo está protegido adecuadamente contra sobrepresión interna y también si el material venteadado o de desecho se envía a lugares seguros.

Las fallas del sistema de contención se indican por fugas del contenido de la atmósfera. Muchas mejoras del sistema de contención (especialmente en unidades que llevan a cabo una operación o reacción específica), se puede hacer por la selección de un diseño diferente de juntas o empaques y a menudo, al reducir su número en la unidad. Igualmente, se pueden hacer cambios en los materiales de construcción y reducir la influencia de los puntos mecánicos débiles (tales como fuelles de expansión).

Cuando se trata de sistemas de almacenaje, contenedores de transporte, tuberías de transferencia o sistemas de alta velocidad de reacción a presión, el principio básico para mejorar los sistemas de contención es adoptar un estándar de diseño superior al común y una mejor técnica de fabricación/inspección que la usual. Como la mayoría de estos sistemas tendrán grandes inventarios, la

disminución de riesgo potencial es considerable con estos cambios y tienen que ser compensada adecuadamente antes de que estén disponibles las clasificaciones reales de riesgo del arreglo general de la planta.

**a) Recipientes a presión.**

Si un recipiente esta de acuerdo con el **ASME pressure vessel code section 8, div. 1 o 2**, se utiliza un factor de disminución de 0.9. si no se cuenta con información sobre el código que se utiliza en su construcción o el recipiente esta deteriorado, se utiliza un factor de 1.0.

**b) Tanques de almacenamiento atmosféricos verticales.**

Los tanques de almacenamiento atmosférico verticales se usan para almacenar líquidos y gases licuados a presiones que van de 6 mbar de vacío interno a un presión de vapor interna máxima de 140 mbar (más el peso contenido) y se diseñan de acuerdo con los estándares de ingeniería aprobados. no es probable en un tanque atmosférico de almacenamiento vertical hacer un prueba de presión al grado que normalmente se hace con un recipiente a presión. el esfuerzo adicional que se tiene en un tanque de almacenamiento vertical por efecto de la corrosión, es menor en los tanques de diámetro grande (igual que el caso de los recipientes a presión) que con los tanques de almacenamiento pequeños.

Por estas razones, un tanque de almacenamiento vertical de gran diámetro no garantiza un factor de disminución aun cuando se estipule en los códigos de diseño el uso de una pequeña cantidad de pruebas no-destructivas.

Esto no implica que el estándar de construcción sea inferior sino que la ausencia de pruebas de rendimiento más la verificación mínima de soldadura es indicada en el asme, pressure vessel code, sección 8, div. 1 o 2. se aplica un factor de disminución de 0.9 (o excepcionalmente 0.8) para tanques de diámetro pequeño (hasta 10 metros de diámetro), o cuando en casos especiales se adoptan estándares extensivos de prueba no-destructivas y otras pruebas que las normales.

**c) tuberías de transferencia.**

Las tuberías que se usan para transportar cantidades de materiales peligrosos entre unidades de una planta o entre complejos de plantas de un sitio dado, o entre fabricas a través del campo o terceras partes, frecuentemente se diseñan con estándares superiores a los normales para tuberías de proceso. el potencial total de fuga de estas tuberías de transferencia puede ser grande, debido a que los inventarios considerables de material en la tubería y a los sistemas de recipientes de recepción/alimentación.

En el American National Standard For Gas Transmission And Distribution Piping Systems (sistemas de tuberías para transmisión y distribución de gas de E.U.A.), referencia 12, se menciona en la cláusula 841.151 cuatro tipos de diseño permitidas que se reducen progresivamente dependiendo de la localización a fin de controlar el riesgo a un nivel razonable de exposición a comunidades.

El grado de reducción global de riesgo logrado por estándares de diseño superiores también se refiere a eliminar conexiones bridadas hasta que sea posible, así como el uso de diseños óptimos donde las bridas sean necesarias y el uso de modelos de válvulas, bombas, etc., en los que las fugas de los empaques se reduzcan al mínimo por arreglos especiales de doble sello, diseños de rotor canned, sellos de fuelle, etc.

Para uso de procesos, la tubería debe sujetarse a un prueba hidrostática después de su fabricación y también a una prueba apropiada al ser instalada. no es aceptable la limitación de numero de bridas normales ni de bridas de traslape. las condiciones de diseño se proporcionan en la American National Standard For Gas Transmission And Distribution Piping Systems (sistemas de tuberías para transmisión y distribución de gas de E.U.A.), referencia 13, para servicio de fluidos no incluidos en las categorías d o m.

Esto se considera como el diseño estándar "normal" respecto al cual se asignan los factores de disminución por mejoras de tubería de transferencia de fluido (dentro o fuera de la planta).

Los factores de disminución para tubería de transporte de fluidos diseñada de acuerdo con el ANSI B31.8: 1975 se asignan de la siguiente manera:

- 1) Cuando la tubería se diseña y se construye de acuerdo a las clases de localización 1, 2, 3, 0 4 de conformidad con la cláusula 841. 151, use un factor de disminución de 0.90.
- 2) si el tipo de diseño y construcción adoptado en una categoría más resistente que el tipo especificado, use un factor de disminución de 0.80.
- 3) Si el tipo de diseño y construcción adoptado es dos categorías (o su equivalente, aunque no este en el código) más resistente que el especificado use un factor de disminución de 0.70.
- 4) Si el tipo de diseño y construcción adoptado es 3 categorías (o su equivalente, aunque no este en el código) más resistente que el especificado, use un factor de disminución de 0.60.

En adición a los anteriores factores de disminución por diseño y construcción de tubería de acuerdo a diseños más resistentes que los estándar, se debe aplicar un factor de disminución adicional apropiado por medidas relacionadas con fugas en juntas, válvulas, bombas, etc., para dar un factor de disminución de "fugas" se deben asignar como sigue:

1) Por el uso de tubería completamente soldada y 100% radiografiada sin bridas, excepto en las secciones de válvulas, como se especifica en la cláusula 846.11 de la ref. 23, use un factor de 0.90.

2) Por el uso de bridas de cuello soldadas en lugar de bridas de traslape en todas las uniones bridadas, use un factor de 0.95.

3) Por el uso de caras realzadas y juntas restringidas (anillos sólidos en el interior y exterior o diseños de trampa) en todas las uniones bridadas, use un factor de 0.95.

3) Por el uso de diseños de rotor coned, válvulas selladas por fuelles y otros sistemas especiales para sellado de la flecha, use un factor de 0.95.

Se permite usar más de uno de los factores anteriores multiplicándolos entre si.

Usando ambos grupos de factores de disminución para tubería de transferencia bajo condiciones optimas, se puede obtener un factor de reducción total hasta de 0.50.

#### d) Contenido adicional, chaqueta para recipientes y diques.

Una técnica que se puede aplicar para mejorar los estándares de contención de recipientes de almacenamiento y de proceso a presión, así como en recipientes atmosféricos y en los grandes tuberías de transferencia, es proveerlos de una segunda (y ocasionalmente tercera) cubierta o pared, de manera que más de una "barrera" tenga que fallar antes de que haya un escape incontrolable a la atmósfera. también un dique es medio de mejorar los estándares de contención para que una falla no conduzca a un escape de material que se extienda sino que asegure la permanencia en un área limitada para combatir incendios, neutralizar o recuperar.

Cuando un recipiente de almacenamiento que contiene líquidos inflamables o tóxicos (o gas licuado bajo condiciones totales o parciales de refrigeración) se provee con una segunda pared de contención (para presión atmosférica), que se construye a todo lo largo del recipiente, se le asigna un factor de 0.45 si la segunda pared resistente la carga del contenido total después de la falla de la

primera pared. en el caso de un recipiente a presión, la provisión de una segunda cubierta fuera de una capa de aislamiento también capaz de contener los contenidos a presión, aplica un factor de 0.50.

Bajo condiciones donde una segunda pared o cubierta este provista por fuera de un recubrimiento de al menos 150 mm. de espesor y la pared o la cubierta este sellada y tiene una resistencia equivalente a 3 mm. de acero suave, use un factor de 0.75.

En el caso de los recipientes transportables que contengan líquidos inflamables o tóxicos (gases licuados) que están provistos en los extremos con protección contra impacto equivalente a 12 mm de espesor de acero suave, use un factor de 0.80. estos se puede aplicar en adición a los factores de la segunda cubierta ya especificados.

Cuando las tuberías de transporte están provistas de una cubierta exterior equivalente a 6 mm. de acero suave, aplique un factor de 0.6.

En casos excepcionales en los que se proporciona una tercera cubierta o pared, multiplique entre si los factores apropiados para cada una de ellas.

Cuando el área de tanques de almacenamiento esta provista de diques según los requerimientos normales para líquidos inflamables, use un factor de 0.95. si la altura de la pared del dique es igual al 50% de la altura del tanque más alto que se encuentra dentro de el, o cuando su capacidad se cálculo tomando en cuenta la formación de espuma u otra condición más severa, use un factor 0.75. cuando la pared del dique es vertical o incluida hacia adentro ( más acerca aplique un factor adicional de 0.85.

Si la base del dique es de concreto o se aplanado para tener para tener menor superficie de contacto con el material que se escape, aplique un factor adicional de 0.90. si el dique esta sellado por completo de manera que el material que se escape no pueda salir fuera del dique ni penetrar en la tierra, use un factor adicional de 0.90.

Si especialmente para equipos de investigación o planta piloto, las condiciones de diseño del recipiente son capaces de soportar una explosión interna previsible, use un factor de 0.4.

Se puede incrementar la eficiencia de los sistemas de contención si se tienen instalados en forma permanente sistemas de detección de fugas de gas o vapores de todas las posiciones factibles alrededor de la sección. este sistema de detección de fugas debe contar con una indicación de la localización del sensor que es respondido en el cuarto de control, desde donde se puede tomar una acción inmediata para aislar y/o depresurizar el área. se asigna factores de

reducción como sigue:

- 1.- Si el sistema de detección de fugas se ha instalado de manera que sea necesaria una investigación antes de iniciar las actividades de paro, use un factor de 0.95.
- 2.- Si el sistema de detección de fugas permite a los operadores en el cuarto de control la rápida identificación del punto que requiere aislarse y/o despresurizado, use un factor de 0.90.
- 3.- Cuando por detección de la fuga se puede tener una identificación y respuesta rápida para paro de la planta, por parte de los operadores en el cuarto de control, use un factor de 0.85.
- 4.- Cuando después de la detección de la fuga, los operadores en el cuarto de control puedan lograr el aislamiento y la efectiva despresurización por medio de válvulas accionadas remotamente con un tiempo de respuesta de 10 a 20 segundos por diámetros de 2" - 4" de 30 segundos a 1 minuto para válvulas con diámetro entre 9" y 18" en si proporcionalmente, use un factor de 0.80.
- 5.- En el caso de líneas de transferencia en el que todas las válvulas de corte pueden operarse remotamente por el personal del cuarto de control, aplique un factor de 0.90.

Los factores anteriores se aplican cuando las unidades de detección operan una concentración equivalente al 25 % del límite inferior de inflamabilidad: si se ajustan para operar una concentración menor o igual al 10% del límite inferior de inflamabilidad, aplique un factor adicional de 0.90.

**f) manejo del material relevado, venteado o de desecho.**

En general se reduce el riesgo si el material que debe ser eliminado de un sistema de contención se maneja de tal manera que se evite la contaminación del ambiente por lo que se puede aplicar un factor de reducción apropiado por mejorar el sistema de contención, como sigue:

- 1.- Si todo el material en estado gaseoso o de vapor que se releva se ventea en una emergencia o se desecha, se envía a un quemador elevado o a un recibidor de venteo cerrado, use un factor de 0.9.
- 2.- Si se arregla que el líquido u otro contenido que se vaya a desechar se envíe a un quemador del campo a una fosa alejada (cuando menos 15 m), use un factor entre 0.95 y 0.90 de acuerdo con la eficiencia que se prevea para el sistema en el enfriamiento neutralización de reacciones peligrosas.

## **K2) CONTROL DE PROCESO.**

Referido a alarmas y/o sistemas de paro de seguridad activados por condiciones normales específicas de proceso. Los factores especiales tales como sistemas de enfriamiento de emergencia para el proceso, suministro de energía de emergencia para operaciones vitales (como unidades de refrigeración, agitadores y bombas) y sistemas de gas inerte, están claramente relacionados con el control de procesos bajo condiciones normales y construyen frecuentemente un factor esencial para cualquier sistema de seguridad.

La instalación de equipo de supresión de explosión, equipo diseñado para registrarlo o equipo de venteo seguro para explosiones internas, también son parte importante del sistema de control de procesos.

La interconexión de arreglos de válvulas en líneas de procesos y la posibilidad para aprobar la instrumentación y el control de seguridad durante la operación de la unidad, son otros aspectos deseables para un buen sistema de control de procesos.

Una mejora en la eficacia del control de procesos es cuando se efectúa por medio de una computadora que también esté ligada al sistema de paro de seguridad.

Un aspecto muy importante del control de procesos son los procedimientos de operación para:

- ⇒ Operación Normal
- ⇒ Arranque
- ⇒ Paro
- ⇒ Trabajo De Mantenimiento
- ⇒ Prevenir Situaciones Anormales
- ⇒ Modificaciones A La Planta

Así mismo es esencial para el buen funcionamiento del control del proceso el enfriamiento de los operadores, para que la protección, la inspección frecuente del equipo de la planta por operadores o donde haya un circuito cerrado de televisión adecuado que ayude efectivamente al control de proceso vía instrumentación instalada.

Siempre que se cuente con un sistema automatizado de control de proceso y se tenga confianza en los sistemas de alarma de seguridad y de paro, resulta necesario el contar con el suministro adecuado de energía para el control de las

principales operaciones durante condiciones anormales. todos estos aspectos requieren la adopción de factores de reducción de acuerdo con la confianza que se tenga al sistema como fue diseñado.

#### **A) Sistemas de alarma.**

La ayuda más simple para la operación segura de una planta es el proporcionar un sistema de alarma que indique las diversas fallas que se pueden encontrar en operación. si el sistema requiere de decisiones por parte del operador y acciones de corrección o paro para evitar una acción potencial de riesgo que puede convertirse a un accidente, un factor de 0.95 es apropiado.

Si el sistema de alarma es del tipo en que las condiciones anormales específicas se indiquen como situaciones peligrosas contra la retroalimentación de otras indicaciones de alarma aplique un factor de 0.90.

#### **b) Suministro de energía de emergencia.**

El contar con suministro de energía de emergencia para servicios esenciales (aire de instrumentos, instrumentación de seguridad y de control clave, agitadores, bombas, ventiladores) donde el cambio de suministro normal al de emergencia se lleva a cabo automáticamente sin necesidad de rearrancar motores constituye un aspecto clave en la reducción de riesgos. el numero de unidades de energía que se justifica para tener este tipo de servicio, solamente puede determinarse efectuando un estudio detallado de riesgos en la sección. sin embargo, es posible definir durante las primeras etapas del diseño si se va a contar con un suministro de energía de emergencia con cambio automático; si se toma esta decisión, un factor de 0.90. es apropiado.

#### **c) Sistemas de enfriamiento de proceso.**

Es frecuente que cuando se presenta una situación anormal en la planta, sea necesario evitar que los sistemas de enfriamiento y refrigeración dejen de funcionar rápidamente. si los sistemas de enfriamiento de proceso están diseñados con una capacidad para poder continuar trabajando por espacio de 10 minutos al presentarse un situación anormal se usa un factor de 0.95. si el sistema de enfriamiento es capaz de proporcionar el 150% de los requerimientos marcados en el diagrama de flujo durante 10 minutos se aplica un factor de 0.90.

#### **d) Sistemas de gas inerte**

Si se cuenta con una cantidad de gas inerte capaz de purgar toda la sección cuando se requiera, sin suspender el suministro normal se aplica un factor de



0.95.

Si los equipos que contienen líquidos inflamables cuentan con un colchón permanente de gas inerte para reducir el nivel de oxígeno por bajo de 1% v/v ( en base libre de combustible), se aplica un factor de 0.8.

Si se tiene conectada la sección una tubería permanente de vapor, asigne un factor de 0.90.

#### **e) Estudios de riesgo**

Solamente pierde ser efectivo un sistema de paro de seguridad si se ha hecho un estudio completo de riesgos en la sección, para identificar las fallas que puedan crear condiciones riesgosas y cada una de estas citaciones se ha evaluado para obtener el grado de riesgo resultante. en un sentido amplio, el valor inicial del factor r de riesgo global da una idea de la magnitud potencial del incidente que pide presentarse en una sección, pero no pretende identificar las fallas que lo originan.

Antes de seleccionar los factores de reducción para los sistemas de control de seguridad propuestos (o existentes) se necesitan factores de reducción equivalente al grado de detalle con que se ha efectuado (o se efectuara) el estudio de riesgos. se aplica un factor entre 1.0 y 0.7 de acuerdo al tiempo y al personal con experiencia disponible para el estudio de riesgos.

La categoría del riesgo global y su aceptación (junto con los resultados de riesgos) servirá para definir la eficiencia que debe tener el sistema de paro de seguridad con la que se obtiene un factor de reducción. es obvio que antes de asignar un factor de reducción es importante verificar que sea efectuado (o que se efectuar) un estudio completo de riesgo; de otra manera puede suceder que cualquier sistema de paro de seguridad seleccionado no se diseñe correctamente.

#### **f) Sistemas de paro de seguridad**

Se pueden identificar tres niveles de sistemas de paro, para los que se tienen los siguientes factores de reducción.

1.- Cuando se usa un sistema de protección altamente integrado un factor de 0.75 es apropiado. estos sistemas constan de varias señales de disparo consideradas por un sistema de votación en el sistema de paro de seguridad antes de que cualquier instrumento ( más de uno por servicio ) de paro sea activado.

2.- Un nivel intermedio de sistemas de paro es el sistema de redundancia directa donde se duplican las funciones de disparo de manera que una condición anormal iniciara el paro. para este tipo de sistema de seguridad se aplica un factor de reducción de 0.85, a menos que se tenga otra opinión por parte de ingenieros de seguridad y control.

3.- Para el sistemas simple de paro de seguridad constituido solamente por funciones individuales de disparo o paro u operaciones de venteo, es apropiado un factor de 0.95 se debe recalcar que es necesaria la experiencia o guía de un experto para asignar factores de reducción en un estudio de riesgos y par todo lo relacionado con sistemas de paro, y que los valores sugeridos constituyen una guía básica. si se puede probar regularmente la instrumentación de control y de seguridad con la planta en operación y la frecuencia de las pruebas se define de acuerdo al análisis de confiabilidad y estudios de riesgos use un factor adicional de 0.80.

Si como parte de la sección que tiene equipo rotatorio como compresores, ventiladores, turbinas, etc., cuentan con equipo de detección de vibración, seleccione un factor de 0.90 únicamente consta de alarmás y de 0.80 si se inicia el paro de sección.

#### g) control de computadora.

Si la planta esta controlada por computadora en línea directa a los controles y monitores de flujo de proceso de manera que continuamente se toman acciones correctivas, se logra generalmente una operación más uniforme que con instrumentación o control manual. esto tiene una influencia para el nivel de riesgo de la planta siempre que esta sea operada únicamente por control de computadora y que tenga funciones de paro independientes del sistema de control de paro. si se tiene estas condiciones, se usa un factor de 0.85. cuando la computadora en línea funciona únicamente como ayuda para los operadores no controla directamente las operaciones clave o cuando la planta se opera frecuentemente con la ayuda de la computadora, use un factor de 0.95.

#### h) protección contra explosiones y reacciones incorrectas.

La planta esta provista de un sistema de interlock para prevenir el flujo incorrecto de material y evitar reacciones indeseables aplique un factor de 0.95.

Cuando se tiene instalado un equipo de supresión de explosión en una unidad de proceso o de almacenamiento, use un factor de 0.80. si el equipo de la planta esta provista de instrumentos de relevo de sobrepresios o de venteo de explosión (en el caso de riesgo de explosión interna) adecuados para protegerlo de condiciones anormales previsibles, seleccione un factor entre 0.95 y 0.85 de acuerdo a la eficacia de los instrumentos de sobrepresios en el caso de: gas.

vapor, neblina o venteo de reacción interna. con riesgos de explosión de polvo, debe usarse un rango de 0.90 y 0.70, seleccionando factores cercanos de 0.90 para los polvos que producen explosiones más violentas.

En el caso de edificios que manejan polvos y productos similares, se seleccionan un factor de 0.85 si se cuenta con relevo de explosión para el edificio diseñado según NFPA o un código equivalente.

### i) Instrucciones de operación

Las instrucciones de operación debe cubrir las condiciones normales de operación pero su valor se aumenta si incluye otros aspectos como:

- 1.- arranque
- 2.- paro normal
- 3.- paro de emergencia
- 4.- arranque después de un paro de poca duración
- 5.- procedimientos para el mantenimiento incluyendo permisos de trabajo o sistemas de limpieza, descontaminaron para mantenimiento etc...
- 6.- arranque después del periodo de mantenimiento.
- 7.- situaciones anormales predecibles
- 8.- procedimientos de control para modificación de equipo de tubería (necesidad de re-examinar los estudios como resultado de la modificación).
- 9.- Condiciones normales de operación.
- 10.- Condiciones normales durante el paro.
- 11.- Condiciones de operación con una capacidad mayor (por arriba) de la mencionada en el diagrama de flujo)
- 12.- Condiciones cuando esta recirculando (recirculación total sin reacción química a temperatura y presión normal).

Para aplicar el factor, determine cuantas condiciones de las doce mencionadas arriba se cubren efectivamente. Si el numero de condiciones cubiertas es x, aplique un factor de:

Este factor de reducción se encontrara en el rango entre 0.97 y 0.88, dependiendo del grado de explicación que tenga las instrucciones de seguridad.

**j) Supervisión de la planta.**

Si la planta se encuentra normalmente patrullada a todas horas del día y de la noche y se pueden tener una buena vigilancia del equipo principal mediante el circuito cerrado de televisión, use un factor de 0.95. si es posible ponerse en contacto con todos los operadores por medio de un radio o un medio equivalente desde el cuarto de control use un factor adicional de 0.97.

### **K3) ACTITUDES DE SEGURIDAD.**

La actitud de la gerencia hacia normás de seguridad contribuye (cuando el énfasis es correcto) significativamente a la reducción de la frecuencia de accidentes. el resultado de fomentar la seguridad se ve en aumento en el nivel de entrenamiento de todo el personal, la adhesión o procedimientos de operación establecidos, buenas normás de mantenimiento, la aplicación correcta de sistemas de aprobación a las modificaciones y permisos de trabajo, verificaciones regulares y eficientes de todos los sistemas de seguridad y control y un informe concienzudo de circunstancias anormales, fallas y accidentes menores.

la actitud gerencial hacia la seguridad, solo será plenamente efectiva si es visible y esta respaldada por actividades apropiadas (inspección, exigencia, modelaje, acciones disciplinarias, entre otras.)

Aunque la planta este adecuadamente diseñada, construida, provista de instrucciones de operación por escrito, etc., la actitud general en el sitio hacia las normás de seguridad tendrá efecto sobre el grado de alcance en la obtención de un operación segura.

**a) Actitud de la gerencia.**

Es de esperarse que en toda compañía y sitio bien organizado se tenga la firme resolución de seguir normás altas de procedimientos de seguridad, se selecciona un factor de 0.95 y 0.90.

### **b) Entrenamiento en seguridad.**

Si regularmente se lleva a cabo un programa de entrenamiento sobre seguridad que incluya a todos los operadores, personal administrativo, auxiliar o del contratista en planta, use un factor entre 0.80 y 0.95, de acuerdo a las características del programa.

### **c) Procedimientos de mantenimiento y seguridad.**

La observancia estricta de permisos de trabajo o sistemas de certificación de limpieza para mantenimiento y trabajos de modificaciones proporciona un factor entre 0.98 y 0.90, dependiendo del apego a los procedimientos.

En una planta donde se efectúe el mantenimiento preventivo programado, se usa un factor adicional de acuerdo a la eficacia con la que se efectúen las inspecciones de seguridad y limpieza en la planta, se debe escoger un factor en el rango de 0.97 a 0.90 que depende de la ausencia de basura (particularmente de materiales combustibles e inflamables), de fugas de materiales tóxicos, inflamables, fluidos e servicio, etc.

Cuando se elaboren Cursos completos de accidentes, condiciones anormales de proceso y falla (que cubran cuando menos el 50% de dichos eventos ), se aplica un factor de 0.95.

En una planta donde se manejan sólidos inflamables, combustibles o tóxicos, al contar con un equipo fijo de limpieza por medio de vacío u otro sistema equivalente que se use regularmente y evite la acumulación de polvos fuera del equipo de proceso, justifica el uso de un factor de 0.80.

## **MEDIDAS DE DISMINUCIÓN DE LA GRAVEDAD POTENCIAL.**

### **K4 PROTECCIÓN CONTRA FUEGO.**

La medida más importante para reducir el riesgo es asegurarse de que las estructuras y recipientes de la sección estén provistos de la protección efectiva contra el fuego, así como contar con cortinas de agua o vapor, paredes resistentes a fuego, arrestadores de flama, pisos sólidos, etc., que eviten que se propague el fuego y el humo.-

## RANGO DEL ÍNDICE GLOBAL MOND GRADO RIESGO

0 - 20	suave
20 - 40	ligero
40 - 60	moderado
60 - 75	moderadamente alto
75 - 90	alto
90 - 115	extremo
115 - 150	muy extremo
150 - 200	potencialmente catastrófico
más de 200	muy catastrófico

### 9) cálculo de carga de fuego (f)

$$f = (bk/n) * 20\ 500 \text{ btu/ft}^2$$

donde:

b = factor material

k = cantidad de material

n = área normal de trabajo.

Se calcula la carga de fuego de la unidad porque da una indicación de la duración del fuego en caso de un incidente. el cálculo se basa en los btu/ft<sup>3</sup> de área plana, lo que permite efectuar una comparación con valores para otros tipos de edificios.

Cantidad de fuego (f) en-----Rango de la categoría----- duración----- comentarios  
btu/ft<sup>2</sup> del área normal (horas)  
de trabajo.

0 - 50 000	ligero	1/4 - 1/2	
50 000 - 100 000	bajo	1/4 - 1	casas
100 000 - 200 000	moderado	1 - 1	fabricas
200 000 - 400 000	alto	2 - 4	fabricas
400 000 - 1000 000 -	muy alto	4 - 10	edificios
1 000 000 - 2 000 000	muy alto	4 - 10	bodegas
2 000 000 - 5 500 000	muy alto	4 - 10	
5 000 000 - 10 000 000	muy alto	4 - 10	

## 10) cálculo de potencial de explosión

$$e = 1 + (m + p + s)/100$$

$$a = b ( 1 + m/100 ) q h e (t/300) (1+p)1000$$

donde:

m = factor por mezclado y dispersión

h = altura de la unidad

t = temperatura del proceso

p = factor por alta presión

Se calcula un índice de explosión interna de la planta, como una medida del riesgo de explosión interna de la planta. las categorías asignadas a los valores del índice (e) son:

Índice de explosión interna de la sección (e)	Categoría
0 - 1	ligero
1 - 2.5	bajo
2.5 - 4	moderado
4 - 6	alto
arriba - 6	muy alto

Esto no representan el único potencial de explosión de la sección. De un estudio de un gran numero de escapes de sustancias inflamables que han dado lugar ya sea a explosiones aéreas o a nubes que han causado inicialmente fuego por ignición, ha sido posible derivar el índice ( a ) de explosión aérea.

las categorías asignadas a varios valores a son:

explosión aérea índice ( a )	categoría
0 - 10	ligero
10 - 30	bajo
30 - 100	moderado
100 - 500	altc
arriba de 500	muy alto

### 11) cálculos de riesgos de toxicidad

$$u = \sqrt[100]{1 + (m + p + s) / 100}$$

Un índice unitario de toxicidad se calcula de manera que represente la influencia de la toxicidad y consideraciones afines sobre el control y supervisión de la sección de la planta. Sobre el control y supervisión de la sección de la planta, las categorías asignadas a los valores del índice unitario de toxicidad (U) son:

#### INDICE UNITARIO DE TOXICIDAD.

TOXICIDAD U	CATEGORIA
0 - 1	ligero
1 - 3	bajo
3 - 6	moderado
6 - 10	alto
arriba de 10	muy alto

Usando una combinación del índice unitario de toxicidad U y el factor de cantidad Q. Se obtiene el índice del máximo incidente tóxico c.

Se debe aclarar que si ha sido derivado a partir de una cantidad de material que no es el material tóxico, en este caso se debe derivar de la cantidad de material tóxico presente en la sección:

#### ÍNDICE DEL MÁXIMO INCIDENTE TÓXICO ( C ) CATEGORÍA

0 - 20	ligero
20 - 50	bajo
50 - 200	moderado
2100 - 500	alto
arriba de 500	muy alto

### 12) índice global de riesgo (r).

$$r = d ( 1 + ( \text{fuea} )^{1/2} ) / 10 e^3$$

si uno de los factores tiene un valor de cero, se debe considerar un valor mínimo del en esta fórmula.

las categorías para r se aplican como sigue:



**FACTOR DE RIESGO (R)      CATEGORÍA DEL RIESGO GLOBAL.**

---

0 - 20	suave
20 - 100	bajo
100 - 500	moderado
500 - 1100	alto (grupo 1)
1100 - 2500	alto (grupo 2)
2500 - 12 500	muy alto
12500 - 65 000	extremo
> 65 000	muy extremo

El uso de esta categoría del riesgo global en el arreglo de una planta se considera con más detalle en la referencia 10 como diferentes niveles aceptables de riesgo global, pueden ser apropiadas según las circunstancias, la lista de valores del factor global de riesgo a la mitad del rango se divide en dos conjuntos más pequeños: alto (grupo 1) y alto ( grupo 2), ya que uno puede considerarse aceptable y el otro no.

**13) DISMINUCIÓN EN EL VALOR DE LOS ÍNDICES POR LA ADOPCIÓN DE MEDIDAS ADECUADAS DE SEGURIDAD MEDIANTE EL DISEÑO.**

El valor y la categoría de los índices se pueden considerar aceptables; en caso contrario, se requerirá trabajo posterior para lograr tal objetivo. El primer paso es revisar los factores individuales y asegurarse si se puede hacer una reducción por cualquiera de las siguientes razones:

- ⇒ Si se ha sobrestimado un riesgo en la evaluación original.
- ⇒ Alteraciones hechas a tamaños, condiciones de operación, etc., Relativas a las unidades que forman parte de la sección.
- ⇒ Sustitución por diferentes tipos de equipo de proceso de aquellos seleccionados originalmente.
- ⇒ Adopción de diseños de equipo que involucren menos riesgos de fallas de operación de la unidad o fugas de materiales clave.

En el caso de propuesta para una planta con proceso nuevo, pueden existir pocas posibilidades de efectuar cambios a menos que se efectúe una investigación adecuada de las alternativas. si un cambio en particular puede reducir en forma considerable el riesgo, se justifica el trabajo de investigación necesario.

Con plantas en operación, los registros y experiencias y accidentes deben tomarse como guía para mejorar diseños y técnicas de operación. sin embargo, debe tenerse cuidado al usar las experiencia de operación para disminuir los factores de riesgo en áreas donde se hayan presentado accidentes. para poderlo hacer se requiere que:

- a) La planta se haya operado de la misma manera por un periodo de tiempo determinado.
- b) Que se hayan presentado un número adecuado estadístico de paros, arranques y otras situaciones anormales.

Siempre que los factores de riesgo individual se reduzcan, el nuevo valor debe aparecer en una columna de "valor reducido" en las formás y se debe añadir una nota de la razón del cambio. una vez que los cambios individuales se hayan hecho, los índices se deben recalcular. esto se identifican por el sufijo uno para distinguirlos de los valores calculados anteriormente.

#### 14) clasificación de factores de seguridad y medidas preventivas.

Los diversos factores de seguridad y medidas preventivas que se pueden incorporar a una unidad, se dividen en dos clases, que se definen como:

- i.- Reducción de riesgo por disminución de la frecuencia.
- ii.- Reducción de riesgo por disminución de la gravedad potencial.

La primera clase comprende los factores de seguridad y medidas preventivas tendientes de evitar los accidentes y/o que disminuye las frecuencia de los mismos. la naturaleza de estos factores se relaciona con el diseño mecánico, instrumentación de control y seguridad, procedimientos de operación y mantenimiento, entrenamiento de personal enfocado a la seguridad, la buen a operación de la planta se puede decir de algunos de estos factores que actúan en forma directa reduciendo el potencial de riesgo; como el entrenamiento de personal. juegan un papel importante al asegurar que la eficiencia de los factores de diseño no se vea afectada por errores humanos.

La segunda clase de factores de seguridad y medidas preventivas esta constituida por las acciones que se deben tomar en cuando suceda un accidente para minimizar sus consecuencias, además para minimizar sus consecuencias, además de aquellas como protección contra incendios, sistemas fijos para combatir fuegos, etc., que también sirven para reducir el daño producido por fuegos y explosiones. estos son muy importantes ( a pesar de que la frecuencia de los accidentes se reduzca por otros medios), porque un accidente puede presentarse en cualquier momento sin importar la frecuencia.

Otro aspecto es la protección contra exposición al fuego o agentes corrosivos de los cables de instrumentos, líneas de corriente, cables de potencia, con el fin de que no se interrumpen las funciones de control durante una situación anormal.

La protección contra fuego de las estructuras de las plantas (de acero, pisos, etc.) que soportan el peso del equipo de proceso, debe considerarse de manera diferente a las paredes o barreras contra fuego que únicamente proporcionan una cubierta de carga se limitan a evitar que la pared o barrera se caiga por efecto de su propio peso.

El equipo de la planta requiere protección contra fuego para evitar que se dañe por el calor y que se efectúe una transferencia de calor inaceptable hacia el contenido del mismo. la cantidad de calor transferible es una función de las características del contenido y la presión de operación.

Cuando se lleva a cabo un entrenamiento regular por operadores sobre el uso de extintores portátiles, equipo de flujo y colaboración con las brigadas contra incendio, asigne un factor de 0.90.

#### **h) ventiladores para humo.**

Si se tiene ventiladores para humo colocados en los techos d edificios de almacenamiento, empaque u otros procesos, además de separadores de humo a nivel del techo para evitar que otros edificios se vean afectados, aplique un factor de 0.90.

#### **15) Cálculo del efecto global de los factores de reducción**

carga de fuego  $f1 = fk1 k4 k5$

índice de explosión  $e1 = ek2 k3$

índice de explosión aérea  $a1 = a k1 k5 k6$

índice global mond  $r1 = r k1 k2 k3 k4 k5 k6$

Los resultados obtenidos en cada encabezado por el producto y los factores son utilizados para el cálculo de los valores revisados de: la magnitud del fuego (f1), el índice de explosión (e1), el índice de explosión aérea (a1) y el índice global de riesgos (r1).

Este último valor es importante para determinar si el nivel de riesgo de la sección es aceptable o no y para escoger un arreglo satisfactorio de la planta durante las primeras etapas de diseño.

Finalmente, los elementos principales de la reducción de  $r$  a  $r_1$  deben anotarse en la hoja para recordar la necesidad de apegarse a ellos durante las últimas etapas de diseño.

#### 16) conclusiones

Los lineamientos dados para los factores de reducción están basados en la experiencia obtenida por las compañías de seguros y los análisis de accidentes y se consideran razonables para poder asegurar que se ha dado un peso adecuado a los factores que indirectamente disminuyen los riesgos, al efectuar la revisión de los riesgos y definir un arreglo de equipo adecuado. no se les debe asignar una confiabilidad mayor del + 20 % que tiene globalmente el método de índice de mond para fuego, explosión y toxicidad.

# SECUENCIA DE CÁLCULO ÍNDICE MOND

## I Cálculo de índices sin considerar los factores de seguridad

### 1.-SELECCIÓN DEL MATERIAL CLAVE (MÁS RIESGOSO Y EN MAYOR CANTIDAD)

- a) Listado de materiales, reacciones , características termodinámicas y fisicoquímicas.
- b) Selección del material clave.

### 2.- CÁLCULO DEL FACTOR MATERIAL B

- a) Material inflamable  $b = f$   
 $f(\text{calor de formación}) = \Delta h_c / 1000 \text{ (btu/lb)}$
- b) Material no inflamable o no combustible en transporte  
 $b = f(\text{calor de formación}) = \Delta h_c \cdot 1.8 / \text{peso molecular (kcal/gmol)}$
- c) Material no combustible  $b = 0.1$
- d) Sólidos o polvos combustibles  $b=0.1$  a menos que se encuentren en la forma granular  $b = f(\text{calor de combustión})$
- e) Material de composición no conocida  $b = pt / 288 \cdot 6.2$

### 3.- DETERMINACIÓN DE RIESGOS ESPECIALES DE MATERIAL M = SUMA DE FACTORES.

- a) Material oxidante
- b) Reacción con agua que produzca gases o vapores combustibles.
- c) Características de mezclado y dispersión = m
- d) Sujeto a calentamiento espontaneo
- e) Sujeto a rápida polimerización espontanea.

- f) Sensibilidad a la ignición.
- g) Sujeto a descomposición explosiva.
- h) Sujeto a detonación en fase de gas.
- i) Propiedades de la fase condensada.
- j) Otros riesgos.

**4.- DETERMINACIÓN DE RIESGOS GENERALES DE PROCESO P=SUMA DE FACTORES.**

- a) Manejo y cambio físico solamente .
- b) Reacción única
- c) Reacción única por etapas
- d) Múltiples reacciones en un mismo equipo.
- e) Transferencia de material.
- f) Contenedores transportables.

**5.-DETERMINACIÓN DE RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO S = SUMA DE FACTORES.**

- a) Baja presión (< 15 psi.)
- b) Alta presión = p
- c) Baja temperatura - acero al carbón +10oc , -10oc.
  - acero al carbón - 10oc.
  - otros materiales.
- d) Alta temperatura - inflamabilidad
  - materiales de construcción.
- E) Corrosión y erosión.

- f) Fugas en juntas y empaques.
- g) Vibración, ciclos de carga, etc.
- h) Procesamiento o reacciones difíciles de controlar.
- i) Operación cerca o dentro de los límites de inflamabilidad.
- j) Proceso con riesgo de explosión mayor que el valor promedio de riesgo.
- k) Polvos o mezclas riesgosas.
- l) Oxidantes altamente fuertes.
- m) Sensibilidad del proceso a la ignición.
- n) Riesgos electrostáticos  
temperatura de proceso  $t = k$

#### 6.- RIESGOS POR CANTIDAD DE MATERIAL TOTAL Q.

Cantidad en toneladas = k.

En toda la unidad a estudiar, incluye tuberías, tanques y recipientes de proceso.

#### 7.- RIESGOS POR DISTRIBUCIÓN DE LA UNIDAD L = SUMA DE FACTORES.

Altura en m = h

área normal de trabajo en  $m^2 = n$

- a) Diseño de estructuras.
- b) Efecto domino.
- c) Bajo tierra.
- d) Drenaje superficial.
- e) Otros.

## 8.- RIESGOS POR TOXICIDAD T = SUMA DE FACTORES.

- a) TLV
- b) Forma de material.
- c) Riesgo de exposición corta.
- d) Absorción por la piel.
- e) Factores físicos.

## 9.- CÁLCULO DE ÍNDICES.

- a) Índice general de riesgos.

$$d = b(1 + m/100) * (1 + s+q+l/100 + v/400) * (1 + p/100)$$

d = factor material (riesgo material) (r.g. proceso) (r.e. proceso, cant, distribución y toxicidad).

- b) Carga de fuego

$$f = b * k/n * 20500 \text{ btu/ft}^2 = f.\text{material} * \text{ton material} / \text{área de trabajo}$$

- c) Índice de toxicidad

$$u = v/100 * (1 + m+p+s/100) = \% r \text{ toxicidad (r. material, g.proceso e. proceso)}$$

- d) Índice de incidente mayor de toxicidad  $c = q * u = r \text{ cant. material, índice toxicidad.}$

- e) Índice de explosión  $e = 1 + m+p+s/100 = r. \text{ material, g proceso, e.proceso.}$

- f) Índice de explosión aérea.

$$a = b (1 + m/100) * (q * h * e) * v/300 * 1+p/1000$$

a = f, material, r.cant. mant., altura, índice explosión carac. mezclado, temperatura, presión alta.



g) Índice total  $r = d (1 + (f.u.e.a)e^{0.5/1000}) = ig$   
riesgo corregido por carga de combustible, índice toxicidad, explosión y explosión aérea.

## II.- FACTORES DE SEGURIDAD PARA CORRECCIÓN DE ÍNDICES

1.- PREVENCIÓN DE RIESGOS EN ALMACENAMIENTO  $K1 = PRODUCTO DE FACTORES.$

- a) Recipientes a presión.
- b) Tanques verticales de almacenamiento no a presión.
- c) Líneas de transferencia - tensión de diseño - juntas y empaques.
- d) Contenedores adicionales.
- e) Detección y respuesta a fugas y derrames.
- f) Desecho de material derramado.

2.- CONTROL DE PROCESO  $K2 = PRODUCTO DE FACTORES.$

- a) Sistemas de alarmas.
- b) Suministro de energía de emergencia.
- c) Sistemas de enfriamiento de proceso.
- d) Sistemas de gas inerte.
- e) Actividades de estudio de riesgos.
- f) Sistemas de seguridad para paros.
- g) Control por computadora.
- h) Protección contra explosión o reacción incorrecta.

**i) Instrucciones de operación.**

**j) Supervisión de planta.**

**3.- ACTITUD DE SEGURIDAD K3 = PRODUCTO DE FACTORES.**

**a) Involucramiento de la gerencia.**

**b) Entrenamiento de seguridad.**

**c) Procedimiento de seguridad y mantenimiento.**

**4.- PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS K4 = PRODUCTO DE FACTORES.**

**a) Recubrimiento a estructuras.**

**b) Barreras resistentes a fuegos.**

**c) Equipos de protección contra incendios.**

**5.- AISLAMIENTO DE CORTE DE MATERIAL K5 = PRODUCTO DE FACTORES.**

**a) Sistemas de válvulas.**

**b) Ventilación.**

**6.- COMBATE DE INCENDIOS K6 = PRODUCTO DE FACTORES.**

**a) Alarma de emergencia.**

**b) Extinguidores.**

**c) Red contra incendios.**

**d) Espuma o inertización.**

**e) Respuesta a la brigada.**

**f) Cooperación con otras plantas.**

g) Extractores de humo.

## 7.- CÁLCULO DE ÍNDICES FINALES.

a) carga de fuego  $f_1 = f_1 k_1 k_4 k_5$  corregido por prevención en almacenamiento, protección contra incendios, aislamiento material.

b) índice de explosión  $e_1 = e_1 k_2 k_3$  corregido por el control de proceso y actitud en seguridad.

c) índice de explosión aérea  $a_1 = a k_1 k_5 k_6$  corregido por prevención en almacenamiento, aislamiento de material y combate de incendios.

d) índice global mond  $r_1 = r k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6$

## INDICE MOND.REFERENCIAS

1. HAZARDOUS CHEMICAL DATA. NFPA 49, 1975.
2. MANUAL OF HAZARDOUS CHEMICAL REACTIONS. NFPA 491 M, 1975
3. HANDBOOK OF REACTIVE CHEMICAL HAZARDS. BRETHERIC, L. BUTTERWORTH'S SCIENTIFIC PUBLICATIONS. 1975.
4. NATIONAL ELECTRIC CODE. NFPA 70, 1986.
5. IATA RESTRICTED ARTICLES REGULATIONS. 20TH ED AUG 77, INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION, SUIZA.
6. CODE OF FEDERAL REGULATIONS-TITLE 49-TRANSPORTATION. U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE. WASHINGTON.
7. PROPERTIES OF FLAMABLE LIQUIDS, GASES AND VOLATILES SOLIDES. NFPA 325 M, 1984.
8. THRESHOLD LIMIT VALUES AND BIOLOGICAL EXPOSURE INDICES FOR 1987-1988, ACGIH.
9. MANUAL DE MANEJO DE MATERIALES PELIGROSOS (MSD'S). CELANESE MEXICANA.
10. THE APLICATION OF MOND FIRE, EXPLOSION AND TOXICITY INDEX TO PLANT LAYOUT AND SPACING DISTANCES. PAPER FOR PRESENTATION AL THE AICHE LOSS HAS PREVENTION SYMPOSIUM, TEXAS ON APRIL 1-5, 1979. LEWUIS, D.J.
11. ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE, SECTION VIII DIVISIONS 1 AND 2 PRESSURE VESSELS.
12. GAS TRANSMISSION AND DISTRIBUTION PIPING SYSTEMS. AMERICAN NATIONAL STANDARDS. ANSI B.31.8. 1975 ASME.
13. CHEMICAL PLANT AND PETROLIUM REFINERY PIPING. AMERICAN NATIONAL ATANDARD. ANSI 31.3, 1976. ASME.

14. OPERABILITY STUDIES AND HAZARDS ANALYSIS. LAWLEY, H.G., AICHE LOSS PREVENTION VOL.8 PP105-106, 1974.
15. LOSS PREVENTION DATA, SECTION 1-21, FMEC. JULY 1977.
16. STANDARD FOR WATER SPRAY FIXED SYSTEMS FOR FIRE PROTECTION. NFPA 13, 1977.

## ÍNDICES DE RIESGOS MOND.

### GENERAL DE RIESGO

FACTOR GENERAL DE RIESGO		CATEGORÍA
0 _____	20 _____	SUAVE
20 _____	100 _____	BAJO
100 _____	500 _____	MODERADO
500 _____	1100 _____	ALTO GRUPO (1)
1100 _____	2500 _____	ALTO GRUPO (2)
2500 _____	12500 _____	MUY ALTO
12500 _____	65000 _____	EXTREMO
>65000 _____	_____	MUY EXTREMO

### CARGA DE FUEGO

CANTIDAD DE FUEGO (F) EN BTU/FT <sup>2</sup> DEL ÁREA NORMAL DE TRABAJO		CATEGORÍA
0 _____	50000 _____	LIGERO
50000 _____	100000 _____	BAJO
100000 _____	200000 _____	MODERADO
200000 _____	400000 _____	ALTO
400000 _____	1000000 _____	MUY ALTO
1000000 _____	2000000 _____	INTENSO
2000000 _____	5500000 _____	EXTREMO
5500000 _____	10000000 _____	MUY EXTREMO

### TOXICIDAD DE LA UNIDAD

ÍNDICE UNITARIO DE TOXICIDAD		CATEGORÍA
0 _____	1 _____	LIGERO
1 _____	3 _____	BAJO
3 _____	6 _____	MODERADO
6 _____	10 _____	ALTO
>10 _____	_____	MUY ALTO

## TOXICIDAD MAYOR

### ÍNDICE DEL MÁXIMO INCIDENTE TÓXICO

### CATEGORÍA

0 _____	20 _____	LIGERO
20 _____	50 _____	BAJO
50 _____	200 _____	MODERADO
200 _____	500 _____	ALTO
> 500 _____	_____	MUY ALTO

### ÍNDICE DE EXPLOSIÓN

### ÍNDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA DE LA SECCIÓN

### CATEGORÍA

0 _____	1 _____	LIGERO
1 _____	2.5 _____	BAJO
2.5 _____	4 _____	MODERADO
4 _____	6 _____	ALTO
> 6 _____	_____	MUY ALTO

### ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA

### ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA

### CATEGORÍA

0 _____	10 _____	LIGERO
10 _____	30 _____	BAJO
30 _____	100 _____	MODERADO
100 _____	500 _____	ALTO
> 500 _____	_____	MUY ALTO