

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1982

06.82.03

CNEA-AC 37/82

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

Gerencia de Protección Radiológica y Seguridad

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y MEDIO AMBIENTE

Dirección Nacional de Saneamiento

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Facultad de Ingeniería

EVENTOS EXTERNOS IMPUTABLES AL HOMBRE

Ing. Camilo E. PAGANINI

Apuntes para el Curso de Post-Grado
en Protección Radiológica y Seguridad Nuclear

BUENOS AIRES

1982

EVENTOS EXTERNOS INDUCIDOS POR EL HOMBRE

1- INTRODUCCION

Cuando se ubica o diseña una instalación nuclear es necesario tener en cuenta el efecto que sobre la misma puedan tener eventos externos a la misma producidos por alguna actividad humana, lo cual podría eventualmente dar lugar a un cambio de ubicación de la misma o variaciones de diseño o a la incorporación de nuevos elementos paliativos del evento estudiado o a medidas administrativas sobre la actividad productora del evento (limitación de distancia o de volumen almacenado o en proceso). También deberán tenerse en cuenta no solo las actividades actuales en las cercanías de la Central sino también las futuras, previstas o previsibles.

En general es muy fácil identificar facilidades potencialmente peligrosas de gran magnitud (p.ej. Plantas Industriales de Gas, Petroquímicas etc.) pero también hay que considerar otras actividades que puedan tener consecuencias (p.ej. impacto de un avión, pasaje de buques tanques o cisternas en las proximidades de la Central).

En general solo tendremos en cuenta aquellos eventos cuya ocurrencia pueda afectar a la Central de forma tal de provocar la liberación de material radiactivo al ambiente de magnitud tal que podría afectar al personal de operación y al público.

2- DESCRIPCION DE FUENTES POTENCIALES DE EVENTOS EXTERNOS INDUCIDOS POR EL HOMBRE

2.1 Consideraciones Generales

Las fuentes pueden ser clasificadas en dos amplias categorías:

- 1- Estacionarias: tal como plantas químicas, petroquímicas, gasoductos.
- 2- Móviles: tal como camiones o buques tanques, aviones en vuelo.

Es necesario también tener en cuenta que accidentes menores pueden dar lugar a efectos graves: p.ej. un fuego relativamente pequeño puede afectar las líneas de Alta Tensión que alimentan externamente a la Central.

En todo caso una vez identificado el evento que razonablemente pueda esperarse, deben encontrarse soluciones de ingeniería claras y satisfactorias. En el caso opuesto el lugar debería ser considerado como no aceptable.

2.2 Identificación de las fuentes potenciales

Consideraremos 5 grandes grupos de eventos

- 1- Choques de aviones
- 2- Explosiones
- 3- Descarga de fluídos peligrosos (explosivos, tóxicos y corrosivos).
- 4- Fuegos
- 5- Sabotaje, terrorismo, guerrilla.

Al estudiar el choque de aviones se debe tener en cuenta la ubicación de los aeropuertos, las cabeceras de pista de aterrizaje y despegue y los esquemas de espera. También deben tenerse en cuenta las rutas de tráfico aéreo.

Deben ser claramente identificadas las instalaciones para manejo, proceso y depósito de materiales peligrosos tal como, explosivos, tóxicos, inflamables y corrosivos. También en esta categoría están incluidas las instalaciones de transporte a distancia de productos peligrosos: gasoductos, oleoductos, etc.

Deben considerarse las actividades mineras dado que las mismas acumulan gran cantidad de explosivos y los mismos al actuar pueden causar endicamientos de las vías de agua o colapso del terreno.

El transporte por agua de sustancias peligrosas (explosivos, tóxicos, etc.) debe ser muy tenido en cuenta pues puede fácilmente dar lugar al bloqueo o deterioro de las tomas de agua (último suministro de calor).

Líneas ferroviarias o rutas son también el origen de eventos por el transporte de fluídos potencialmente peligrosos.

Debe también tenerse en cuenta la existencia de instalaciones militares en las cercanías dado que en las mismas se acumulan sustancias explosivas y eventualmente tóxicas. Puede haber también dentro de ellas polígonos de tiro.

2.3 Efectos producidos por las fuentes

Las fuentes listadas en 2.2 pueden dar lugar a p.ej. los siguientes efectos:

- 1- ondas de presión
- 2- impacto de proyectiles
- 3- calor (fuego)
- 4- humo y polvo
- 5- nubes de gas o polvo inflamable y/o explosivo
- 6- gases y líquidos tóxicos y/o corrosivos
- 7- sacudimientos de terrenos
- 8- inundación o falta de agua
- 9- falla de fundaciones o colapso

En las tablas siguientes damos las características de las fuentes, su origen y los principales efectos asociados.

I- IDENTIFICACION DE LA FUENTE, SUS CARACTERISTICAS Y EL EVENTO INICIANTE

FUENTE	CARACTERISTICAS	EVENTO INICIANTE
Refinería de petróleo, planta química, depósito de materiales tóxicos o inflamables, oleoductos, gasoductos, minería, bosques.	-Cantidad y naturaleza de las sustancias. -Flowsheet del proceso (se incluye materiales peligrosos) -Características meteorológicas y topográficas de la región. -Medidas de protección existentes en la instalación.	-Explosión -Fuego -Descarga de nubes inflamables explosivas tóxicas o corrosivas. -Falla de fundaciones o colapso.
Trenes, vehículos carreteros, barcos, barcazas, tanques, etc.	-Frecuencia de pasaje -Tipo y cantidad del material peligroso asociado con cada movimiento. -Características del vehículo incluyendo las medidas protectoras. -Características meteorológicas y topográficas de la región.	-Explosión -Fuego -Descarga de nubes inflamables, explosivas, tóxicas o corrosivas. -Inundación
Zona de aeropuerto	-Movimiento de aviones -Características de aproximación, despegue y aterrizaje -Tipo y características de los aviones -Tipo de carga	-Vuelo anormal dando lugar a impacto.
Corredores aéreos	-Frecuencia de vuelos -Tipos y características de los corredores aéreos	-Vuelo anormal dando lugar a impacto.

I- IDENTIFICACION DE LA FUENTE, SUS CARACTERISTICAS Y EL EVENTO INICIANTE (Continuación)

FUENTE	CARACTERISTICAS	EVENTO INICIANTE
Instalaciones militares	-Clase de actividades -Características de las actividades peligrosas -Cantidades de material peligroso acumulado.	-Eyección de proyectiles -Explosión -Fuego -Descarga de nubes inflamables, explosivas, tóxicas o corrosivas.
Saboteadores	-Historia y situación del país y de la región. -Antecedentes inmediatos y mediatos -Situación gremial y social.	-Explosión -Fuego

II - EVOLUCION DEL EVENTO INICIANTE Y SU IMPACTO EN LA PLANTA NUCLEAR

EVENTO INICIANTE	EVOLUCION DEL EVENTO	IMPACTO EN LA PLANTA DE CADA EVENTO (Ver tabla siguiente)
Explosión	-Onda de presión -Proyectiles -Nubes de humo, gas y polvo producidos en la explosión pueden dirigirse hacia la planta. -Llamas y fuegos asociados	(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)
Fuego	-Chispas pueden iniciar otros fuegos -Nubes de humo y gas de combustión pueden dirigirse hacia la planta -Calor (flujo térmico)	(3) (4) (5) (6)
Descarga de nubes inflamables, tóxicas, explosivas o corrosivas.	-La nube puede dirigirse hacia la planta y inflamarse o explotar fuera o dentro de la planta y/o penetrar por los conductos de ventilación (p.ej.a la sala de comando)	(1) (2) (3) (4) (5) (6)
Impacto de aviones	-Proyectiles (primarios o secundarios) -Fuego -Explosión tanques de combustible	(1) (2) (3) (4) (5) (6)
Colapso del terreno	-Interferencias con los sistemas de agua del reactor.	(7) (8) (9)

III - PARAMETROS DEL IMPACTO EN LA PLANTA NUCLEAR Y SUS CONSECUENCIAS

IMPACTO	PARAMETROS	CONSECUENCIAS
1) Onda de presión	-Sobrepresión y desplazamiento en función del tiempo	Colapso de partes de estructuras o rotura de sistemas y componentes
2) proyectiles	-Masa -Velocidad -Forma -Tamaño -Clase de material -Características estructurales -Angulo del impacto.	-Penetración, perforación de estructuras o rotura de sistemas y componentes. -Colapso de parte de estructuras sistemas y componentes.
3) Calor	-Flujo	-Rotura de sistemas o componentes -Ignición de combustible
4) Humo y polvo	-Composición -Concentración y cantidad en función del tiempo	-Bloqueo de los filtros de entrada -Colmatación de los filtros de salida -Habitabilidad de la sala de control y otras áreas importantes.
5) Gases explosivos e inflamables	-Concentración y cantidad en función del tiempo -Límite de inflamación -Ignición	-Permeabilidad de la planta y fuego o explosión dentro de la misma -Explosión o fuego en el lugar

III - PARAMETROS DEL IMPACTO EN LA PLANTA NUCLEAR Y SUS CONSECUENCIAS (Continuación)

IMPACTO	PARAMETROS	CONSECUENCIAS
6) Gases tóxicos y corrosivos	-Concentración y cantidad en función del tiempo -Límites tóxicos y corrosivos	-Permeabilidad de la planta -Habitabilidad de la sala de control y otras áreas afectadas -Corrosión y ruptura de sistemas y componentes.
7) Vibración del terreno	-Espectro de respuesta -Aceleración máxima horizontal y vertical	-Daños mecánicos
8) Inundación	-Nivel máximo de agua -Velocidad de impacto máximo del agua	-Daños a estructuras, componentes y sistemas
9) Subsidiencia (deslizamiento)	-Asentamiento, velocidad de asentamiento, desplazamiento diferencial	-Colapso de estructuras o rupturas de sistemas y componentes.

3- EVALUACION DE LAS FUENTES POTENCIALES

3.1 Evaluación preliminar

En todos los casos conviene hacer una primera evaluación para descartar instalaciones o eventos fuera de una distancia pre-establecida de "tamiz" (SDV-Screening Distance Value)

Para cada uno de los eventos a estudiar se establecerá un SDV adecuado para el mismo, el que se fija en forma puramente determinística.

3.2 Evaluación probabilística

Para aquellas instalaciones o eventos situados a una distancia menor que el SDV se debe efectuar un estudio más detallado, tratando de determinar un nuevo tamiz, pero para determinar la probabilidad de ocurrencia del evento. Se establece también un valor del tamiz (SPL Screening Probability Level) fijando o estableciendo un valor de probabilidad por debajo del cual el evento no se considera por ser altamente improbable.

3.3 Evaluación detallada

Todos aquellos eventos cuyo SDV es menor que el establecido y cuya SPL es mayor que la fijada deben evaluarse más en detalle tratando de derivar las posibles consecuencias sobre la Central y sus efectos sobre la seguridad y la liberación de material radiactivo a la atmósfera estableciéndose un "evento base de diseño" del cual surgirán las necesarias contramedidas a aplicar: p.ej. cambio de sitio, cambio de diseño, salvaguardias de ingeniería, medidas administrativas etc.

4- IMPACTO DE AVIONES

4.1 Introducción

Se debe efectuar una primera recopilación de información

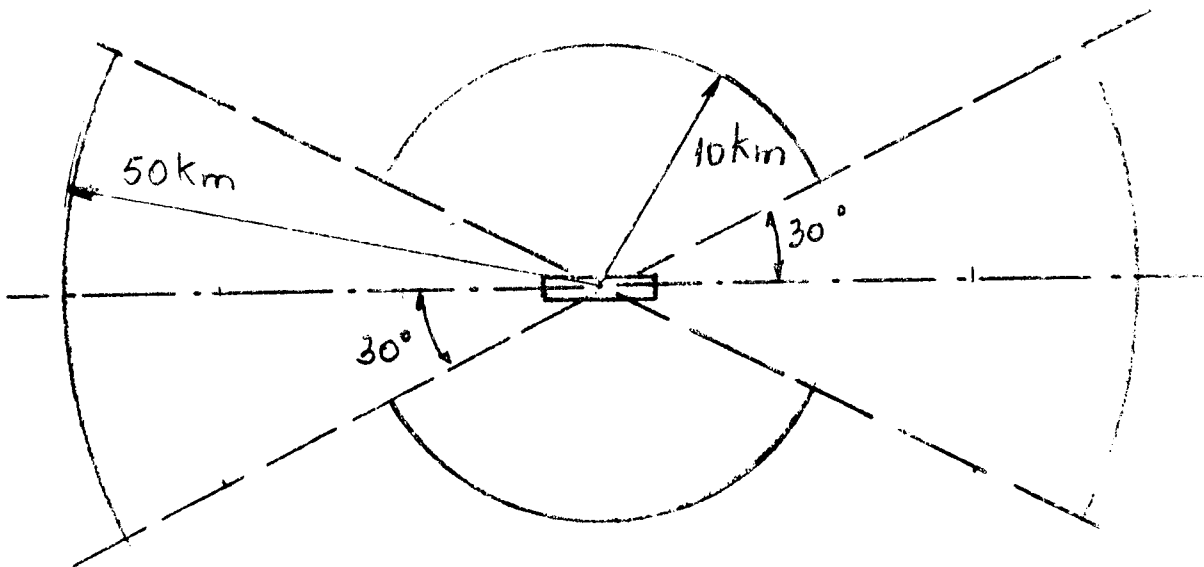
- distancia a los principales aeropuertos
- tipo de tráfico aéreo y número de movimientos
- corredores aéreos cercanos
- cruce entre rutas aéreas
- distancia de la planta a instalaciones militares como

- aeropuertos y polígonos de tiro.
- tipo de aeronaves.

4.2 Valor determinístico

Fijar un SDV y estudiar las instalaciones listadas en 4.1 y ver cuales de ellas pasan - no pasan el tamiz.

Para adoptar un SDV algunos países toman como criterio p.ej. no considerar aeropuertos, a más de 10 km de la instalación y que la misma no esté en línea con alguna pista o un determinado ángulo con el eje de la misma (p.ej. $\pm 30^\circ$) hasta una distancia mayor (p.ej. 50 km).



4.3 Valor probabilístico

En esta etapa se establece un SPL, que es también un tamiz pero para la probabilidad de ocurrencia de un impacto de avión sobre la Central o algún efecto secundario producido por la caída de un avión. La probabilidad de impacto es mayor en la vecindad de aeropuertos tanto civiles como militares y decrece fuertemente, en el caso de aviones civiles, con la distancia al aeropuerto y fuera de los corredores de tráfico aéreo. El caso de aviones militares es un poco diferente dado que los mismos no tienen en general un plan de vuelo siempre constante.

4.4 Evaluación detallada

Luego del tamiz efectuado en los puntos 4.2 y 4.3 se debe efectuar una evaluación más detallada de los aeródromos o corredores aéreos que no hubieran podido descartarse.

Se debe estudiar la probabilidad de impacto de diversos tipos de aviones (p.ej. carga o pasajeros civiles o militares, pequeños, medianos o grandes) basándose en estadísticas nacionales e internacionales (eventos por año por unidad de área). La información obtenida en 4.1 es utilizada para esta evaluación.

Las estadísticas de caída de aviones y sus consecuencias son normalmente mantenidas por organismos oficiales o especializados (p.ej. en EE.UU.: Annual Review of U.S. Air Carrier and General Aviation Accident, National Transportation Safety Board, o la Nuclear Regulatory Commission: NUREG-0533 y en la Argentina por la Fuerza Aérea).

Es necesario hacer hipótesis razonables sobre que impactos pueden dañar la Central: p.ej. un avión Cessna no puede dañar la isla nuclear, pero sí puede dañar a la playa de maniobras. En cambio un Boeing 707 ó 747 podría causar daños en la isla nuclear.

En general se considera la velocidad de aterrizaje entre 250 y 350 km/h y la parte más importante a tener en cuenta son las turbinas por ser la sección del avión con carga más condensada: las turbinas de un Boeing 747 pesan aproximadamente 6 T cada una.

No obstante estas consideraciones en Alemania evalúan también el impacto de un avión relativamente pequeño (militar) pero que transporta tanques de guerra y el cual ya ha sufrido más de 100 accidentes.

4.4.1 Características principales de los aviones de tipo grande (NUREG-0533)

	PESO MAXIMO T	PESO AL ATERRIZAR T	VELOCIDAD DE ATERRIZAJE km/h
B 707	120-160	99-120	270
B 747	310-360	240-290	280
DC 8	130-160	90-110	260
DC 10	210-260	170-190	250

4.4.2 Valores estadísticos de accidentes (NUREG-0533)

Accidentes, con por lo menos una muerte por accidente, por millón de operaciones de decolajes y aterrizajes en EE.UU.; 1956-1977 sobre un total de 172,6 millones de operaciones:

Decolaje	0,22 por millón de operaciones
Aterrizaje	0,49 por millón de operaciones

4.5 Impacto base de diseño

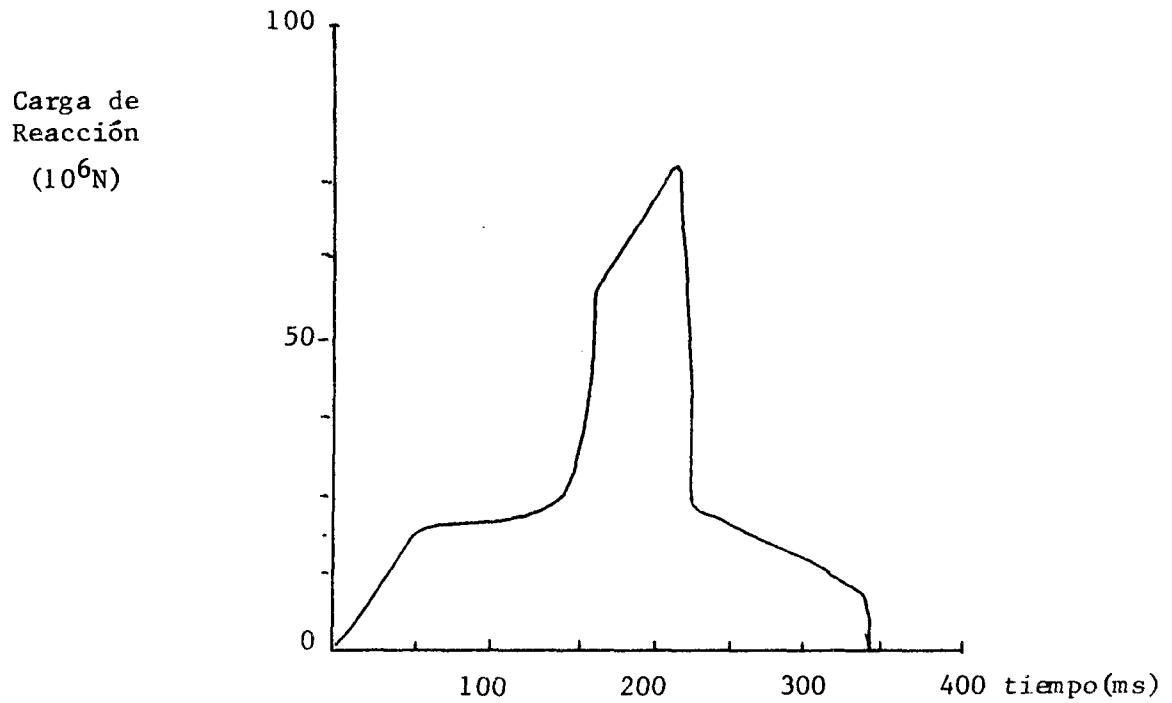
Para todos aquellos eventos de probabilidad elevada que se han evaluado en los párrafos anteriores, es necesario determinar un "impacto base de diseño" para poder diseñar la planta adecuadamente.

De todos los eventos posibles se seleccionarán aquellos que puedan producir un daño mayor (p.ej. el avión más pesado o el que aterriza a mayor velocidad) y determinar la "función temporal de carga" por el impacto directo del avión o de una de sus partes (p.ej. turbinas) y también la "función temporal de área".

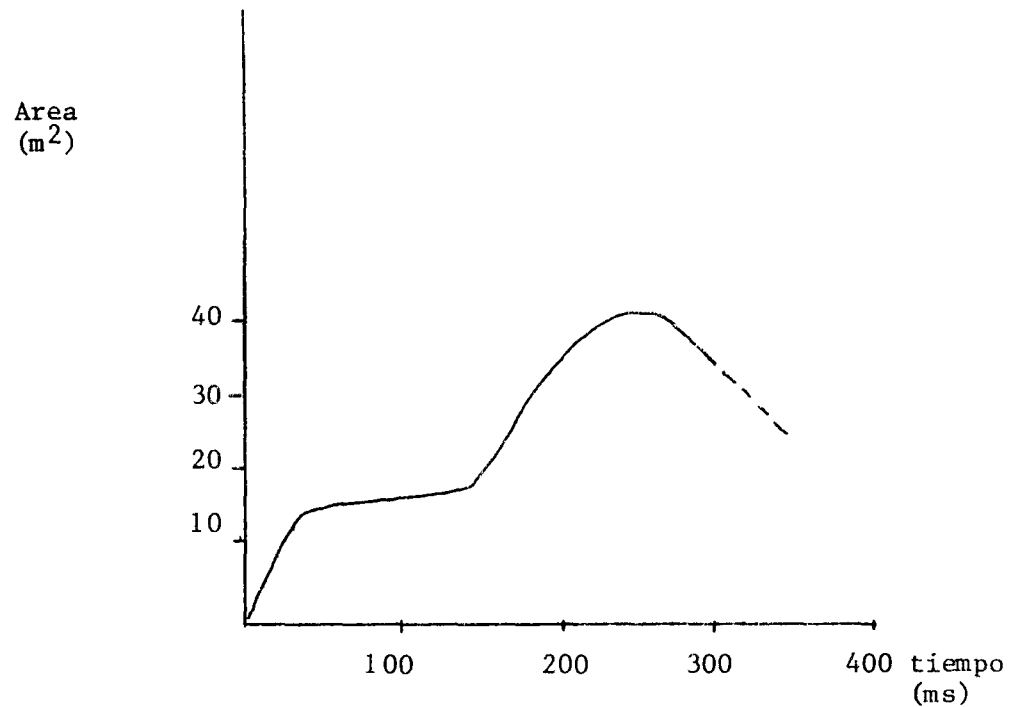
A continuación se dan varios ejemplos:

Boeing 707-320

Velocidad 100 m s^{-1} (360 km h^{-1})



FUNCION TEMPORAL DE CARGA



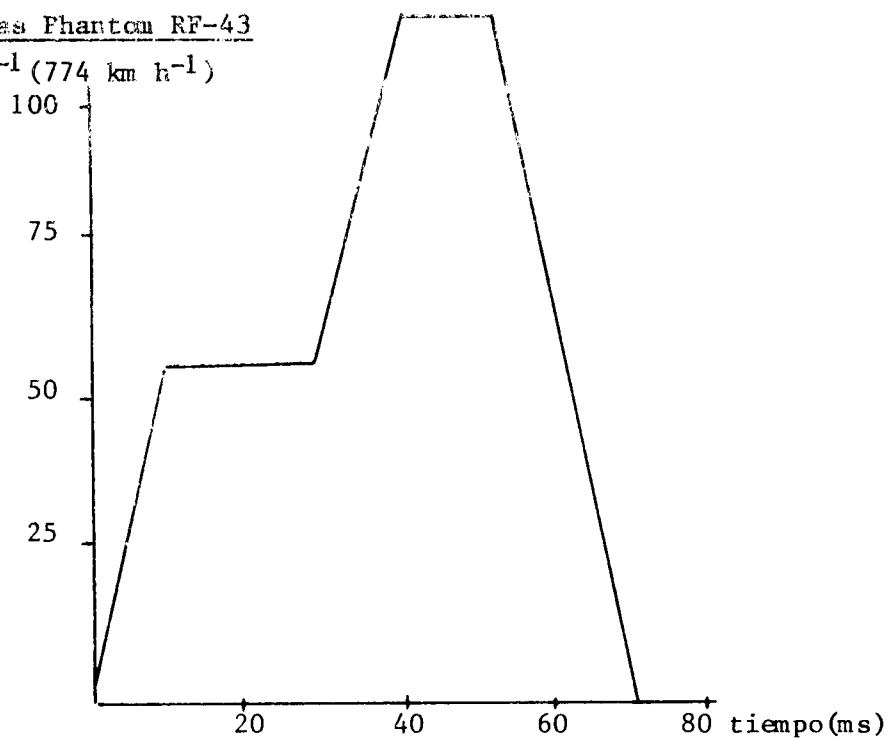
FUNCION TEMPORAL DE AREA DE IMPACTO

Mc Donnell Douglas Phantom RF-43

Velocidad: 215 ms^{-1} (774 km h^{-1})

Area de
Impacto: 7 m^2

Carga de
Reacción
(10^6 N)

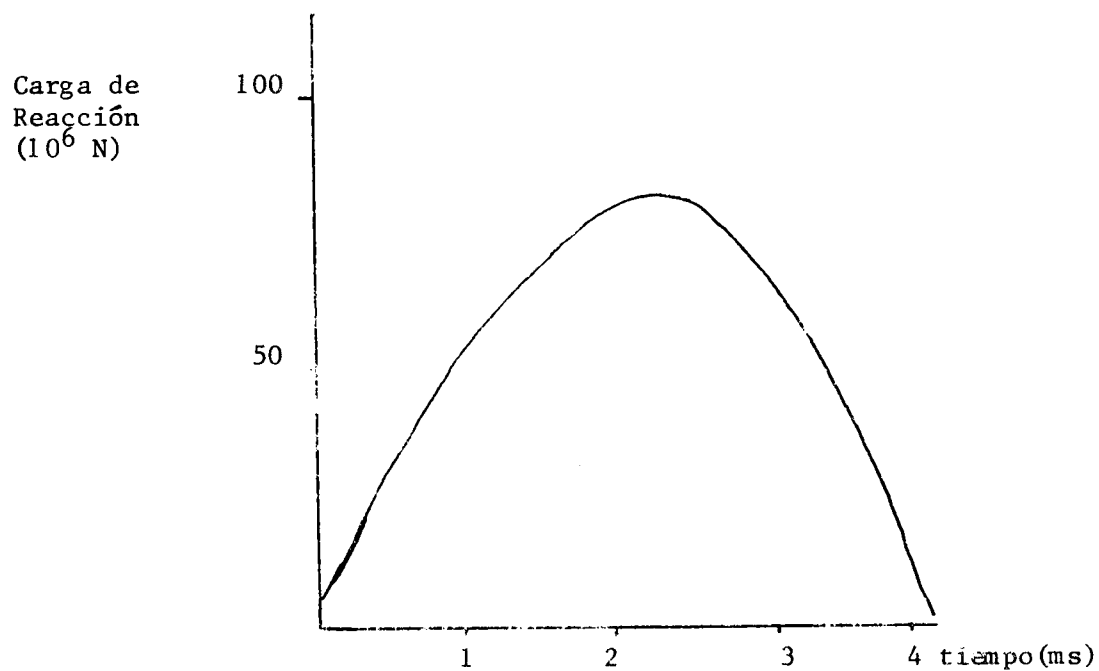


FUNCION TEMPORAL DE CARGA

Turbina de un avión Phantom R4

Velocidad: 100 ms^{-1} (360 km h^{-1})

Area de impacto $1,5 \text{ m}^2$



FUNCION TEMPORAL DE CARGA

4.6 Efectos secundarios

Debe tenerse en cuenta no solo la posibilidad de penetración en la estructura, sino también que el impacto provoque, sin perforar, salpicado (spalling) de concreto dentro de la estructura y también la propagación de ondas de choque.

4.7 Efectos de combustible

Siendo que la cantidad de combustible en un avión es considerable (sobre todo al despegar: ver en tablas de página 12 la diferencia de peso entre las columnas 2 y 3), es necesario tener en cuenta las consecuencias que pueden sobrevenir p.ej.:

Incendios fuera de la planta

Explosión

Entrada de productos de combustión(gases) en la planta afectando al personal o a los equipos.

Entrada del combustible a la planta dando lugar a incendios internos.

4.8 Ejemplos de cálculo probabilístico

4.8.1 Lugar: Central Nuclear Atucha

Ubicación: a 10 km de la ciudad de Lima y a 100 km al norte de Bs.As.

Area de impacto de seguridad: 100 m x 100 m

Aerodromos a considerar y distancias a la Central:

Aeroclub Zárate: 20 km

Aeroparque de la Ciudad de Bs.As.: 100 km

Aeroparque de Rosario: 400 km

Aeroparque de Ezeiza: 200 km

El movimiento de aviones se obtiene de los periódicos y se toma el período más desfavorable (Enero-Marzo).

Las siguientes fórmulas de cálculo son tomadas de un trabajo del Instituto de Seguridad de Reactores de Colonia, Alemania Federal: P_1 : probabilidad de caída de un avión (tipo turbo de más de 6 T) sobre una planta nuclear (de 100 m x 100 m), durante el despegue o el aterrizaje.

$$P_1 = d \frac{7,4 \times 10^{-9}}{2R - 1} e^{-0.983 R} \frac{\text{caídas}}{\text{números de vuelos}}$$

donde:

d = número de despegue + número de aterrizaje

R = distancia al aeropuerto en km (R = 1,5 km)

P_2 : probabilidad de caída de un avión (tipo turbo de más de 6 T), sobre una planta nuclear (de 100 m x 100 m: se toma el área de la planta que se considera puede afectar la seguridad, ver 3er.párrafo de la página 1, parágrafo 1), durante su vuelo en el corredor aéreo o en corredores de espera.

La probabilidad de caída de estos aviones en estas consideraciones es según las estadísticas.

$$2,5 \times 10^{-12} \frac{\text{caídas}}{\text{vuelo} \times \text{km}}$$

Para el caso de la planta nuclear de 100 m de sección (0,1 km) la probabilidad será:

$$P_2 = r \cdot 2,5 \cdot 10^{-13} \frac{\text{caídas}}{\text{sobrevuelos}}$$

donde:

r = número de sobrevuelos

P = $P_1 + P_2$ = probabilidad total

Para el caso de la Central Nuclear Atucha no consideramos la caída de aviones en despegue o aterrizaje porque el único aeropuerto cercano es el aeroclub Zárate con muy poco movimiento de aviones muy pequeños.

Para obtener P_2 :

Aeroparque de la ciudad de Buenos Aires: vuelos que salen hacia el N en promedio 120 salidas y llegadas diarias, 43.800 salidas y llegadas anuales.

$$P_2 = 43.800 \times 2,5 \times 10^{-13} \text{ año}^{-1}$$

$$P_2 \text{ Bs.As.} = 1,095 \times 10^{-8} \text{ año}^{-1}$$

Aeropuerto Nacional de Ezeiza: el movimiento no llega a 60 salidas y llegadas diarias hacia o desde el N.

$$P_2 \text{ Ezeiza} = 21.900 \times 2,5 \times 10^{-13} \text{ año}^{-1}$$

Aeropuerto de Rosario: todos los vuelos que salen o llegan del S están ya considerados en Aeroparque o Ezeiza.

$$P_2 = p = 1.095 \times 10^{-8} \text{ año}^{-1} + 0.548 \times 10^{-8} \text{ año}^{-1} = 1.643 \times 10^{-8} \text{ año}^{-1}$$

4.8.2 Lugar: CNEA Sede Central

Ubicación: a 2,5 km del aeroparque

Area de impacto: 100 x 100 m

$$P_1 = 65.700 \frac{7.4 \times 10^{-9}}{2R - 1} e^{-0.983 R} \frac{\text{caídas}}{\text{número de vuelos}}$$

$$P_1 = 2,65 \times 10^{-5} \cdot \frac{\text{caídas}}{\text{números de vuelos}}$$

El número de vuelos estimados (65.700) incluye los vuelos en todas direcciones, no solamente N como en el caso de la CNA, aproximadamente 180 salidas y llegadas diarias.

5 - EXPLOSIONES QUIMICAS

5.1 Introducción

Llamamos en general explosión a toda reacción química que puede causar un sustancial aumento de presión y que se produce en o cerca del lugar donde el explosivo está almacenado.

Una explosión puede tomar dos formas extremas existiendo toda una gama de casos intermedios: deflagración que genera presiones moderadas o detonación que genera muy altas presiones cerca del lugar de origen.

Una explosión está caracterizada por los siguientes parámetros:

- 1 - Velocidad de propagación de la llama o de la onda
- 2 - Forma de onda de presión
- 3 - Pico de presión
- 4 - Duración del pico de presión

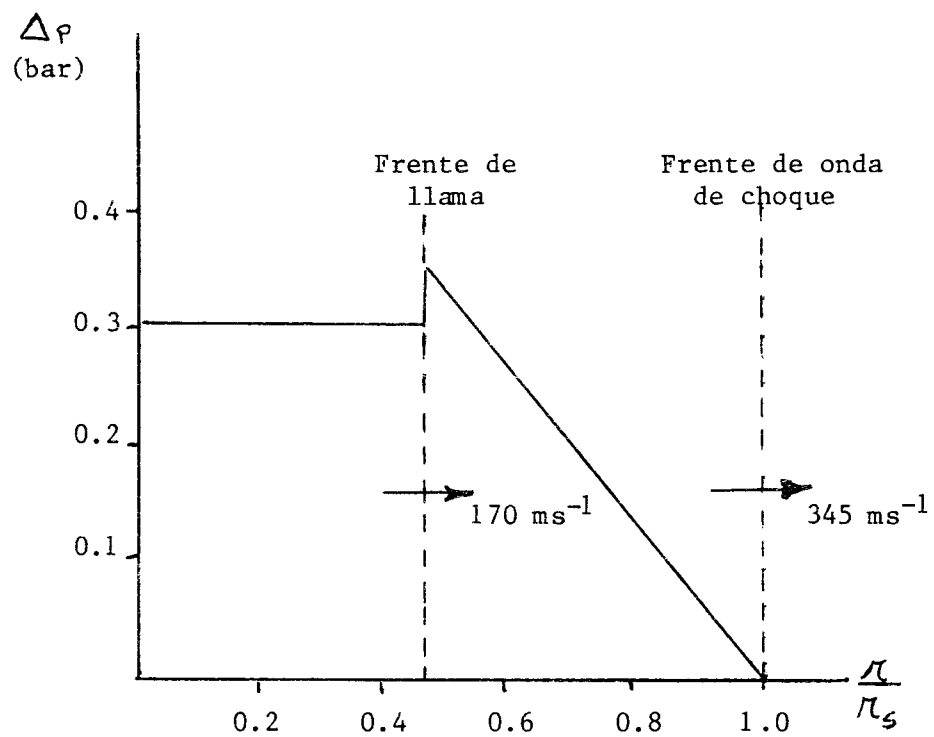
En una deflagración el gas se quema en una zona reactiva y la llama o la onda se propaga con una velocidad de algunas decenas de metros por segundo. La reacción química forma una onda de presión que se propaga con una velocidad cercana a la del sonido y crea sobrepresiones de hasta 0,3 bar (30 K Pa) y eventualmente superiores.

En una detonación por el contrario la reacción es mucho más violenta, se traslada a velocidades superiores a la del sonido y produce sobrepresiones muy superiores. Con explosivos tipo TNT p.ej. los picos de presión pueden ser de 1000 bars (100 MPa).

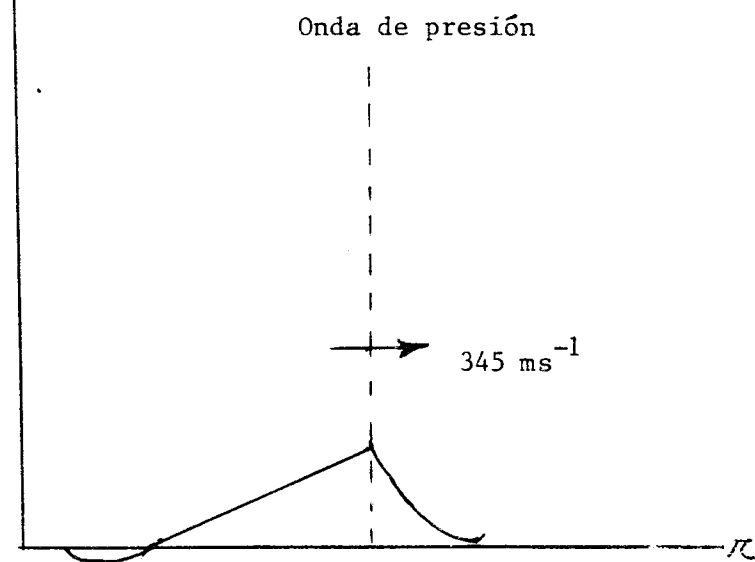
Una deflagración normalmente da como resultado un lento aumento de presión en el frente de onda, de larga duración y el pico de presión decrece lentamente con la distancia; en cambio una detonación da como resultado un rápido crecimiento de la presión con un pico mucho mayor pero de menor duración y que decrece muy rápidamente.

No necesariamente una detonación es más perjudicial que una deflagración, pues si bien en la primera la sobrepresión es menor su duración es mucho mayor.

Dentro de la nube de gas inflamable

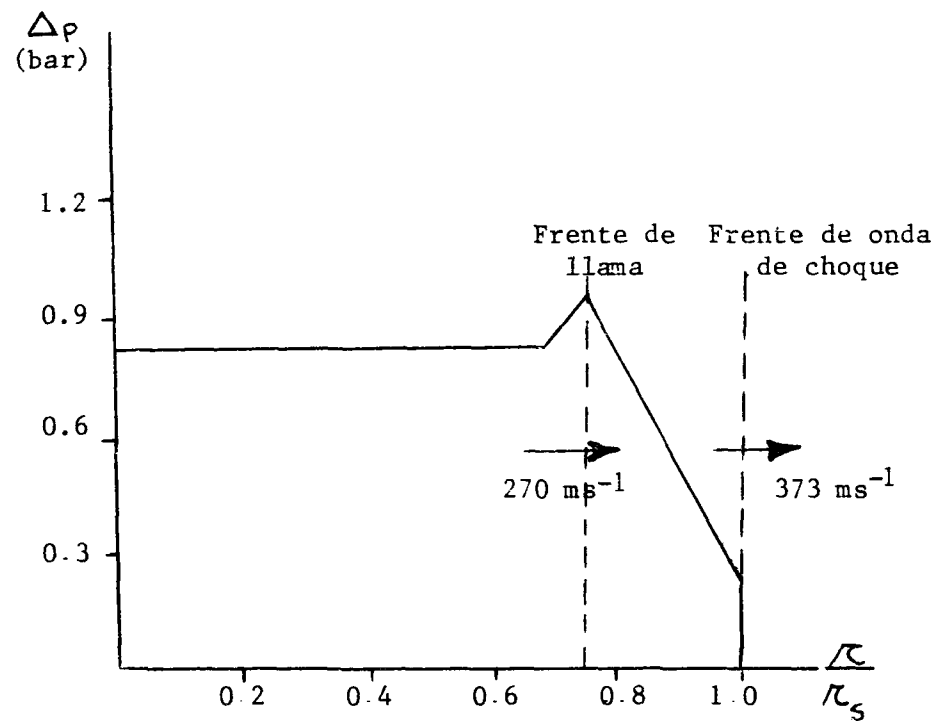


Fuera de la nube en el aire que la rodea

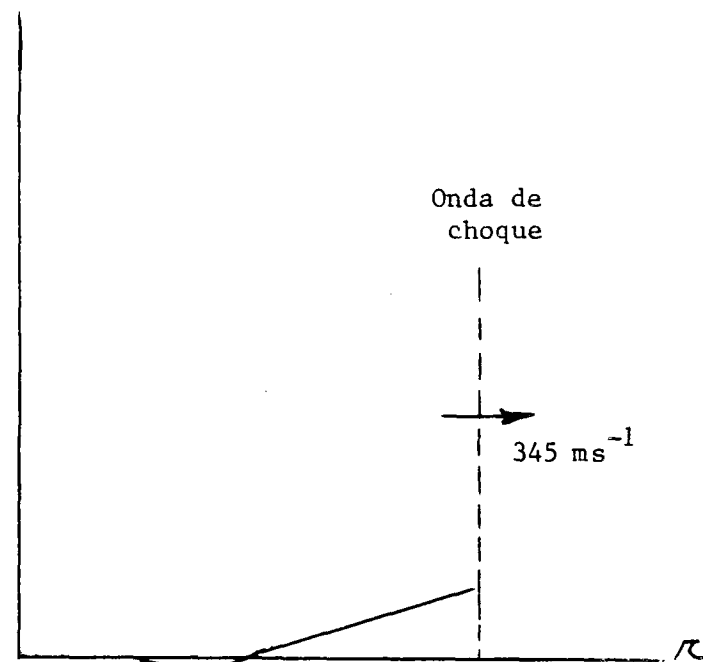


DEFLAGRACION LENTA

Dentro de la nube de gas inflamable

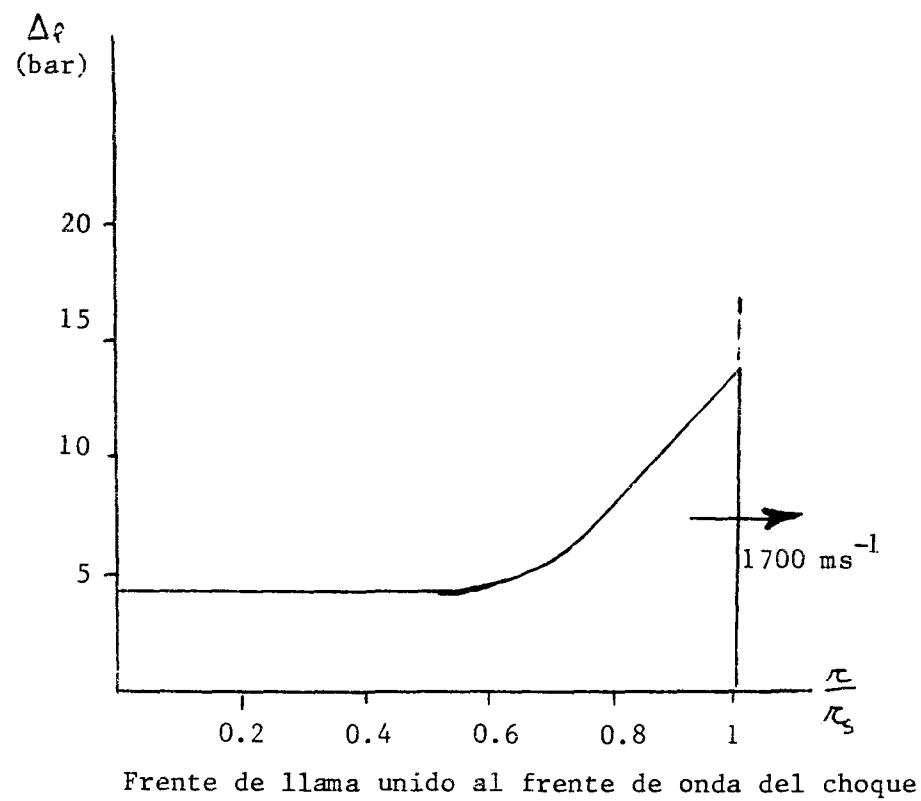


Fuera de la nube, en el aire que la rodea

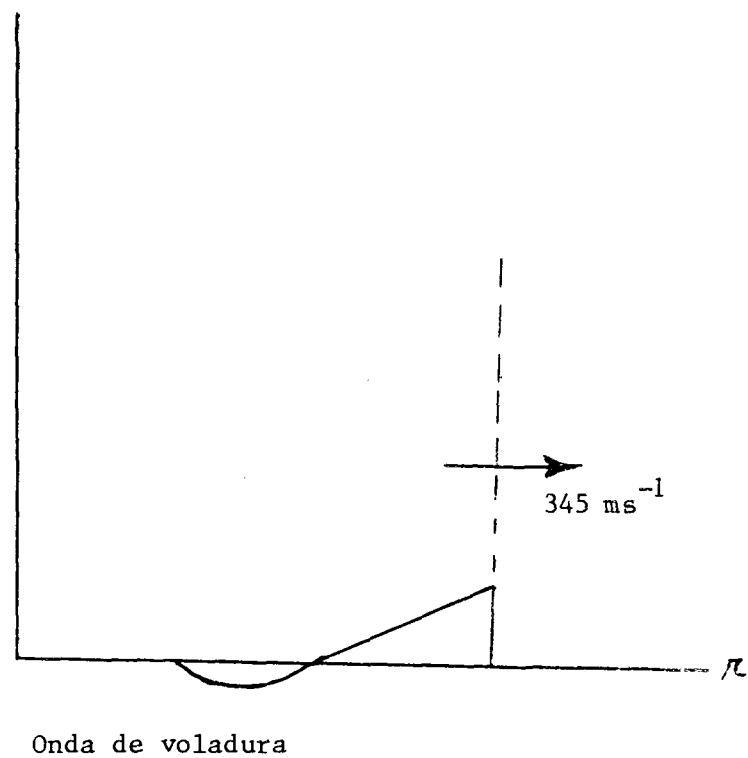


DEFLAGRACION RAPIDA

Dentro de la nube de gas inflamable



Fuera de la nube en el aire que la rodea



DETONACION

5.2 Identificación de las fuentes potenciales de explosión

¿Cuáles son las instalaciones que nos interesa evaluar?

Las dividimos en 2 clases:

- a- Fijas: plantas químicas, de explosivos, petroquímicas, depósitos y refinerías de petróleo, oleoductos, gasoductos.
- b- Móviles: rutas de transporte terrestre o por agua (camiones tanques, vagones cisternas, buques tanque, etc.)

En el caso de fuentes fijas, y según el tipo de fuentes, los accidentes son altamente probables y hay que suponer la hipótesis más pesimista, es decir que todo el contenido en proceso o depositado explota.

En el caso de fuentes móviles los principales problemas son las cargas por carretera, ferrocarril o barco; en este último caso, si bien una explosión puede no generar una onda explosiva que alcance a dañar la planta, su efecto puede dañar o inutilizar la toma de agua de refrigeración.

En el caso de oleoductos o gasoductos el problema no es debido a la onda de presión generada, sino al fuego producido y alimentado hasta la detección y cierre de las válvulas.

5.3 Evaluación preliminar

Se debe establecer una distancia "tamiz" (SDV), suficientemente conservativa, de forma tal de no considerar fuentes más distantes. Para instalaciones comunes, no de enorme magnitud, se considera 10 a 20 km como distancia segura aceptable.

5.4 Evaluación probabilística

En el caso de fuentes fijas ya se ha dicho que los accidentes son altamente probables por lo cual es necesario para todas aquellas instalaciones no descartadas según 5.3, hacer un análisis más detallado.

Para el caso de fuentes móviles se debe estudiar, con un análisis de la información existente: periódicos, revistas especializadas etc., la probabilidad de ocurrencia de una explosión en función del número de plantas existentes y además

la frecuencia del pasaje en las cercanías de la Central de los transportes considerados.

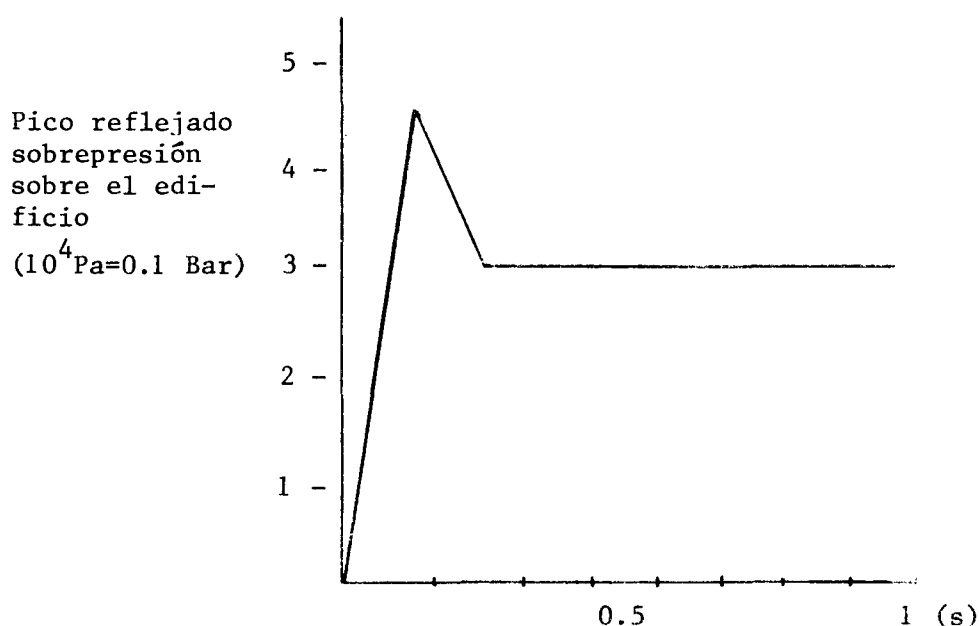
5.5 Evaluación detallada

Para todas aquellas instalaciones fijas a distancia menor del SDV y móviles a distancia menores del SDV y con probabilidad de ocurrencia del evento mayor del SPL se debe efectuar un análisis más detallado de sus características y se debe establecer una "explosión de diseño"

Se debe determinar:

- a- ubicación de la fuente
- b- lugar de la fuente más próxima a la planta nuclear (tener en cuenta topografía)
- c- tipo o tipos de materiales acumulados
- d- límites máximo y mínimo de flamabilidad (si es posible en función de la temperatura).
- e- máximo inventario de la planta.

Para todas estas plantas se determinará la "explosión de diseño", p.ej. la norma alemana RS I4-513 145/1 (13-IX-1976) da la forma de onda de sobre presión reflejada sobre los edificios de la isla nuclear.



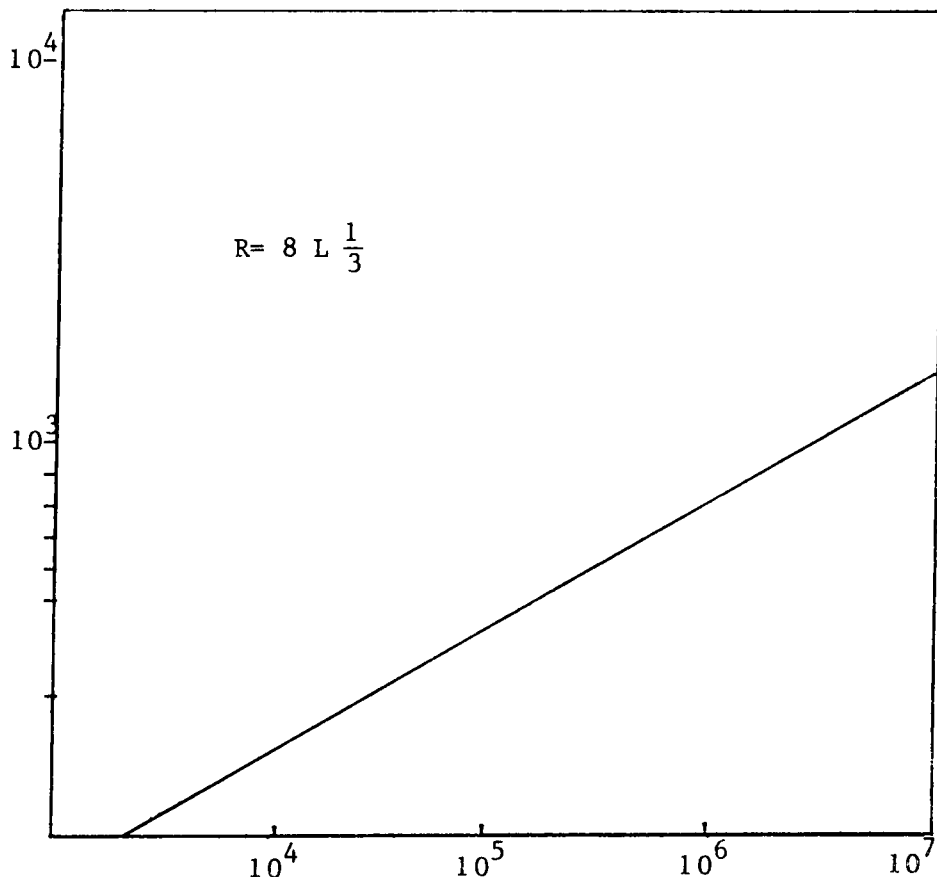
En cada caso hay que tratar de obtener o determinar el pico máximo de sobrepresión y proteger o diseñar la Central adecuadamente.

Un primer paso es comparar el pico de sobrepresión de explosión con otras sobrepresiones para las cuales ya fué diseñada la Central p.ej.: viento máximo o tornado de diseño, si estos son mayores la Central está consecuentemente protegida y si son menores será necesario cambiar el diseño.

Otra forma de proceder es establecer distancias seguras para cargas para las cuales las estructuras ya fueron calculadas: p.ej.: sobrepresión de 0,45 bar.

La curva que damos a continuación da las distancias seguras para esa sobrepresión, para diversas cargas expresadas en TNT equivalentes. (según norma de la República Federal Alemana)

Distancia desde la explosión (m)



L = masa equivalente de TNT (Kg)

LIMITES DE FLAMABILIDAD PARA HIDROCARBUROS COMUNES

$C H_4$ metano	5,0	15
$C_2 H_2$ acetileno	2,5	80
$C_2 H_4$ etileno	3,7	36
$C_2 H_6$ etano	3	13
$C_3 H_6$ propileno	2,4	11
$C_3 H_8$ propano	2,1	9,5
$C_4 H_8$ butileno	1,6	9,7
$C_4 H_{10}$ butano	1,8	8,5
$(C H_2)_5$ ciclopentano	1,5	
$C_5 H_{12}$ pentano	1,4	7,8
$(C H_2)_6$ ciclohexano	1,3	8,0
$C_6 H_{14}$ hexano	1,2	7,5

LIF: Límite inferior de flamabilidad (% volúmen de combustible en la mezcla)

LSF: Límite superior de flamabilidad (% volúmen de combustible en la mezcla).

6 - ESCAPE DE FLUIDOS PELIGROSOS (EXPLOSIVOS, TOXICOS, CORROSIVOS)

6.1 Introducción

Discutimos en esta sección los fluidos peligrosos (explosivos, corrosivos y tóxicos) que normalmente se encuentran confinados, pero que por algún accidente o falla de operación son dispersados pudiendo afectar las condiciones de seguridad de la Central.

Consideramos 2 casos típicos: derrame de líquidos y formación de nube (proveniente de gas confinado o licuado).

6.2 Derrame de líquidos

Debemos indentificar todas aquellas fuentes que procesan, manipulan, depositan o transportan líquidos inflamables, tóxicos o corrosivos. Fijaremos un tamiz (SDV) por distancia más allá de la cual descartaremos las instalaciones existentes. Usualmente tomaremos el mismo valor que hemos establecido para explosiones (5.3).

Para todas las fuentes no descartadas según el párrafo anterior debemos efectuar una evaluación más detallada donde determinaremos las siguientes características:

- a- Ubicación de la fuente
- b- Lugar de la fuente más próximo a la planta nuclear.
- c- Topografía del terreno (para verificar vías de posible acceso a la planta) (p.ej.canal de toma de agua)
- d- Máximo inventario de la planta
- e- Tipo o tipos de materiales acumulados o manipulado.
- f- Características químicas: toxicidad o corrosividad.

De esta forma se tratará de establecer un "accidente de diseño por derrame de líquido corrosivo o tóxico" y para caso se determinará la cantidad de líquido que podrá derramarse, sus características y su vía de ingreso a la planta debiendo para caso tomarse las medidas de ingeniería y/o administrativas para evitar la ocurrencia del accidente o para paliar sus efectos.

6.3 Nubes de gases y vapores inflamables, tóxicos o corrosivos.

6.3.1 Introducción

Una descarga de gases o vapores (provenientes de tanques de gases o gases licuados o líquidos volátiles) puede formar una nube y, dependiendo de las condiciones atmosféricas, dirigirse hacia la planta a la cual puede afectar en 2 formas:

- a- Si permanece exterior, y dependiendo de su composición, puede explotar y/o entrar en combustión. En ese caso vale todo lo que hemos dicho sobre explosiones químicas y sus características. Para el caso de nubes exteriores a la planta es evidente que la acción de nubes tóxicas o corrosivas es poco importante, no así las nubes explosivas.
- b- Si la nube penetra en la planta el problema es mucho más serio.
 - b₁- Si la nube es explosiva o combustiva es evidente que al producirse la ignición puede ocurrir el incendio o destrucción de equipos y verse afectado su personal
 - b₂- Si la nube es tóxica, el personal de operación puede verse afectado y disminuir sus condiciones psicofísicas.
 - b₃- Si la nube es corrosiva, puede afectar equipos y sistemas de seguridad y eventualmente al personal.

6.3.2 Evaluación preliminar

En este caso también debemos efectuar una primera selección con un tamiz adecuado (SDV). En general se puede decir que la mejor protección es la distancia, pero no obstante hay que tener muy en cuenta las condiciones atmosféricas dominantes en la región. Dado que se supone conocido el gas o vapor que puede llegar a producir el accidente, pueden colocarse en las entradas de aire de la planta detectores específicos para los mismos, los que a su vez accionan alarmas (visibles o sonoras) llegado a un determinado

límite y eventualmente pueden cerrar la toma de aire exterior (recirculación interna).

6.3.3 Evaluación Probabilística

Repetimos acá lo dicho en 5.4 con referencia a explosiones químicas o sea: para fuentes fijas es necesario hacer un análisis más detallado y para fuentes móviles se estudiará la probabilidad de ocurrencia del accidente y la frecuencia de pasaje de cargas en las cercanías de la Central.

6.3.4 Evaluación detallada.

Para todos aquellos casos no descartados debemos efectuar un análisis más profundo determinando características tales como:

- a- ubicación de la fuente
- b- lugar de la fuente más próximo a la planta nuclear
- c- tipo o tipos de los materiales acumulados
- d- características químicas: límites de flamabilidad, toxicidad, corrosión.
- e- máximo inventario de la planta
- f- condiciones atmosféricas promedio
- g- dilución debida a la dispersión atmosférica.

Con estos datos se establece el "accidente base de diseño" en base al cual se protegerá la planta por medidas de ingeniería y/o administrativas.

Por ejemplo se puede dar las masas de material tóxico como el Cloro, que requieren consideración, en función de la distancia indicada.

Distancia (km)	0.5	1.0	1.5	4.0	8.0
Peso (t)	0.004	0.18	0.40	6.00	30.00

Con esas masas y a esas distancias las concentraciones son del orden de 50 mg/m^3 , la cual que es considerada letal para un tiempo de inhalación (para el Cl) de 10 hs. Para otras sustancias tóxicas las masas serán inversamente proporcionales a los límites de toxicidad en relación al

del Cl.

En todos los casos habrá que determinar el índice de toxicidad (o flamabilidad) y dadas las condiciones atmosféricas y supuesta categoría F de Pasquill determinar la pluma y la dilución correspondiente por el método habitual.

7 - FUEGO

Es necesario tener en cuenta también fuegos iniciados externamente a la Central: p.ej. en campos cercanos, derrame de combustible en las cercanías (camión o barco tanque en la toma de agua).

Un fuego externo a la Central puede afectar a la misma de varias formas:

- a- transmisión del fuego al interior de la Central dañando equipos
- b- corte en las líneas de alimentación externa
- c- humo penetrando por los conductos de ventilación afectando a los operadores.
- d- interrupción por un gran fuego de las entradas y salidas de la Central.
- e- flujo calórico hacia la Central
- f- líquido en combustión en el río que penetre a la sala de bombas.

8 - SABOTAJE. TERRORISMO. GUERRILLA

8.1 Introducción

No consideramos el caso de estado de guerra (con otros países o interno) porque en este caso los medios al alcance son totalmente distintos (y se puede llegar a la detonación de un arma nuclear sobre la Central).

Estos actos (sabotaje, terrorismo, guerrilla) solo nos interesan si pueden dar lugar a descargas a la atmósfera de material radiactivo que afecten al personal de la Central o al público: o sea solo consideramos aquellos actos que efectuados por individuos (de fuera o de dentro de la Central) causen daño a la Planta, equipos, o al personal y provoquen liberación a la atmósfera.

Se considera en general que una planta no es más

susceptible que una planta convencional y en algunos aspectos es menos, dado que un gran número de componentes relacionados con la seguridad se encuentran confinados dentro del contenedor el cual es de muy difícil acceso, restringido y controlado.

Se han efectuado diversos estudios y estadísticas sobre sabotaje en plantas de generación de Energía Eléctrica y se concluye en general que la mayor parte de los mismos fueron efectuados en instalaciones exteriores a las mismas: líneas de transmisión, aisladores, transformadores, interruptores, etc. Un punto débil tanto en las instalaciones convencionales como en las nucleares es las tomas de entrada de agua de refrigeración.

8.2 Caracterización de los saboteadores

En general se pueden considerar los siguientes tipos específicos:

- 1- Actos de venganza de personal de la planta (p.ej. en momentos de huelga), probablemente familiarizado con la planta pero no con los métodos de sabotaje.
- 2- Individuos fanáticos o mentalmente perturbados con motivaciones muy intensas (aun llegando a la autodestrucción). Su nivel de conocimientos (de la planta y de los métodos de sabotaje) muy difíciles de conocer pero probablemente bajo.
- 3- Acción de extremistas: a (internos) pueden estar infiltrados entre el personal de la planta, en cuyo caso serían peligrosos por estar probablemente entrenados en el manejo de explosivos y conocer la planta; b (externos) sus acciones son limitadas según veremos más adelante.
- 4- Turbas durante épocas de revuelta social, son externos a la planta y seguramente sin conocimientos de la misma ni del manejo de explosivos.
- 5- Agentes foráneos: probablemente bien entrenados en el conocimiento de la planta y el uso de explosivos.

En general podemos asegurar que salvo en los tipos 2 y 5 no hay intención de dañar el público (liberación de material radiactivo a la atmósfera) pero en todo caso (para el tipo 5) hay medios mucho más eficaces, efectivos y sin tanto riesgo como p.ej. colocar material bacteriológico en los sis-

temas de aguas públicas con los cuales se inflige un daño mucho mayor y con menor riesgo para el saboteador.

8.3 Autoprotección de las Plantas Nucleares

En general las plantas nucleares están inherentemente diseñadas en forma tal de hacer muy dificultosa la acción de los saboteadores, además todos los sistemas relacionados con la seguridad son redundantes y se encuentran en zonas rodeadas de blindajes masivos y de muy difícil o imposible acceso, y es necesario que él (los) saboteador (es) coloquen más de un explosivo al mismo tiempo para realmente dañar los sistemas de parada, de refrigeración de emergencia y otros sistemas que puedan afectar a la seguridad.

Por otra parte debemos considerar que es necesario introducir los explosivos dentro de la Central lo cual se hace muy dificultoso por las normas de control y verificación de personal que se efectúa por razones no necesariamente vinculadas con el sabotaje y como hemos mencionado antes para afectar la seguridad nuclear es necesario llevar parte de los explosivos dentro de la zona controlada.

Un tercer punto que hace más difícil la acción de los saboteadores es que es necesario un conocimiento muy íntimo de la Central para poder realmente dañar partes clave de la misma.

Además todos los sistemas de seguridad de cada central son analizados y estudiados exhaustivamente (Informe preliminar (final) de seguridad, Análisis de Riesgos) y un espectro muy amplio de accidentes es analizado incluyendo algunos accidentes tan improbables que puede cuestionarse su credibilidad. En consecuencia los accidentes inducidos por sabotaje no podrían ser más serios que esos accidentes rutinarios considerados y para los cuales la planta está inherentemente protegida. Esto no quiere decir, no obstante, que un grupo de saboteadores no podría producir en la planta y al mismo tiempo, daños en diversos lugares que dieran lugar a consecuencias graves.

8.4 Conclusiones

i - No hay antecedentes en la literatura que indiquen un acto

de sabotaje que haya dado lugar a problemas de seguridad nuclear (liberación).

- 2- Las medidas de seguridad física de la planta, si bien no garantizan inmunidad absoluta, disminuyen sustancialmente las posibilidades para los saboteadores de acceder a parte vitales de la planta y/o el ingreso de explosivos.
- 3- Es necesario un conocimiento muy íntimo de la planta para producir un daño realmente importante.
- 4- Los sistemas de protección y las características de ingeniería hacen muy difícil provocar un accidente mayor que los llamados base de diseño.
- 5- No obstante se deben intensificar y enfatizar las medidas de protección física y el control de ingreso y movimiento de personal entre las diversas áreas.
- 6- También es recomendable el control psíquico de todo el personal y el estudio detallado de todos sus antecedentes.