

CNEA-AC 12/82

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación
CENTRAL NUCLEAR EN ATUCHA

DESCÁRGAS ATMOSFERICAS DE
MATERIALES RADIATIVOS

Ing. O. AGATIELLO

DISPERSION ATMOSFERICA. INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES METEOROLOGICAS

La difusión del material eliminado por la chimenea depende de las condiciones atmosféricas reinantes para una altura dada de chimenea y un cierto caudal de emisión Q (Ci/seg).

La figura 1 muestra la influencia del perfil de temperatura en la difusión del material eliminado. Así se ve (figura 1b) que los gases, suponiendo un enfriamiento o calentamiento adiabático, (línea punteada) encuentran el perfil de temperatura real de la atmósfera (línea entera), en la boca de la chimenea (punto P). Debido a la energía cinética que traen los gases y por influencia del viento se elevarán, adiabáticamente, de P a P' donde tendrán una temperatura T' mayor que la de la masa atmosférica que los circunda T_0 , por lo tanto, tendrán tendencia a ascender.

En función del gradiente de temperatura con la distancia a la chimenea, en la dirección del viento, se tienen las condiciones de estabilidad según:

Rate de Temperatura (°C/100m)	Condición
$T \geq 1,5$ $1,5 > \Delta T > -0,5$	<u>Estable o Inversión</u> Muy estable Moderadamente estable
$-0,5 > \Delta T > -1,5$ $-1,5 > \Delta T$	<u>Lapse</u> Neutral Inestable

Existen varias fórmulas que permiten evaluar la concentración de material radioactivo a distintas distancias de la chimenea. Se efectúa una breve descripción de las mismas, indicándose su campo de aplicación.

I - FORMULA DE SUTTON.

La expresión más empleada para el cálculo de la concentración en función de los parámetros meteorológicos es:

$$Co(x) = \frac{2Q}{\pi \bar{u} C_y \cdot C_z x^{(2-n)}} \cdot e^{-\frac{h^2}{C_z^2 \cdot x^{(2-n)}}} \quad (1)$$

donde:

- $Co(x)$: concentración en Ci/m³ a nivel del suelo a x metros de la chimenea en dirección del viento.
- Q : tasa de emisión de material radioactivo en Ci/seg.
- $\bar{u}$: velocidad media del viento en (m/seg).
- C_y, C_z : coeficientes de difusión de Sutton n, según "y" y "z" respectivamente (m²).
- n : parámetro de estabilidad o parámetro de lapse según tabla 1.
- h : altura de la chimenea (m)

Los parámetros n, C_y , C_z no son constantes, varían de acuerdo a las condiciones del tiempo y el terreno y deben ser determinadas experimentalmente para cada localidad en particular. Para Atucha no han sido determinados aún, tomándose normalmente a los efectos de evaluación los citados por la bibliografía (tabla 1). Para calcularlos a partir de valores experimentales se aplican las expresiones (2), (3) y (4),

$$C_y^2 = \frac{\nu \cdot n}{(1-n)(2-n) \bar{v}^n} \operatorname{tg} \sigma_h \quad (2)$$

$$C_z^2 = \frac{\nu \cdot n}{(1-n)(2-n) \bar{v}^n} \operatorname{tg} \sigma_v \quad (3)$$

$$\bar{v}(z) = v_1(z_1) \left(\frac{z}{z_1}\right)^{\left(\frac{n}{2-n}\right)} \quad (4)$$

donde:

- ν : es la viscosidad cinemática de la atmósfera.
- $\bar{v}_1$: velocidad del viento a la altura z_1
- $\bar{v}_2$: velocidad del viento a la altura z_2
- σ_h : desviación standard de la dirección del viento en el plano vertical.
- σ_v : desviación standard de la dirección del viento en el plano horizontal.

Si se representa la (1) para valores fijos de h , C_y , C_z y n , se obtienen curvas en función de la velocidad de viento (Fig. 2). Derivando la (1) e igualando a cero puede encontrarse el máximo de concentración.

$$\chi_{\text{máx.}} = \frac{2Q}{\pi e \bar{v} h^2} \frac{C_z}{C_y} = \frac{0,23 Q}{\bar{v} h^2} \cdot \frac{C_z}{C_y} \left[\text{Ci/m}^3 \right] \quad (5)$$

y la distancia a que ésta se produce:

$$\chi_{\text{máx.}} = \left(\frac{h}{C_z}\right)^{2/(2-n)} \quad (6)$$

La fórmula de Sutton posee las siguientes restricciones:

- a) Sirve para cortos tiempos de emisión (3 minutos).
Esto es porque los valores experimentales de la fórmula fueron tomados para cortos intervalos.
- b) Se supone que el viento sopla en una sola dirección, dando valores pesimistas, pues la variación en la dirección del viento disminuye la concentración.
- c) No es recomendable para condiciones de fuerte inversión.
- d) Se requiere instrumentación meteorológica "on line" para procesar un programa con la fórmula en caso de accidente.

II - CURVAS DE SCORER Y BARNETT (Fig. 3)

Se ha trazado experimentalmente la concentración promedio a lo largo de años a distintas distancias de la chimenea. Resultan prácticas para hacer estimaciones rápidas de emisiones continuas.

En estas curvas se supone que el viento sopla con igual frecuencia desde todas las direcciones. Si el viento sopla $n\%$ del tiempo desde un octante, el valor de la concentración para esa dirección del viento debe ser multiplicada por $\frac{8n}{100}$.

El valor H de la curva, es la altura efectiva de la pluma, ($H=h+h'$) siendo h la altura de la chimenea y h' el incremento de altura debido a la temperatura del gas de salida en el caso que tenga temperatura distinta a la de la atmósfera:

$$h' = \frac{28 V}{\bar{v}} \left(1 - \frac{T_o}{T}\right) = (H-h)$$

siendo:

$$V : \text{caudal de salida } [m^3/s]$$

$\bar{v}$: velocidad media del viento [m/s]
To : temperatura de la atmósfera [°K]
T : temperatura del gas [°K]

III - FORMULA DE PASQUILL

La estimación puede hacerse con elementos más rudimentarios como ser:

- a) Velocidad de viento en la superficie del terreno $\bar{v}$ [m/seg].
- b) Características diurnas cualitativas (sol fuerte, moderado ó débil). Cielo fuertemente cubierto (válido también para la noche).
- c) Características nocturnas de nubosidad. La clasificación puede verse en la tabla 2.

La expresión de Pasquill que da la concentración de material radioactivo a nivel del suelo está dada por:

$$X_{x,0} = \frac{168Q}{\bar{v}_x H \theta} \quad [\text{Ci/m}^3] \quad (7)$$

donde:

Q : actividad emitida por chimenea en [Ci/seg]
 $\bar{v}$: velocidad del viento en [m/seg]
x : distancia en la dirección del viento en [m]
H : altura de la pluma a la distancia x [m]
 θ : ángulo horizontal abarcado por la pluma a la distancia x (grados).

En la figura 4 se dan los valores de H en función de la distancia, teniéndose como parámetro la categoría del tiempo.

En la tabla 3, también en función de la categoría y la distancia se tiene θ .

IV - FORMULA DE HOLLAND PARA FUMIGACION (Fig. 5).

Este fenómeno es tan errático que sólo pueden tenerse valores aproximados:

$$X_{x,o} = \frac{Q}{\pi^{1/2} C_y \sqrt{H x}^{(2-n)/2}} \text{ (Ci/m}^3\text{)} \quad (8)$$

Suele utilizarse el valor aproximado:

$$C_o(x) = \frac{10 Q}{\sqrt{H x}} \quad (9)$$

donde H es la altura de la pluma en metros que se toma igual a la altura de la base de fumigación.

V - ECUACION DE DIFUSION CON COEFICIENTES BASADOS EN LOS CRITERIOS DE PASQUILL.

SAUTER, E. en "Grundlagen des Strahlenschutzes" (Siemens AG) calcula las concentraciones en base a la expresión:

$$C_o(x) = \frac{Q}{\pi \sqrt{\sigma_y} \sigma_z} \cdot e^{-\frac{h^2}{2 \sigma_z^2}} \quad (10)$$

ecuación similar a la (1) de Sutton, pero los coeficientes σ_y , σ_z son función de la distancia a chimenea y la categoría de la atmósfera, dada según los criterios de Pasquill. En la figura 6 se muestran las curvas de σ_y y σ_z .

Dado que la firma Siemens ha realizado los cálculos para la CNA con el mismo método, se han trazado las curvas normalizadas ($Q = 1 \text{ Ci/seg}$, $\bar{v} = 1 \text{ m/seg}$) para la altura de chimenea de la CNA ($h = 40\text{m}$). De esta forma, para una estimación rápida de la concentración a una distancia x , y en la dirección del viento, bastará con multiplicar el valor hallado de $Co_{(x)}$ por la tasa de emisión Q y dividir por la velocidad real del viento $\bar{v}$.

IRRADIACION EXTERNA, INHALACION Y CONTAMINACION DE LA SUPERFICIE TERRESTRE COMO FUENTES DE IRRADIACION Y CONTAMINACION

Cuando una masa turbulenta de aire fluye sobre un terreno, las partículas suspendidas en el mismo impactan sobre la superficie. La eficiencia de impactación se define como la relación de partículas depositadas en la superficie respecto de las que originalmente se encontraban en el aire. (fig.8)

$$v_g = \frac{D}{C}$$

Siendo v_g = velocidad de deposición por impactación (cm/seg)

D = deposición sobre la superficie ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^2 \times \text{seg}$)

C = concentración volumétrica del aire encima de la superficie ($\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$).

La deposición por impactación será entonces $D = C_{(x)} \cdot v_g$ donde el valor de v_g se ha determinado experimentalmente según Chamberlain:

Superficie	v_g (m/seg)	v_g (cm/seg)
Placas planas	2,3	1,17
I 131	1,15	0,67
vapor	0,38	0,42
Sobre pasto promedio	promedio	2,5
Aerosoles y productos de fisión	promedio	0,1

y la actividad total depositada será:

$$A_D(\mu\text{Ci}) = C_{o(x)}(\mu\text{Ci}/\text{cm}^3) \times g(\text{cm}/\text{seg}) \times S(\text{cm}^2) \times t(\text{seg})$$

Así entonces, las concentraciones de actividad en el aire y en las superficies, van a ocasionar una cierta carga corporal por inhalación e ingestión siguiendo el mecanismo que muestra la figura 9 donde:

C: concentración del radionucleído en el alimento crítico.
($\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$)

I: ingestión diaria del alimento crítico ($\text{cm}^3/\text{día}$)

f_w : fracción de la actividad ingerida que va al órgano crítico

$P = C.I.f_w$: tasa de entrada de actividad al órgano crítico
($\mu\text{Ci}/\text{día}$)

$Q(t)$: cantidad de actividad en el cuerpo (carga corporal)

$f_2(t)$: fracción de la actividad existente en el cuerpo que se encuentra en el órgano crítico.

λ : constante de decaimiento efectiva del radionucleído analizado (día^{-1}).

t: tiempo de exposición del órgano crítico.
(normalmente se toman 50 años).

Por lo tanto si:

$$\frac{d(q \cdot f_2)}{dt} = p - \lambda q \cdot f_2 = C.I.f_w - \lambda \cdot q \cdot f_2$$

$$q \cdot f_2 = \frac{C.I.f_w}{\lambda} \cdot (1 - e^{-\lambda t})$$

teniendo entonces como Carga Corporal Máxima Permisible aquella cantidad máxima de actividad en el órgano crítico durante el tiempo de exposición t, que va a ocasionar una Dosis Máxima Permisible Anual por Incorporación. La Incorporación Máxima diaria será:

$$C \times I \approx \frac{\lambda \cdot q \cdot f_2}{f_w} \quad (\mu\text{Ci/día})$$

Así por ejemplo, adoptando I^{131} para el público
-órgano crítico: tiroide niños (masa = 2g)

$$\lambda = 0,1 \frac{1}{\text{día}} ; q = 7 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}; f_2 = 0,2; f_w = 0,3$$

$$C \times I = 0,17 \mu\text{Ci/año}$$

Considerando que el consumo de leche promedio $I=0,7$ l/día,
velocidad deposición por impactación $v_g = 2,5 \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$.

Una deposición de $1 \mu\text{Ci/cm}^2$ equivale, en equili-
brio, a una concentración de I-131 en leche de $0,2 \mu\text{Ci/litro}$,
tendremos una Concentración Máxima Permisible en aire:

$$[Co_{(x)}^{MP}]_a$$

$$0,17 \mu\text{Ci/año} \leq [Co_{(x)}^{MP}]_a \left(\frac{\mu\text{Ci}}{\text{cm}^2} \right) \times 2,5 \left(\frac{\text{cm}}{\text{seg}} \right) \times \frac{0,2 \frac{\mu\text{Ci}}{\text{lt}}}{1 \frac{\mu\text{Ci}}{\text{m}^2 \text{ día}}} \times 3,15 \times 10^7 \frac{\text{seg}}{\text{año}} \times$$

$$\times 10^4 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2} \times \frac{\text{año}}{365 \text{ día}}$$

De donde resulta, para I^{131}

$$\boxed{[Co_{(x)}^{MP}]_a = 1,4 \times 10^{-12} \mu\text{Ci/cm}^3}$$

CUOTAS DE EMISION MAXIMA PERMISIBLE.

Se debe tener en cuenta el efecto combinado de los distintos radionucleidos sobre el órgano que resulte crítico por la superposición de los efectos debido a cada uno de ellos.

Un criterio sería que:
$$1 > \left[\frac{\gamma}{0,5} + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{MPC_i} \right]$$

Siendo C_i las concentraciones promedio anuales de los radionucleidos emitidos y γ es la dosis γ externa promedio anual. Este criterio es muy restrictivo pues involucra varios órganos críticos. Suponiendo efluentes gaseosos la CMP para I^{131} será considerando tiroides, la CMP para gases nobles será considerando todo cuerpo y pulmón, y la CMP para H^3 será considerando tejido acuoso (todo el cuerpo).

Otro criterio más realista sería adoptar el órgano crítico más restrictivo y considerar que los otros radionucleidos contribuyen a la dosis de ese órgano. Por ejemplo adoptamos tiroides y consideramos, además del I^{131} , que el H^3 y gases nobles contribuyen:

$$\frac{C_a}{MPC_a} + \frac{C_b}{MPC_a'} + \frac{C_c}{MPC_a'} + \frac{C_d}{MPC_a'} + \frac{\gamma}{3} \leq 1$$

Con el valor del MPC_i y la C_x para distintas condiciones meteorológicas se determinan las velocidades o cuotas de emisión máximas permisibles para cada radionucleído Q_i .

OPTIMIZACION DE LA FIJACION DE LIMITES DE DESCARGA.

La producción, por ejemplo, de gases nobles en un reactor PHWR es de $\sim 25 \text{ cm}^3/\text{Mw}_{\text{th}}$ x día difundiendo desde el interior de la pastilla con una velocidad proporcional a $T^{1/4}$. Así entonces, el escape de Xe^{133} , significa que el 1% de Elementos Combustibles fallados equivale a un escape de 10^{-4} (de lo producido por segundo escapa en un segundo).

- Para Xe^{133} la actividad en equilibrio del núcleo es de $8,4 \frac{\text{KCi}}{\text{Mw}_{(\text{th})}}$ que multiplicado por el rendimiento de fisión de 6,8% resulta: $\sim 60 \text{ KCi}(\text{Xe}^{133})/\text{Mw}_{(\text{th})}$
- La dosis debida a gases nobles, para un reactor de potencia, se estima es de 4 a 5 rem hombre/Mwe año.
- Costo de radiación: 200 u\$s/rem.h
- Un estudio económico de retención de gases nobles sería:
 - 1) Retención en tanque de arena con período de 20 a 30 minutos.
 - 2) Recombinador de O_2 para reducir volumen + tanque arena ó decaimiento.
 - 3) Idem (2) + columna carbón activado.
 - 4) Método de eliminación cero.
 - 5) Emitir todo sin contención previa.

	1	2	3	4	5
Dosis colectiva anual (remxh.)	300	4	0,3	0,2	
Dosis colectiva comprometida (remxh.)	1200	160	12	8	
Costo (instalación + operación)x10 ⁶ U\$S	2,33	3,26	4,66	9,32	
ΔS (remxh)	11840		148	4	
$\Delta u\$s$ (x10 ⁶)	0,94		1,4	4,66	
$\Delta X/\Delta S$ (u\$s/remxh)	79		9500	$1,16 \times 10^6$	13,8

Debiéndose cumplir $\frac{X_2 - X_1}{S_2 - S_1} \leq 200 \text{ u\$s/remxh.}, \text{ re}$

sulta que la solución optimizada por la tecnología actual es la (2). Con esta se obtiene para el grupo crítico una tasa de dosis de 0,2 rem/año.

Con la solución (1) la tasa de dosis anual en el grupo crítico sería 15mrem/año.

RESIDUOS GASEOSOS, LIQUIDOS Y SOLIDOS- GENERACION TIPICA
EN UNA CENTRAL NUCLEAR - GESTION DE RESIDUOS.

a- GASEOSOS

- Generación Típica:

Gases Nobles Xe^{133} , Xe^{135} , Kr^{85} , Kr^{85m} , Kr^{87} , Kr^{88} , Ar^{41}

Halógenos I^{131} , I^{133} , I^{129}

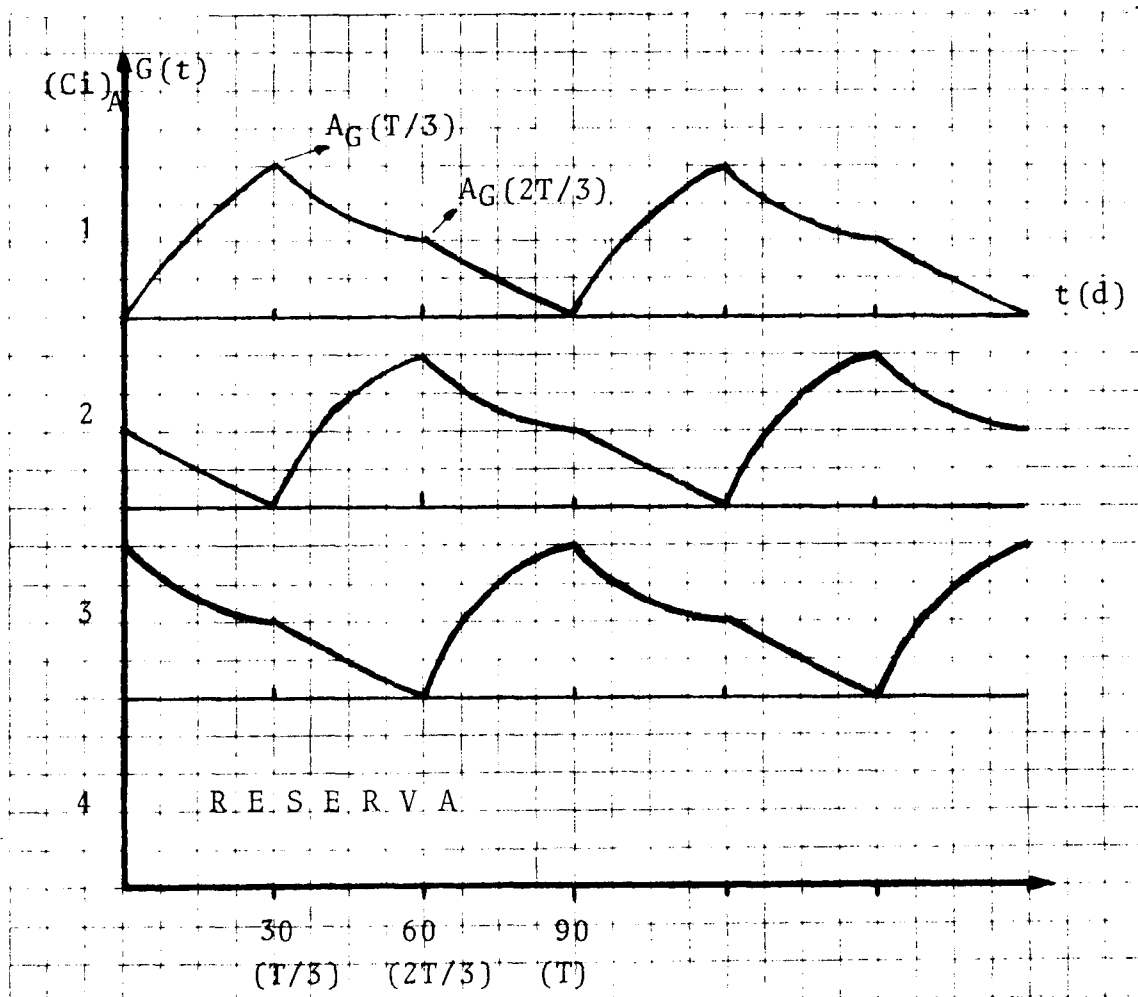
Aerosoles Co^{60} , Ru^{106} , Cs^{137} , Cs^{134}

Tritio H^3

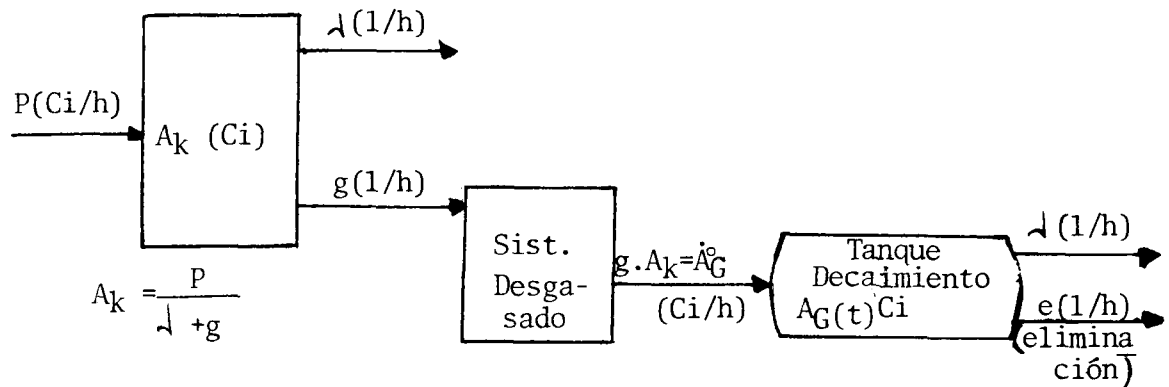
- Gestión: La eliminación por chimenea se hace a través de dos sistemas: desgasificado y ventilación.

- GASES NOBLES

El sistema de desgasado posee cuatro tanques de decaimiento que trabajan desfasados entre sí según:



donde la actividad en el tanque de decaimiento está dada por:



$$\frac{dA_k}{dt} = P - A_k \cdot \lambda - A_k \cdot g$$

$$\frac{dA_G}{dt} = \dot{A}_G - A_G \cdot \lambda \quad \text{Siendo } \dot{A}_G = A_k \cdot g$$

$$A_G(t) = \left(\frac{g}{\lambda} \right) \cdot \left(\frac{P}{\lambda + g} \right) \cdot (1 - e^{-\lambda t})$$

Es decir que la $A_G(t)$ al cabo de $T/3$ días

$$A_G(T/3) = \frac{P}{\lambda} \cdot \frac{g}{g + \lambda} \left[1 - e^{-\lambda \frac{T}{3}} \right]$$

Al cabo del decaimiento

$$A_G(2T/3) = \frac{P}{\lambda} \cdot \frac{g}{g + \lambda} \left[1 - e^{-\lambda \frac{T}{3}} \right] \cdot e^{-\frac{1}{3} \lambda T}$$

Si se tiene en cuenta que el gas decae durante la eliminación

$$A_G(2T/3 + t) = A_G(2T/3) \cdot \left[1 - \frac{3}{T} t \right] \cdot e^{-\lambda t}$$

Así entonces, la actividad entregada a chimenea por un tanque, será la integral de la tasa de emisión del gas.

$$A_A = \int_0^{T/3} \dot{A}_G\left(\frac{2T}{3} + t\right)$$

$$\dot{A}_G\left(\frac{2T}{3} + t\right) = -A_G\left(\frac{2T}{3}\right) \cdot \frac{3}{T} \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\frac{dA_G\left(\frac{2T}{3} + t\right)}{dt} = \underbrace{\frac{1}{T/3} \cdot A_G\left(\frac{2T}{3} + t\right)}_{\text{(Sin decaimiento)}} \cdot e^{-\lambda t}$$

Con decaimiento

$$A_A = \frac{3 P}{\lambda + g} \cdot g \cdot T \left[\frac{1 - e^{-\frac{\lambda T}{3}}}{\lambda T} \right]^2 \cdot e^{-\frac{\lambda T}{3}}$$

TRITIO: es eliminado a través del sistema de ventilación hacia chimenea y retenido previamente en intercambiadores de calor y filtros de silicagel.

La producción, por activación H_2O : ~ 2 Ci/Mwe año
 por activación D_2O : $\sim 4,5$ Ci/Mwe año
 por fisión ternaria (dentro del Elemento Combustible) ~ 20 Ci/Mwe año.

iodo-131: eliminado a través del sistema de ventilación y retenido en filtros de Carbón Activado impregnado con IK.

iodo-129: ($T = 17 \times 10^6$ años) $\longrightarrow$ Producción 1,3 mCi/Mwe año
 $S_{50} = 2000$ rem h/Mwe año.

No hay métodos comerciales para la retención (absorción en Pt, Cu, vidrios, etc.) Por otra parte, no tiene costo efectivo de dosis.

CARBONO-14:

Producción en PHWR $\left\{ \begin{array}{lll} O^{17} & (n, \alpha) & C^{14} \\ N^{14} & (np) & C^{14} \end{array} \right\} \sim 0,4 \text{ Ci/Mwe año}$

en PWR $\sim 20 \text{ mCi/Mwe año}$

La dosis comprometida es: 9 remxh/Mwe año.

La separación se podría efectuar por burbujeo en HONa e intercambio iónico.

b- LIQUIDOS

- Generación típica: H^3 , Co^{60} , Cs^{137} , Cs^{134} , Ru^{106} , Ag^{110m} ,
 Mn^{54} , Fe^{59} , Cr^{51} , Na^{22}

- Gestión:

Semicontención se lo utiliza SOLO PARA BAJAS ACTIVIDADES, siendo el método más habitual el de "enterramiento", dado que sería muy costoso el tratamiento de grandes volúmenes. Los residuos quedan fijados por filtración de las napas inferiores sin significar un riesgo elevado al público. Así entonces se utilizan trincheras, convenientemente aisladas, para la evacuación en suelo de líquidos

radioactivos eliminándose los líquidos cuya actividad supera el límite de descarga al río y que, para los cuales, no se justifica un sistema de almacenamiento.

Las trincheras son excavaciones rectangulares profundas, aisladas con cartón bituminoso y paredes de mampostería, rellenas con suelo rico en arcillas con altos parámetros de intercambio. Esta capa de arcilla, que actúa como inter cambiador iónico, se mezcla con una capa de arena y sobre esta mezcla se coloca una capa de canto rodado, dentro de la cual se ubican los caños de distribución de líquidos. Arriba se coloca una cubierta de cartón bituminoso que actúa como aislante hidrófugo evitando la percolación que producirían las filtraciones de agua de lluvia. Finalmente se coloca una gruesa capa de tierra que protege la trinchera y actúa como blindaje.

Contención: es necesaria cuando son actividades medias, que superan los límites de descarga y además evita utilizar una semicontención. Por esto, se debe considerar al programar la gestión, la seguridad del sistema, cos to y contención futura definitiva.

La contención de residuos líquidos es el procedimiento más habitual en la industria nuclear. Debe destacarse que debido a la importancia que tiene la magnitud del volumen de residuos a contener, la segregación de los residuos pa ra evitar diluciones o dispersiones tiene fundamental interés en el programa de gestión.

Tratamiento de 10^{-2} a $100\mu\text{Ci/cm}^3$

- 1 Evaporación: (y/o secadores) para líquidos residuales varios.
- 2 Secadores: $\equiv$ Evaporador + Centrifugado obteniéndose un estado semisólido del residuo.
- 3 Filtración: en línea con el sistema refrigerante para su depuración.

- 4 Separación Química: Laboratorios y Centros de Investigación (grandes volúmenes).
- 5 Vitrificación (para $\sim 100 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$) y
- 6 Inclusión en cerámica: en estos dos métodos se debe obtener un sólido que tenga buenas características de transmisión del calor para disipar la energía generada por radioactividad y baja pérdida de actividad por unidad de superficie del sólido para garantizar la seguridad de contención. Se recomienda depositarlos en minas de sal abandonadas.
- 7 Inclusión en bitumen ó plástico.
- 8 Cementado
- 9 Almacenamiento: para $A > 100 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ el método debe estar provisto de un sistema auxiliar de seguridad para $A > 1 \text{ mCi}/\text{cm}^3$ hay que adicionar además, un sistema de refrigeración del tanque.

c - SOLIDOS

Generación Típica: Elementos Combustibles irradiados
(alta actividad)

Filtros (media actividad)

Residuos varios como bolsas de PVC, papel, ropa de trabajo, etc. (baja actividad)

- Gestión: El procedimiento de semicontención es el más habitual para residuos sólidos de baja actividad cuya tasa de exposición en contacto es $\leq 200\text{mR/h}$ y que no contienen residuos activos.

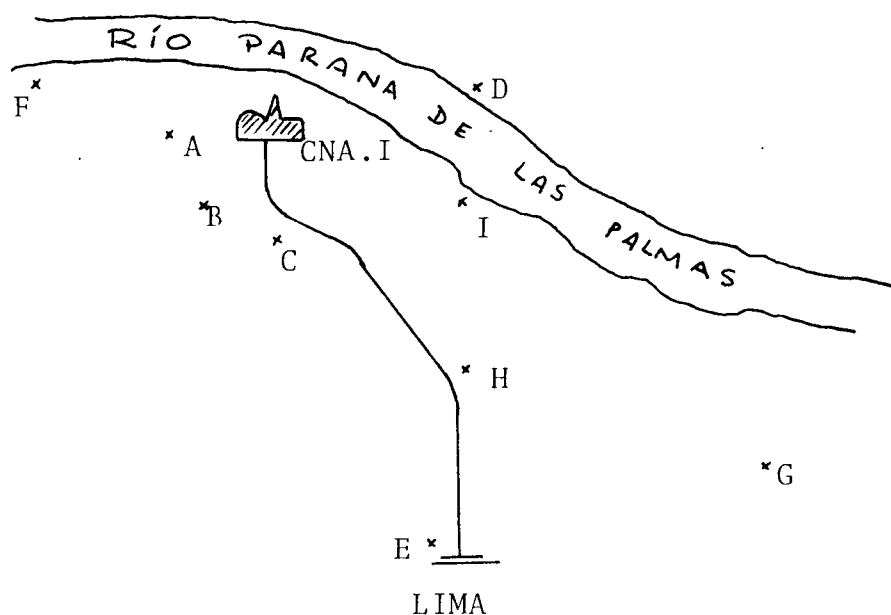
Se efectúa en trincheras a cielo abierto en tambores de 200 lts previa incineración con inclusión de cenizas en bitumen ó plástico ó compactación al sólo efecto de disminuir el volumen.

- Los residuos sólidos con $\dot{X} > 200\text{mR/h}$ no tienen, en general, ningún tratamiento y son almacenados directamente; aquellos que contienen radionucleidos α - emisores suelen ser confinados antes de su almacenamiento.

- Los residuos sólidos de alta actividad, como los Elementos Combustibles recién irradiados, se depositan en piletas de decaimiento con agua desmineralizada para refrigeración.
Luego, suelen ser almacenados en depósitos bajo tierra.

MONITORAJE AMBIENTE

Para la Central Nuclear en Atucha se realiza monitoreo ambiental en distintos puntos según muestra el esquema y se describe a continuación.



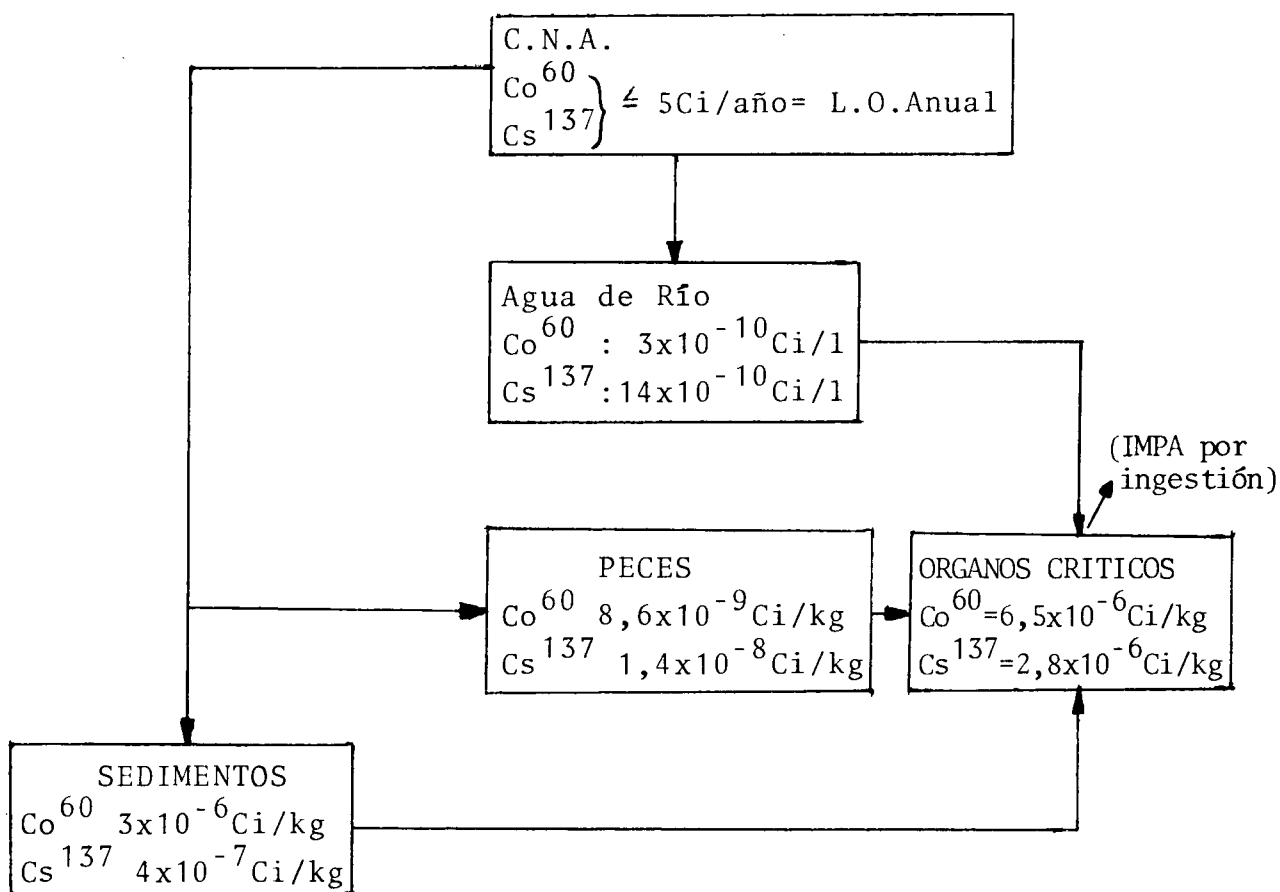
- 1- Muestras de material suspendido en aire (A, B, C, D, E, por la mayor probabilidad de valores altos ó alternativamente mayor población). Se hace filtración (algunos miles de m^3) de aerosoles.
recolección de vapor de tritio
medición de I^{131} en filtros de carbón activado y de gases nobles por medición de radiación γ externa mediante TLD
periodicidad (óptima) semanal
- 2- Exposición Externa (A, B, C, D, E) Con dosímetro TLD (x4) para leer un juego trimestralmente y uno anual. Además medir semanalmente con centímetro a una altura de 1m del suelo.
- 3- Leche (B, F, G, H) mensualmente para determinación de I^{131} y trimestralmente para otros nucleídos.

- 4- Velocidad de depósito: (A, B, C, D, E) muestras mensuales de "fallout" (Sr^{90}).
- 5- Depósito acumulado: (A) una muestra de suelo (profundidad 5 cm) una vez por año.
- 6- Agua de río (D;I), toma muestra 100m aguas abajo del canal de descarga con frecuencia semanal.
- 7- Sedimentos: (D;I) trimestralmente tomar muestra de sedimentos a lo largo de la orilla.
- 8- Peces: (D;I; Zárata) sin frecuencia (al menos una vez al año).
- 9- Vegetales y Pasto: (dentro de 5 Km) sin frecuencia específica.

LIMITES OPERATIVOS DEDUCIDOS

Los L.O.D. son valores independientes de los modos de funcionamiento de la Instalación, ya que se refieren a los órganos críticos de una población determinada en un ambiente dado.

Así entonces en el caso de eliminación al río en la zona de CNA, los radionucleídos que resultan "crítico" son el Cs^{137} y Co^{60} , para los que se obtienen los siguientes LOD.



En el caso de eliminación a la atmósfera, en la Zona de CNA, los radionucleídos que resultan críticos son Sr^{90} , Co^{60} , Ru^{106} , Cs^{137} , I^{131} , H_3 , G.N. (Xe^{133} , Kr^{85}).

Sabiendo que
$$D = \frac{A \cdot \epsilon \cdot f \cdot \eta}{m}$$

$$\text{siendo } A(Ci) = C \left(\frac{Ci}{m^3} \right)_{\text{aire}} \times q \text{ resp. } \left(\frac{m^3}{h} \right) \times t(h)$$

donde:

D = dosis por incorporación interna

A = actividad incorporada

f = fracción de actividad eliminada

E = energía del radionucleído de interés.

η = fracción de energía absorbida en el órgano crítico.

m = masa standard del órgano crítico.

ϕ = concentración de actividad en aire

q = caudal de respiración del hombre standard

t = tiempo de exposición.

INTERPRETACION DE LAS MEDICIONES

Los resultados de los análisis del monitoreo ambiental, deben compararse con los LOD correspondientes, determinando el factor $f = \frac{\text{valor medido}}{\text{LOD}} \times 100$

Si $f > 10 \%$ conviene repetir el muestreo y de confirmarse el resultado, estudiar los registros de descargas.

Si $f \approx 1$ se debe volver a examinar los procedimientos de tratamiento de residuos o replantear los límites autorizados de descarga.

Recordando que no sólo hay que respetar los límites de dosis, en función de la Capacidad Radiológica del ambiente, sino que hay que mantener las dosis tan bajas como sea razonablemente obtenible, además de tener la previsión de futuras instalaciones se define un factor de protección:

$$p = \frac{\text{descarga autorizada}}{\text{capacidad radiológica}}$$

es decir que afectando los LOD con este factor tenemos: Límites Operativos Autorizados.

$$\text{LOA} = P \times \text{LOD}$$

El monitoreo ambiental debe mostrar que estos LOA son respetados.

TABLA 1

PARAMETROS APLICABLES A LA FORMULA DE SUTTON (1)			
Condición atmosférica	n	Cy	Cz
Gran lapse	0,20	0,37	0,21
Condición promedio	0,25	0,21	0,21
Gradiente cero de temperatura	0,25	0,21	0,12
Inversión moderada	0,33	0,13	0,08

(1) Megaw W.J. "Radioactive Wastes"

TABLA 2

v (m/seg)	S o l (día)			Fuertemen- te nubla- do día o noche	N o c h e	
	Fuerte	Moderad.	Débil		Fuertemente nublado 4/8 nubes bajas	3/8 Nubes
< 2	A	A-B	B	D	-	-
2	A-B	B	C	D	E	F
4	B	B-C	C	D	D	E
6	C	C-D	D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D	D

A-B = Promedio curvas A y B

Categoría de Estabilidad	× Distancia de la chimenea en Km			
	0,1	1	10	100
A	50°	42	34	25
B	40°	34	27	20
C	30°	25	20	15
D	20°	17	14	10
E	15°	13	10	7
F	10°	9	7	5

TABLA 3

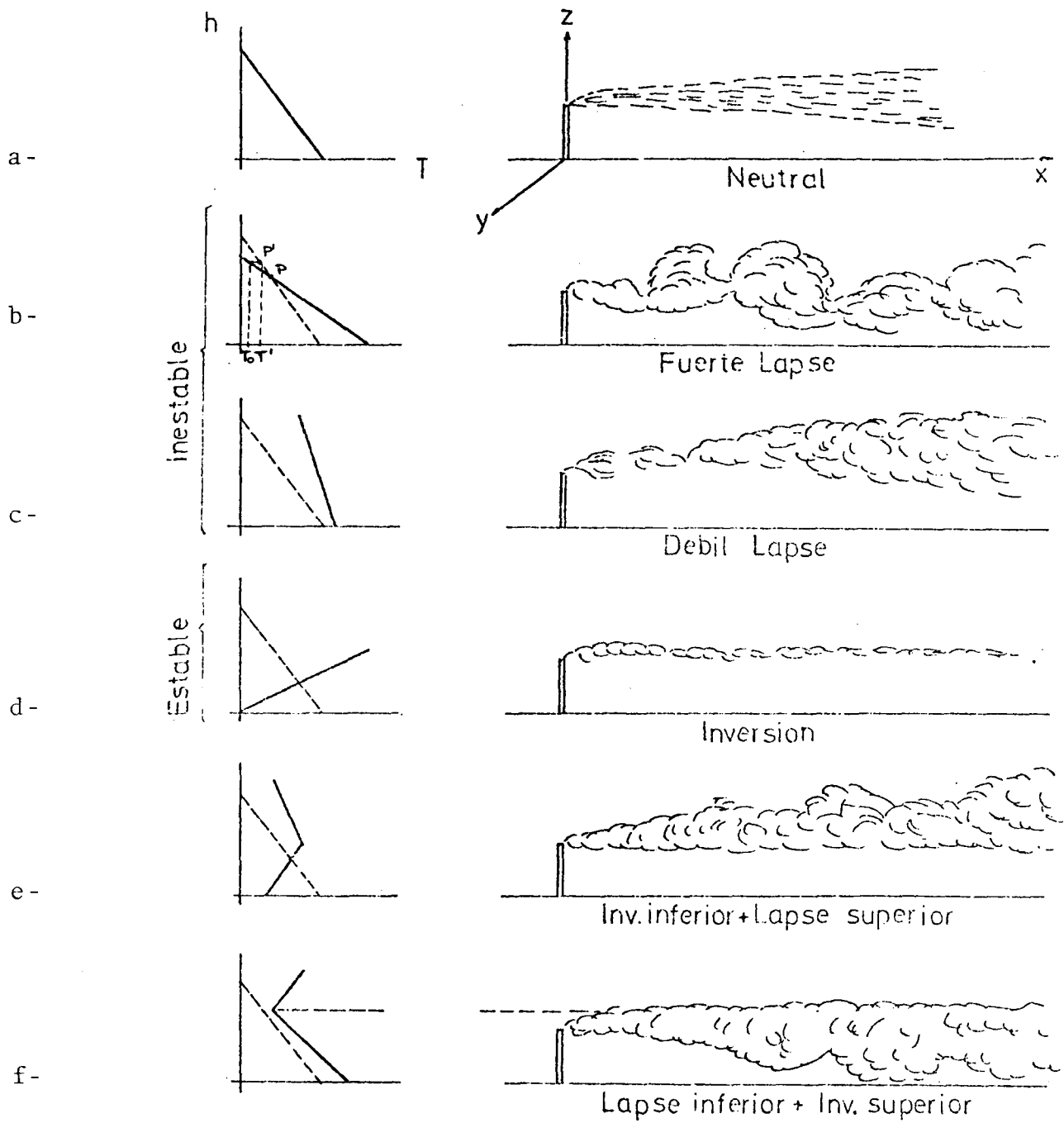


Fig.1

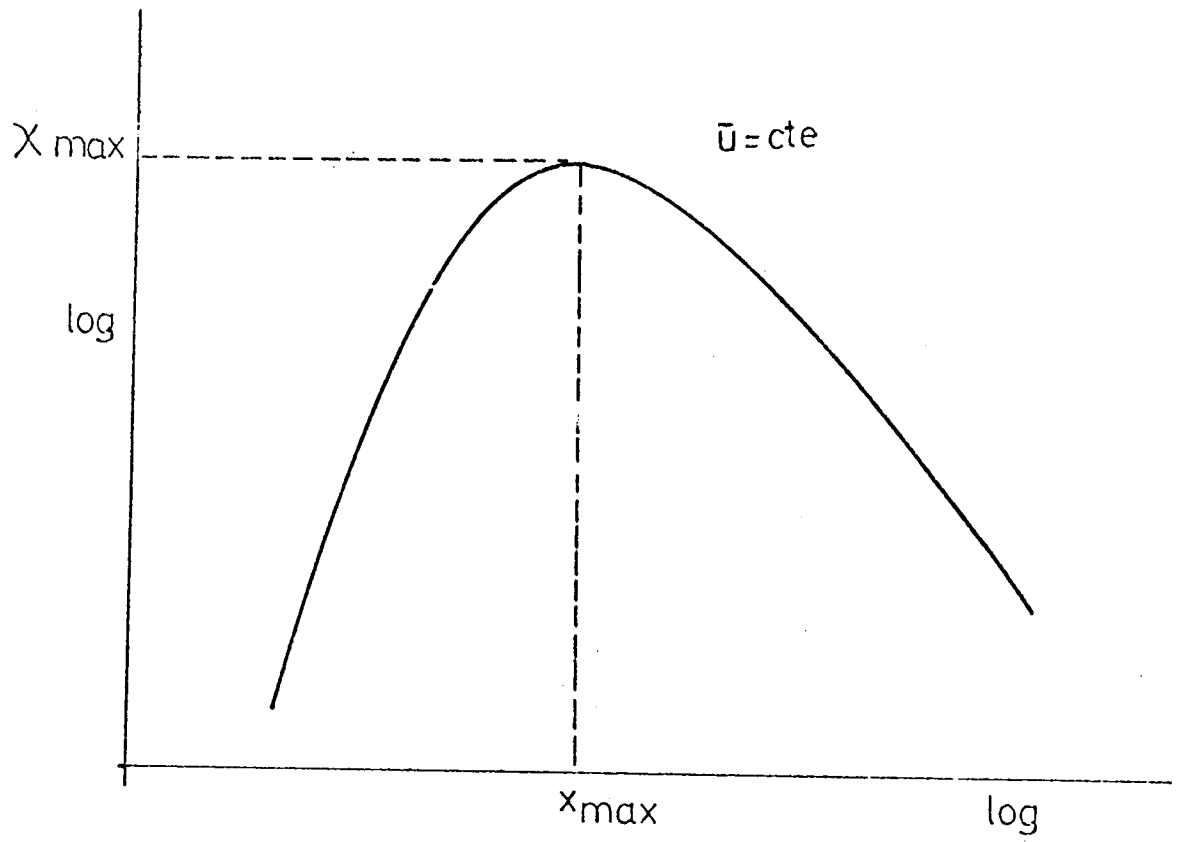


Fig. 2

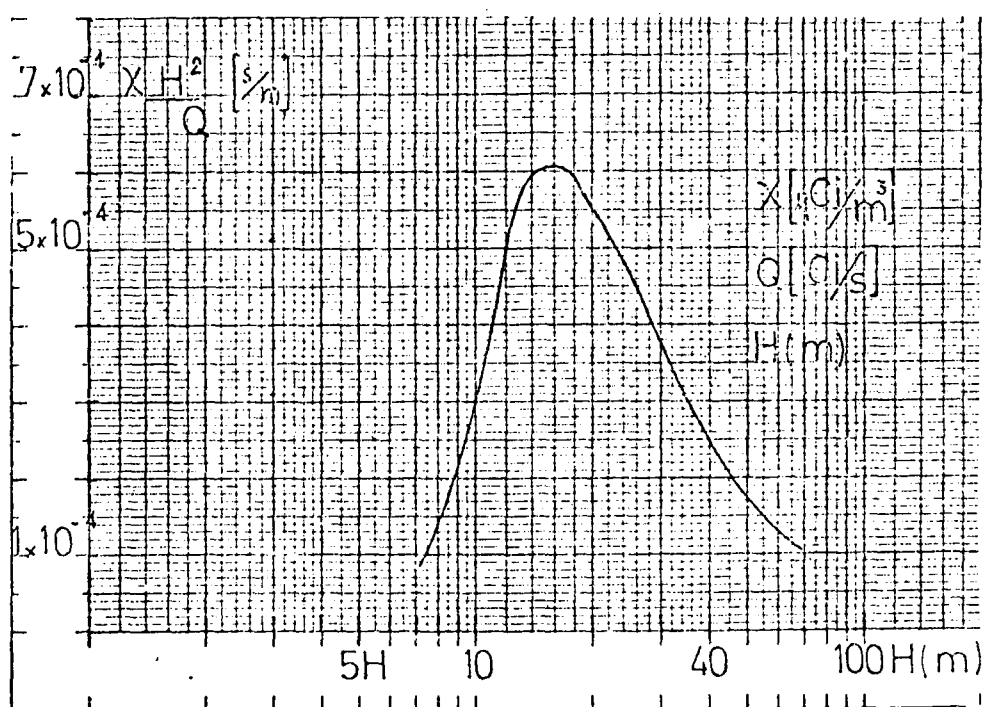


Fig. 3

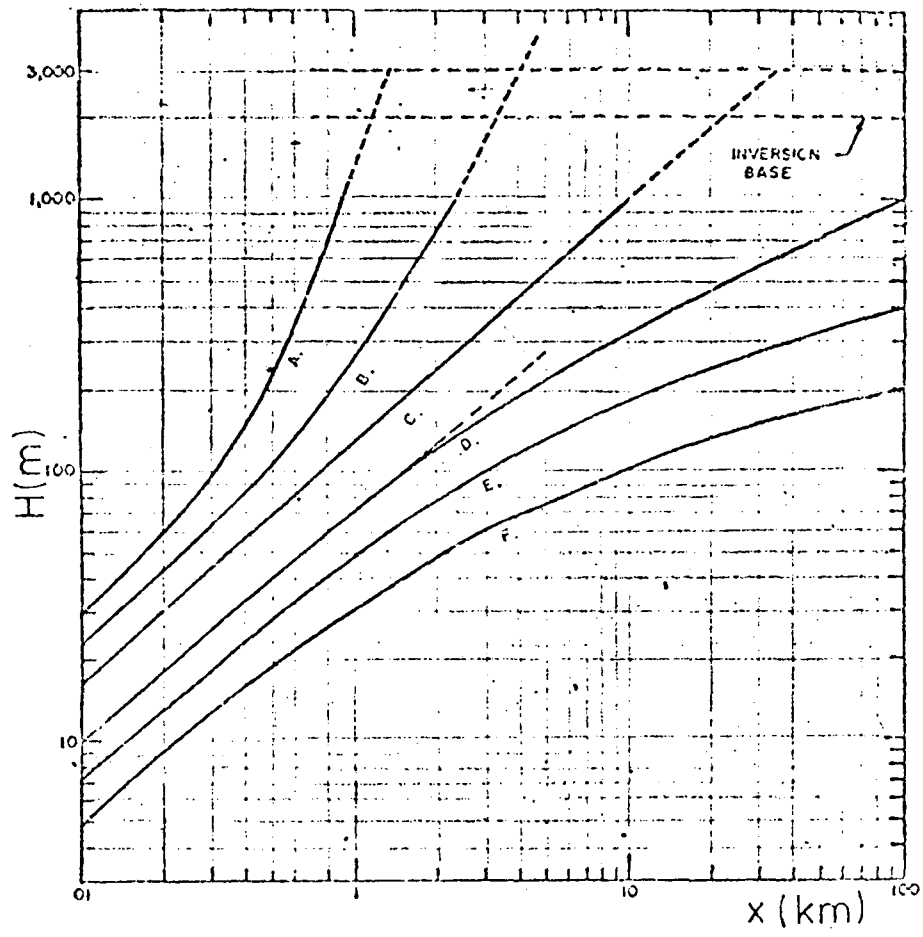


Fig. 4

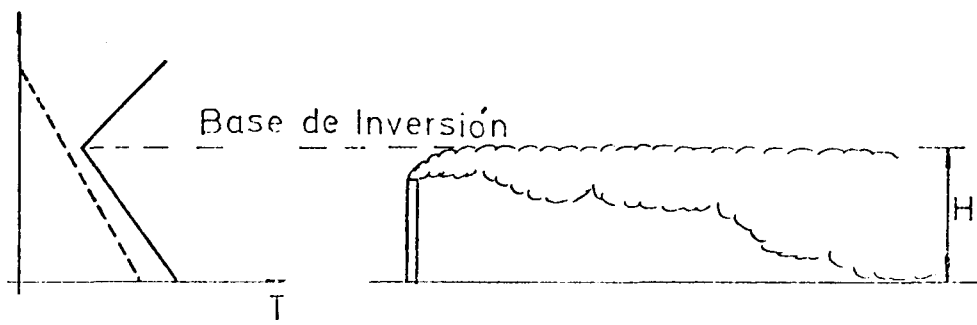


Fig. 5

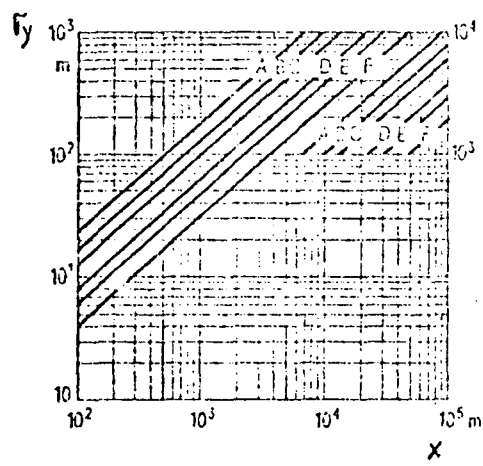
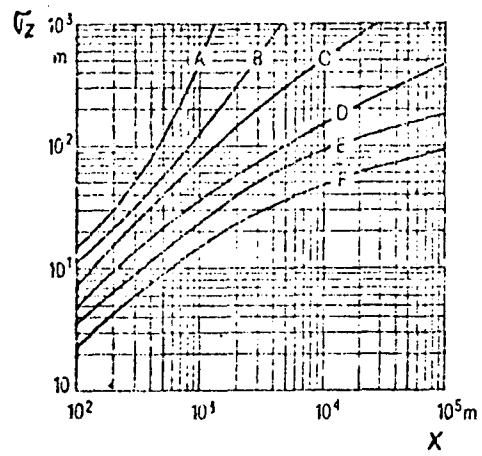


Fig.6

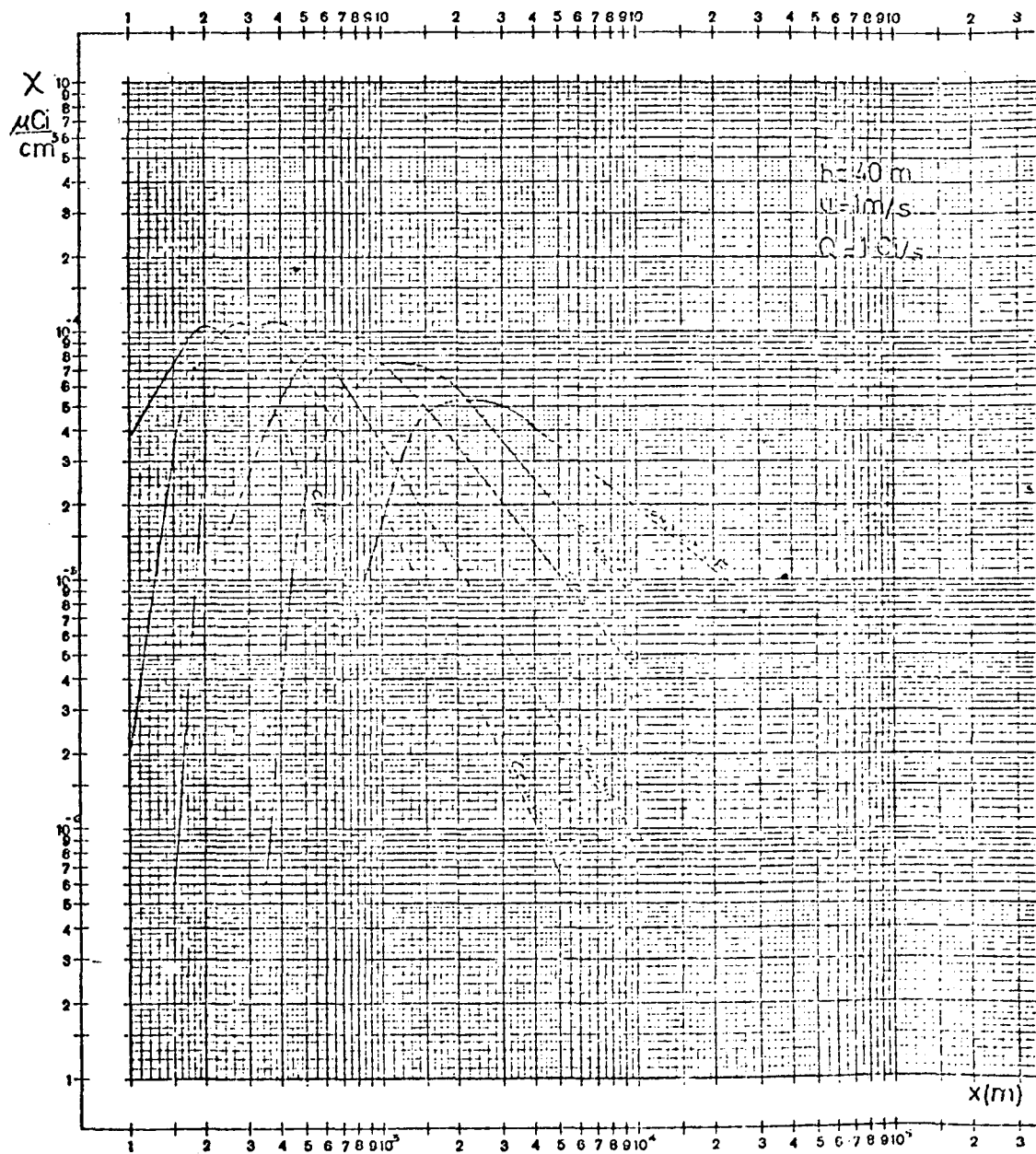
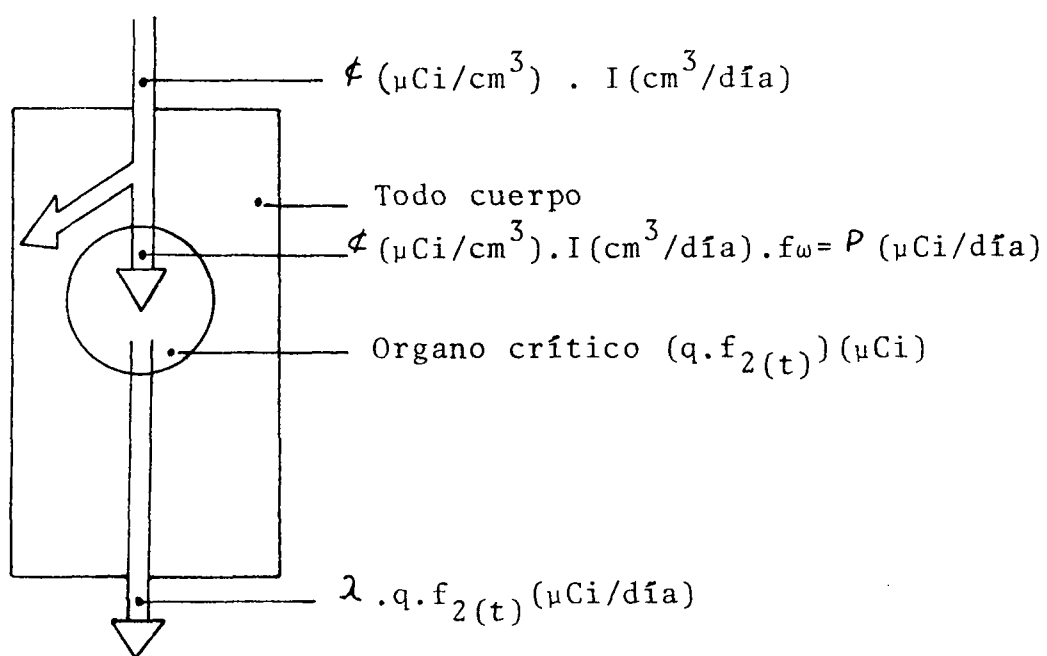
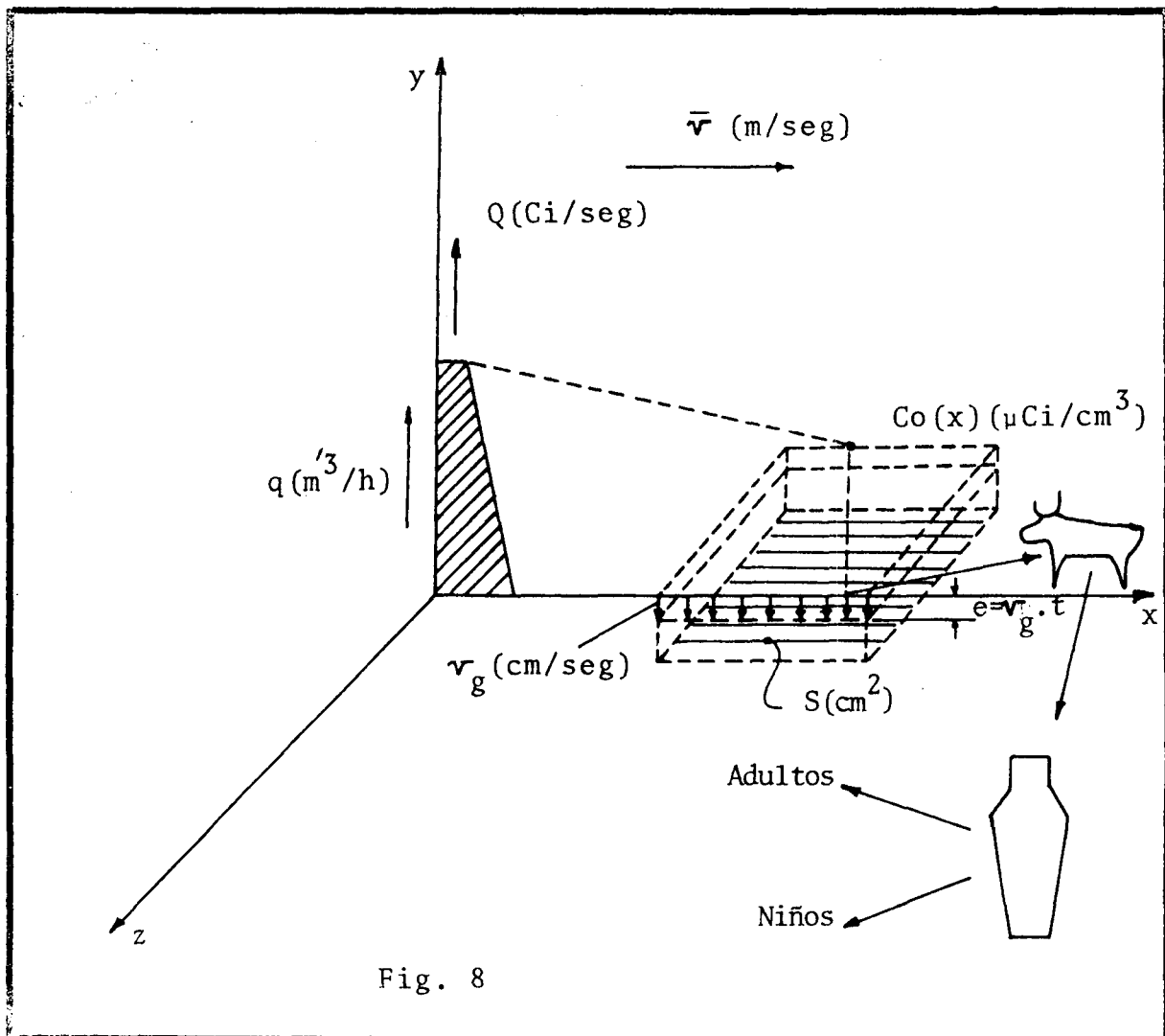


Fig.7



BIBLIOGRAFIA

- Coloquios dados por Ing. E. DIAZ al Personal de Seguridad de CNA I sobre "Liberación de Material Radioactivo a la Atmósfera" y "Efluentes Gaseosos de la Central Nuclear Atucha".
- Coloquio dado por el Dr. D. BENINSON sobre "Optimización en la fijación de límites de descarga" - 1977.
- "Conceptos Básicos de la Gestión de Residuos Radiactivos", Ing. Abel. J. GONZALEZ - 1974.
- "Monitoraje Ambiental en la Vecindad de la Central Nuclear en Atucha", Dr. D. Beninson; A. Migliori de Beninson, 1975.