

**CONCENTRACIONES MAXIMAS PROBABLES
DE CONTAMINANTES A PRODUCIR POR LA
FABRICA DE ALUMINIO DE PUERTO MADRYN**



**CENTRO
NACIONAL
PATAGONICO**

COMISION NACIONAL DE ESTUDIOS GEO-HELIOFISICOS

CENTRO NACIONAL PATAGONICO

CNP - 1.5-2

CONCENTRACIONES MAXIMAS PROBABLES DE CONTAMINANTES

A PRODUCIR POR LA FABRICA DE ALUMINIO DE PUERTO MADRYN

Dr. V. R. BARROS

PUERTO MADRYN - CHUBUT

R. ARGENTINA

1975

PROGRAMA 1.5.: PRESERVACION DEL AMBIENTE EN
PUERTO MADRYN. (1)

DIRECTOR DOCTOR VICENTE RICARDO BARROS.

(1) Este Programa se realiza de acuerdo con el convenio entre la Provincia del Chubut, la Municipalidad de Puerto Madryn, la Comisión para el Desarrollo de los Metales Livianos (COPEDESMEL) y la Comisión Nacional de Estudios Geo-Heliofísicos.-

S U M A R I O

| | |
|--|----|
| 1.- Introducción. | 1 |
| 2.- El problema de la difusión de contaminantes. | 4 |
| 3.- El caso de un emisor lineal finito. | 6 |
| 4.- Altura efectiva de los emisores. | 11 |
| 5.- Concentraciones máximas probables. | 14 |
| 6.- Posibilidad de ocurrencia de situaciones meteorológicas desfavorables. | 21 |
| 7.- Otras condiciones meteorológicas que pueden producir situaciones agudas de concentraciones elevadas. | 24 |
| 8.- Conclusiones. | 27 |
| Referencias. | 29 |
| Anexo: Gráficos utilizados. | 31 |

1.- Introducción.

El funcionamiento de la importante planta de fabricación de aluminio en Puerto Madryn, plantea algunos interrogantes respecto al efecto que sobre el medio ambiente podría producir las emisiones de contaminantes previsibles.

En particular, los habitantes de Puerto Madryn deben ser preservados de cualquier efecto nocivo por lo que resulta urgente realizar una estimación provisoria sobre la eventual posibilidad de episodios que podrían ocurrir con concentraciones elevadas de contaminantes.

Según un informe de la compañía Aluar (1), los principales efluentes serían los descriptos en la tabla 1.

TABLA 1

| | Kg/día |
|----------------------------|-----------------|
| 1 Fluor en HF | 1.800 - 2.300 |
| 2 Fluor en CF ₄ | 380 - 760 |
| 3 SO ₂ | 3.600 - 7.600 |
| 4 Polvo | 18.000 - 28.000 |
| 5 Fluor en el polvo | 3.400 - 3.800 |
| Fluor total (1+2+5) | 5.600 - 6.800 |

Las cantidades son las que corresponderían a una producción de 140.000 Tn. anuales de aluminio.

El efecto del fluor sobre el organismo humano y sobre el medio ambiente, es detalladamente descripto por el Committee on Biological Effects of Atmospheric Pollutants "Fluorides" (2). De esta fuente se extractó la información dada en la tabla II donde se describen los efectos del fluor en función de la concentración en la atmósfera y del tiempo de exposición.

TABLA II

| HF mg/m ³ | F mg/m ³ | Tiempo de exposición | Especie | Efecto |
|-------------------------|------------------------|-------------------------------------|----------|---|
| 0,0015 | --- | 1 día | Gladiolo | Menos del 2% de muerte |
| 0,0018 | --- | 2 semanas | Manzano | Límite para lesiones en el follaje |
| 0,1 | --- | simple exposición | Hombre | Olor Perceptible |
| 25,0 | --- | simple exposición | Hombre | Tolerable por sob pocos minutos con desconfort respiratorio y conjuntivo |
| 100 | --- | simple exposición | Hombre | La más alta concentración tolerable por un solo minuto con marcada irritación conjuntiva y respiratoria |
| | 60-120* | 2-4 hs. | Hombre | Muerte |
| | 30* | meses | Hombre | Daño renal |
| | 15* | meses-años | Hombre | Daño en tiroides |
| | 6-24* | 10-20 años | Hombre | Destrucción de huesos |
| | 0,6-2,4* | Durante los primeros 8 años de vida | Hombre | Dientes manchados |

* Datos calculados sobre la base de que es asimilado todo el fluor inhalado.

De la observación de la tabla se puede ver que el fluor produce efectos crónicos cuando es inhalado en pequeñas cantidades por períodos prolongados pero también puede producir situaciones agudas con concentraciones elevadas.

El efecto del SO_2 sobre la población es también conocido. Varios autores han asociado el aumento de mortalidad de diversas poblaciones con los días en que se han medido concentraciones elevadas de SO_2 . Arthur C. Stern (3) describe varios episodios de alta concentración de SO_2 y sus consecuencias; allí se cita un trabajo de Lawter, quien llegó a la conclusión de que cuando el SO_2 excede $0,71 \text{ mg/m}^3$ y las partículas suspendidas exceden $0,75 \text{ mg/m}^3$ en Londres se puede predecir un aumento de mortalidad.

En dos episodios muy conocidos en Donora, Pensylvania 1948 y en Londres 1952, muertes y enfermedades aumentaron notablemente. El SO_2 parece haber jugado un papel fundamental.

En el primero de los casos no había mediciones de SO_2 pero las estimaciones hechas varían entre $1,4$ y 5 mg/m^3 . En el segundo caso el valor más alto medido fué de $3,75 \text{ mg/m}^3$. La duración de los episodios fué de 2 y 4 días respectivamente acompañados por niebla, calma y una marcada estabilidad vertical.

Por todo lo anterior, en el presente trabajo se trata de hacer una evaluación de la posible ocurrencia de altas concentraciones de los citados efluentes sobre las áreas urbanas de Puerto Madryn.

Afortunadamente la expansión en la producción de aluminio, y por consiguiente el aumento de emisión de contaminantes es

gradual, lo que permite realizar una labor de vigilancia y de investigación, para poder aconsejar la adopción de medidas que impidan la real ocurrencia de eventuales episodios de contaminación.

2.- El Problema de la Difusión de Contaminantes.

Una vez emitido a la atmósfera, el contaminante está sujeto a diversos procesos, en particular es transportado por el viento y al mismo tiempo difundido en la atmósfera, debido principalmente al movimiento turbulento, que está siempre presente en mayor o menor medida. Las partículas de tamaño menor de 20 μ son prácticamente difundidas como si se trataran de gases. Según Less y Waddington (4) en este tipo de plantas, la mayor parte de la emisión de fluor está dada ya sea en forma de compuesto gaseoso de fluor o en partículas muy por debajo de los 20 u. Por lo tanto es correcto tratar la difusión de Fluor como si esencialmente fuera un gas.

Un enfoque clásico del problema de la difusión está basado en la integración de la ecuación de difusión:

$$1.- \frac{\partial \bar{q}}{\partial t} = \frac{\partial (K_x \frac{\partial \bar{q}}{\partial x})}{\partial x} + \frac{\partial (K_y \frac{\partial \bar{q}}{\partial y})}{\partial y} + \frac{\partial (K_z \frac{\partial \bar{q}}{\partial z})}{\partial z}$$

donde \bar{q} es la propiedad o parámetro a difundir.

Una descripción somera se puede hallar en Stern (op. cit.).

Un enfoque algo más amplio y con sentido histórico puede encontrarse en la obra de David H. Slade (5). Abundante material al respecto se halla también en Micrometeorology de Sutton(6).

En el caso que el parámetro a difundir no altere las variables meteorológicas que rigen el proceso de difusión, la ecuación

ción $I_{\bar{q}}$ es una ecuación lineal (es decir K_x , K_y y K_z no son funciones de \bar{q}). Esto facilita notablemente el trabajo matemático y es por ello que la integración de $I_{\bar{q}}$ ha dado lugar a una gran cantidad de fórmulas a partir de diferentes condiciones de contorno e hipótesis sobre los coeficientes K .

En general, la integración de $I_{\bar{q}}$, para condiciones estacionarias, se ha hecho para el caso en que el emisor sea una fuente puntual que puede ser asimilable al caso común de una chimenea.

En el caso que nos ocupa, las emisiones se hacen a partir de fuentes que por sus dimensiones deben ser mas bien consideradas como líneas rectas de una distancia finita (l). En realidad, la emisión se produce desde cuatro aireadores de $560 \text{ m} \times 4,5 \text{ m}$, separados entre si por 40 m cada uno. Su orientación es aproximadamente de este a oeste. Dado que la zona urbana se halla al sur de la fábrica de aluminio, es de preveer que las mayores concentraciones se producirán en ella cuando los contaminantes son arrastrados por viento del sector Norte.

En la fig. 1., puede apreciarse la ubicación de los aireadores y de la zona urbana actual. Igualmente se describe la topografía de la zona a través de las curvas de nivel.

Como lo que se pretende es investigar las concentraciones máximas probables en la zona urbana partimos de la suposición de que el flujo es del Norte y por consiguiente aproximadamente normal a la línea de emisión.

La fig. 1., ilustra suficientemente acerca de la imposibilidad de considerar a toda la zona de emisión como puntual debido a las distancias relativas en juego (560 m y desde los emisores hasta la zona actualmente habitada 1.500 m).

Debido a que la ecuación $I_{\bar{q}}$ es lineal (no interacción entre

la concentración de contaminante y los coeficientes de difusión) en el caso de fuentes múltiples, la concentración de una sustancia en un punto cualquiera puede ser hallada mediante la simple suma de aquellas debidas a las distintas fuentes. Ello siempre y cuando no haya algún tipo de proceso que sea función de la concentración.

Este es, en realidad, el principio sobre el que se basan cierto tipo de modelos de contaminación urbana. Una lista interesante de este tipo de modelos y de sus hipótesis fundamentales puede consultarse en la obra de Stern citada (3).

3.- El Caso de un Emisor Lineal Finito

Existen antecedentes de estudios sobre emisores lineales finitos (7); el problema es relativamente sencillo para el caso elegido: viento normal a la línea de emisión.

Para un emisor puntual en condiciones estacionarias, se puede mostrar que la integración de 1.- con las correspondientes condiciones de contorno y ciertas consideraciones estadísticas conducen (4) (5) a:

$$2.- \chi(x,y) = \frac{Q'}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{U}} \cdot \exp \left[- \left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{h'^2}{2\sigma_z^2} \right) \right]$$

$\chi(x,y)$ es la concentración en superficie en un punto de coordenadas x, y . El sistema de coordenadas es tal que \underline{x} está dado en la dirección del viento e \underline{y} es la dirección horizontal normal al mismo. El origen de coordenadas se halla en la fuente de emisión.

$\underline{h'}$ es la altura efectiva de emisión que está dada por la altu-

ra de emisión más una cantidad, que es función de la velocidad y temperatura con que son emitidos los gases y de la estabilidad y temperatura atmosférica.

Q' es el caudal de emisión de la fuente expresable en **(masa)** **[tiempo]⁻¹**; σ_y y σ_z son funciones de x y de la estabilidad atmosférica según se verá más adelante.

Si interesa la emisión puntual sobre la línea de emisión de longitud L es conveniente introducir

$$3.- \quad Q' = \int_{-L/2}^{L/2} df = \int_{-L/2}^{L/2} F dy'$$

como definición de F . Por ello el aporte de concentración $d\chi$ al punto (x, y) debido al elemento lineal dy' será

$$4.- \quad d\chi = \frac{F}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{U}} \exp \left[-\left(\frac{(y-y')^2}{2\sigma_y^2} + \frac{h'^2}{2\sigma_z^2} \right) \right]$$

donde como ya quedara expresado el eje x es normal a la línea de emisión. Las coordenadas y e y' son a su vez normales al eje x y el origen es tal que a la mitad de la línea de emisión le corresponde las coordenadas $(0,0)$.

La integración de 4.- con respecto a y' conduce a

$$\chi = \frac{F \exp \left[-\left(\frac{h'^2}{2\sigma_z^2} \right) \right]}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{U}} \int_{-L/2}^{L/2} \exp \left[-\left(\frac{(y-y')^2}{2\sigma_y^2} \right) \right] dy'$$

donde se ha supuesto $F=cte$ como es en este caso.

Es fácil mostrar, derivando bajo el signo integral, que el máximo respecto de y se halla en $y = 0$.

Luego:

$$\chi_0 = \frac{F \exp\left[-\frac{h'^2}{2\sigma_z^2}\right]}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{U}} \int_{-L/2}^{L/2} \exp\left[-\frac{y'^2}{2\sigma_y^2}\right] dy'$$

si se hace el cambio variable $y' = \sigma_y t$

$$5.- \chi_0 = \frac{2 F \exp\left[-\frac{h'^2}{2\sigma_z^2}\right]}{\pi \sigma_z \bar{U}} \int_0^{L/2\sigma_y} \exp\left[-\frac{t^2}{2}\right] dt$$

La función FER (δ) = $\frac{1}{\sqrt{2}\pi} \int_0^{\delta} \exp\left[-\frac{t^2}{2}\right] dt$ se puede hallar

tabulada; es en efecto el área bajo la curva de distribución normal. En términos de la función FER (δ) es posible escribir

5.- como

$$\chi_0 = \frac{2\sqrt{2} F}{\sqrt{\pi} \bar{U} \sigma_z} \exp\left[-\frac{h'^2}{2\sigma_z^2}\right] \text{FER}\left(\frac{L}{2\sigma_y}\right)$$

Comparando con el caso de un emisor puntual en que la concentración máxima a una cierta distancia es

$$\chi_p = \frac{Q'}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{U}} \exp\left[-\frac{h'^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

se ve que

$$\chi_o = \frac{F}{Q'} 2\sqrt{2\pi} \sigma_y \text{ FER} \left(\frac{L}{2\sigma_y} \right) \chi_p$$

como aquí $\frac{F}{Q'} = \frac{1}{L}$

$$\chi_o = \frac{2\sqrt{2\pi} \text{ FER} \left(\frac{L}{2\sigma_y} \right) \sigma_y}{L} \chi_p = C \chi_p$$

C es un coeficiente que mide la atenuación en la concentración máxima a una distancia x de la fuente cuando se compara un emisor lineal finito de longitud L con una fuente puntual de la misma intensidad.

Para 1.500 m es posible construir la tabla III.

TABLA III

| CASO | σ_y (m) | $\sigma_y \text{ FER} \left(\frac{L}{2\sigma_y} \right)$ | C |
|------|----------------|---|------|
| A | 320 | 99 | 0,84 |
| B | 230 | 87 | 0,79 |
| C | 160 | 72 | 0,61 |
| D | 120 | 59 | 0,50 |
| E | 85 | 42 | 0,36 |
| F | 60 | 30 | 0,26 |

Vemos que en el caso F la concentración máxima se reduce al 26% del máximo del caso del emisor puntual. Además de la utilidad conceptual de la tabla III ésta tiene la finalidad de poder permitir la evaluación de concentraciones máximas probables en base a cálculos y diagramas realizados para fuentes puntuales por diversos autores.

Como ya fue adelantado, σ_y y σ_z son funciones de x y de la estabilidad vertical de la atmósfera. Al menos así parece mostrarlo una abundante experimentación (5). Pasquill (8) formuló una relación ampliamente usada entre la estabilidad vertical y el tipo de condiciones meteorológicas. Las categorías de la tabla III son las de Pasquill en donde:

- A Extremadamente inestable
- B Moderadamente inestable
- C Levemente inestable
- D Estabilidad neutra
- E Levemente estable
- F Moderadamente estable

Los valores de σ_y de la tabla III fueron estimados a partir de gráficos de Hillsmeir y Gifford (9) que también se hallan en numerosa literatura sobre el tema (5).

La tabla IV es similar a la tabla III pero es para $x = 3.000$ m que es aproximadamente la distancia de las fuentes de emisión al centro de Puerto Madryn.

TABLA IV

| CASO | σ_y (m) | $\sigma_y \cdot FER\left(\frac{L}{2\sigma_y}\right)$ | C |
|------|----------------|--|------|
| A | 550 | 105 | 0,89 |
| B | 400 | 100 | 0,85 |
| C | 300 | 96 | 0,81 |
| D | 200 | 82 | 0,70 |
| E | 130 | 62 | 0,53 |
| F | 100 | 50 | 0,43 |

Como era de esperar la atenuación es menor (C mayor) porque a medida que se consideran distancias mayores a la fuente, ésta puede considerarse más aproximadamente puntual.

La línea de emisión presenta un pequeño ángulo con respecto a la normal a la recta que la une con el límite urbano más próximo o con la plaza de Puerto Madryn. El efecto de este ángulo tendería a aumentar levemente el valor del factor C . Sin embargo, y dado el carácter aproximado de las fórmulas utilizadas, no es posible una gran precisión en la estimación de la máxima concentración probable y por ello es consistente despreciar este efecto.

4.- Altura Efectiva de los Emisores

La emisión de gases, ya sea a una temperatura mayor que la del medio o a una cierta velocidad, supone un ascenso del efluente no debido al proceso de difusión. La altura efectiva a partir de la cual debe considerarse la difusión es, entre otras cosas, función de la distancia a la fuente de emisión del efluente.

El momento inicial, o el empuje debido a la diferencia de temperatura con el medio, tienden a elevar globalmente la masa de efluente a medida que es transportada horizontalmente en el tiempo por el viento. La elevación de la pluma de efluente se ve reducida por la incorporación del aire que la rodea a través del proceso de difusión. Es por ello que el ángulo vertical y horizontal de la pluma tienen importancia significativa para evaluar el ascenso correspondiente, por cuanto es una medida del aporte de aire del entorno a la pluma.

Si se toma como borde exterior de la pluma aquella zona donde la concentración es 10% de la del eje, en el caso de distribu-

ciones Gaussianas implícitas en la solución de 1.- que da lugar a la ecuación 2.-, muy poca masa de efluente deja de ser considerada (alrededor del 8%). Por ello, para definir el ángulo vertical, lo suponemos determinado por la superficie que tiene una concentración igual a $0,1 \chi_h$ y la que tiene el valor máximo χ_h .

En distancias relativamente pequeñas, y dadas las dimensiones del emisor, consideraremos que la modificación horizontal de la pluma es despreciable. Entonces de:

$$0,1 = \frac{\chi_z}{\chi_h} = \exp - \left[\frac{1}{2} \left(\frac{z-h}{\sigma_z} \right)^2 \right]$$

y como según Hilsmeier y Gifford (9) $\log. \sigma_z$ es aproximadamente lineal con $\log. x$ para $x \leq 1500m$ es posible calcular $\frac{z-h}{x}$ a través de la función de $\log. \sigma_z$ calculada sobre los gráficos de los autores mencionados.

Así es posible, para cada caso de estabilidad, evaluar el ángulo correspondiente

CUADRO 1

| CASO | α (grados) |
|------|-------------------|
| B | 17 |
| C | 14 |
| D | 9,30' |
| E | 5 |
| F | 2,30' |

Siguiendo el enfoque de Briggs (10), pero aplicado al caso

particular de una fuente lineal finita, se puede escribir que la variación del flujo de momento vertical a través de una sección de la pluma es igual al flujo del empuje vertical.

$$6.- \quad \frac{d(wL|\bar{u})}{dt} = \frac{g(\rho - \rho_0)}{\rho} L|\bar{u}$$

donde: \bar{u} velocidad horizontal media
 w velocidad vertical
 ρ_0 densidad de la pluma
 ρ densidad del medio
 l espesor vertical de la pluma
 g aceleración por gravedad
 L longitud del emisor

Si $F_m = w^2 L|\bar{u}$, en la boca de emisión $F_{m0} = w_0^2 L|'$ donde l' es el espesor de la fuente.

Al incrementarse el espesor de la pluma el empuje es a su vez menor, como consecuencia de la mezcla con el entorno. De acuerdo a Briggs (10)

$$7.- \quad \frac{d\left[\left(\frac{\rho - \rho_0}{\rho}\right)|\bar{u}\right]}{dt} = -ws\bar{u}L$$

donde $s = \frac{g}{T} \frac{\partial \theta}{\partial z}$ es el bien conocido parámetro de estabilidad estática.

6.- y 7.- conducen a:

$$\frac{d^2(wL|\bar{u})}{dt^2} = S(wL|\bar{u})$$

Con solución muy conocida

$$8.- \quad wL|\bar{u} = A \cos(S^{\frac{1}{2}}t) + B \sin(S^{\frac{1}{2}}t)$$

$$a \quad t=0 \quad A = F_m \quad B S^{\frac{1}{2}} = \frac{g(\rho - \rho_0)}{\rho} L|'w$$

Por lo tanto 8.- da lugar a:

$$w = \frac{w_0^2 l'}{\bar{u} |} \cos(s^{\frac{1}{2}} t) + \frac{g(T_0 - T)}{s^{\frac{1}{2}} T} \frac{l' w_0}{|} \sin(s^{\frac{1}{2}} t)$$

reemplazando $w = \frac{dz}{dt}$ $x = \bar{u}t$

y haciendo el cambio de variables

$$l = 2\alpha x + d \quad \text{siendo} \quad d = l'$$

$$9.- \Delta z = R_0 \int_d^{2\alpha x + d} \frac{\cos(a l - b)}{|} dl + R_1 \int_d^{2\alpha x + d} \frac{\sin(a l - b)}{|} dl$$

siendo

$$R_0 = \frac{w_0^2 l'}{2\alpha \bar{u}^2} \quad ; \quad R_1 = \frac{g(T_0 - T) l' w_0}{s^{\frac{1}{2}} T 2\alpha \bar{u}^2}$$

$$a = \frac{s^{\frac{1}{2}}}{2\alpha \bar{u}} \quad ; \quad b = a d$$

Δz es la altura que debe sumarse a H para obtener la altura efectiva de emisión.

5.- Concentraciones Máximas Probables

Aunque con ciertas excepciones, las concentraciones máximas probables en superficie, disminuyen con la distancia a la fuente de emisión. La zona poblada se halla a 1.500 m de la fuente y en dirección aproximadamente normal a la línea de emisión. Es por esta razón que muchos de los cálculos que siguen se hacen para esa distancia.



De los datos suministrados por ALUAR (1) se puede deducir que:

$$W_0 = 1,9 \text{ m/s} \quad \text{y} \quad l' = 3,1 \text{ m}$$

El valor de W_0 es una estimación que entendemos puede estar sujeta a variación, por lo que es conveniente usar un valor más conservador.

Con condiciones de estabilidad pronunciada $S^{\frac{1}{2}} = 0,06$ y $\alpha = 0,042$ Estos valores de estabilidad se pueden dar en la zona y los asociaremos al tipo de estabilidad mayor de Pasquill, es decir al tipo F.

Con valores medios del viento de 3 m/s en la capa donde se difunde el contaminante (que son muy probables cuando en superficie son menos de 2 m/s) podemos construir la tabla V, utilizando la fórmula 9.-

Otros valores usados son: $T = 280^\circ\text{K}$ y $T_0 - T = 20^\circ\text{K}$

TABLA V

| CASO | α | Δz | $h' = \Delta z + h$ |
|------|----------|------------|---------------------|
| F | 0,042 | 51 m | 70 m |

Deben hacerse una serie de consideraciones. En primer lugar cabe señalar una simplificación realizada: en lugar de considerar cuatro fuentes lineales como son en realidad, se ha tomado una sola con la emisión de las cuatro. En segundo lugar, no se ha experimentado la fórmula 9.- para la zona en consideración. Briggs (10) relata experiencias sobre alturas efectivas de plumas que comprueban la performance de las fórmulas basadas en los mismos principios que 9.- pero se trata de emisores cilíndricos.

Existe aún un factor de mayor gravitación para juzgar la relatividad de los valores de la tabla V. En los alrededores de la planta de aluminio existe una topografía irregular, Fig. 1, que puede modificar esencialmente el comportamiento de la pluma de contaminantes.

En el caso de un viento norte muy leve, pueden ocurrir varias alternativas que deben ser investigadas. En casos de estabilidad F, el flujo puede tender a seguir los contornos de la topografía, en lugar de ascender sobre las colinas (II). En esa situación si bien la zona urbana cercana a la planta no se vería tan afectada, la que está cercana a la costa recibiría la pluma como si se tratara, prácticamente, de un emisor puntual.

De todas formas, estas son hipótesis de trabajo que deben ser confirmadas.

Otra consideración que debe hacerse es que la zona poblada más cercana se halla a 20 ó 30 m por encima del nivel de superficie de la planta (Fig. 1). Ello conduciría, en las situaciones en que hay ascenso sobre la colina, a una altura efectiva de 40 ó 50 m (con $\bar{u} = 3$ m/s.)

Otro efecto a considerar es el de la edificación de la propia fábrica y, en particular, de los edificios sobre los que se hallan los emisores. Este efecto es particularmente notable para velocidades de emisión pequeñas como las de este caso. En este tipo de situaciones, prácticamente toda la superficie del edificio que mira a sotavento puede considerarse como emisora (II).

Las consideraciones anteriores son simplemente para ilustrar sobre las limitaciones que tiene el uso de la fórmula 9.- para el cálculo de la altura efectiva, por lo menos en este caso.

No obstante ello, se la considerará de utilidad a los efectos de hacer una estimación preliminar de las concentraciones máximas a esperar en la zona poblada más próxima.

La tabla V permite la evaluación de h para su uso en el cálculo de χ_p (la concentración máxima en superficie si la fuente fuera puntual) según su expresión del parágrafo 3. La tabla IV suministra a su vez la corrección que nos permite calcular χ_o es decir la concentración máxima en superficie debida a un emisor lineal finito de las dimensiones del de Aluar.

Debido a que se trata de calcular las máximas concentraciones probables es conveniente utilizar valores extremos. Así creemos conveniente utilizar $h' = 30$ m aún cuando los cálculos indican 40 ó 50 m.

Todos los factores expuestos anteriormente, que nos conducen a cierta indeterminación de la altura efectiva, y la falta de resultados experimentales al respecto, nos ha inducido a buscar elementos de comparación y por ello se utiliza un criterio recomendado por Briggs para el caso de ascenso sobre terreno accidentado en condiciones de estabilidad.

Briggs (11) recomienda en estos casos, y si la altura efectiva es menor que la de la loma, estimar la concentración en superficie en la mitad de la que se tiene en el eje de la pluma. En nuestro caso estas condiciones no se cumplen dado que la altura efectiva estaría, aún, en el caso de considerar a todo el edificio como emisor, unos 20 ó 30 mts. por encima de la superficie de la loma. No obstante se ha hecho la evaluación con este método a fin de tener una estimación para los valores máximos calculados en base a la ecuación 2.- En ambos casos se

supone una condición meteorológica tal que el tipo de estabilidad sea el F y la velocidad horizontal promedio $\bar{u} = 3$ m/s. La elección de estas condiciones puede ser algo arbitraria, porque pueden darse situaciones aún más adversas pero de no tan frecuente ocurrencia. En 5.- se ve que la concentración es inversamente proporcional a \bar{u} . C_z y C_y son funciones de tipo de estabilidad de forma tal que a mayor estabilidad es mayor la concentración evaluada por 5.-. Podrían eventualmente, ocurrir situaciones tales, que la estabilidad fuera aún más pronunciada que la estimada para el caso F, afectando así la altura efectiva de emisión y los coeficientes.

Una mayor velocidad horizontal \bar{u} puede conducir a una menor altura efectiva. El problema de determinar el valor de \bar{u} para el que la concentración es máxima a 1.500 m. es trabajoso pero se estima que en el caso F ese valor es próximo a 3 m/s. Con los valores de la tabla I y III, y para $U = 3$ M/s., $x = 1500$ m y utilizando los gráficos de Hilsmeier y Gifford (9) es posible construir la tabla VI, si se toma una altura efectiva de 30 m para la zona poblada más cercana de la colina (para la que valdrían los resultados de la tabla) aceptando como válida la ecuación 9.-.

TABLA VI

| | Kg/día Emis. máx. | Q' (g/s) | χ_p (mg/m ³) | χ_o (mg/m ³) |
|----------------------|----------------------|------------|-------------------------------|-------------------------------|
| F en CF ₄ | 760 | 9 | 0,3 | 0,1 |
| F en HF | 2.300 | 27 | 0,8 | 0,2 |
| F en partic. | 3.800 | 45 | 1,3 | 0,4 |
| F total | 6.800 | 80 | 2,3 | 0,6 |
| SO ₂ | 7.600 | 90 | 2,8 | 0,7 |

El significado de Q' , χ_p y χ_0 fué oportunamente expuesto, aquí solamente mencionaremos que χ_0 sería la concentración máxima previsible en un promedio de tiempo que va de 10 m a 1 hora con las condiciones anteriormente descritas.

Utilizando el segundo criterio se tendría la siguiente tabla

TABLA VII

| | χ (mg/m ³) (estabilidad F) |
|----------------------|--|
| F en CF ₄ | 0,1 |
| F en HF | 0,4 |
| F en partic. | 0,7 |
| F total | 1,2 |
| SO ₂ | 1,3 |

De la comparación de tablas se aprecia que con el método aquí esbozado, se calculan concentraciones máximas más bajas que con el criterio de Briggs, lo cual es correcto por cuanto con éste último método subestimaríamos excesivamente la altura efectiva de emisión.

Para el caso en que el flujo no trepara la colina y se propaga hacia el sur rodeándola, es de interés hallar la concentración en superficie y a una distancia a la fuente de 3.000 m, donde se hallaría la zona céntrica de la ciudad. Para esta estimación se considera la fuente puntual por razones ya adelantadas.

Para esta distancia con $\bar{u} = 3$ m/s y para el caso de estabilidad F y tomando como altura efectiva 50 m, es posible evaluar a partir del gráfico dado por Martín (12) que

$$\frac{\chi_{\max} \bar{u}}{Q} = 0,24 \times 10^{-4}$$

Las concentraciones máximas a esperar serían entonces las dadas en la tabla VIII.

TABLA VIII

| | χ_{\max} (mg/m ³) |
|----------------------|------------------------------------|
| F en CF ₄ | 0,1 |
| F en HF | 0,2 |
| F en partículas | 0,4 |
| F total | 0,6 |
| SO ₂ | 0,7 |

Según el mismo gráfico, a esa distancia se daría el máximo de todos los máximos en la zona, siempre bajo las circunstancias meteorológicas anotadas.

Dada la falta de seguridad respecto de la altura efectiva, se puede suponer, para el caso más desfavorable, que ella fuera igual a la altura de emisión. Con la misma fuente de información y los mismos parámetros meteorológicos, el máximo se daría alrededor de 1.000 m. de la planta. Los valores que se tendrían serían los dados en la tabla IX.

TABLA IX

| | χ_{\max} (mg/m ³) |
|----------------------|------------------------------------|
| F en CF ₄ | 0,6 |
| F en HF | 0,9 |
| F en partículas | 3,2 |
| F en total | 5,6 |
| SO ₂ | 6,5 |

Estos valores son muy poco probales porque a esta distancia (1.000 mts.) si bien se halla la colina, sería exagerado considerar a la fuente como puntual tal como es considerado por Martín (12).

Una última consideración debe hacerse sobre los valores máximos estimados en las diversas tablas. Se trata de valores que se caracterizan por responder a valores medios en tiempo mayores de 10 minutos. Valores más elevados pueden darse instantáneamente o en períodos más cortos. Para fuentes puntuales se pueden dar casos en que el cociente entre los valores instantáneos y los promedios en períodos superiores a 10 minutos es del orden de 8. No obstante se estima que este no ha de ser el caso debido a que la forma lineal del emisor tiende a suavizar los posibles picos a producirse. Desde luego eso también puede depender de la posibilidad de organizar la producción en las celdas electrolíticas de modo de no crear emisiones sumamente discontinuas en el tiempo.

6.- Posibilidad de ocurrencia de situaciones meteorológicas desfavorables.

En casi todos los casos las concentraciones previstas en el párrafo anterior se darían en condiciones estacionarias con una estabilidad vertical pronunciada y con viento Norte o aproximadamente Norte de 1 a 2 m/s. (en 10 m).

Con el fin de ilustrar sobre la frecuencia con que estas situaciones pueden darse en la zona se hizo una estadística de la información recogida por el Centro Nacional Patagónico (C.N.P.) en el último año.

En Setiembre de 1973, el C.N.P. instaló seis anemógrafos con sus respectivas torres en los alrededores de la planta de aluminio y de Puerto Madryn. Dificultades operativas debidas al traslado de personal técnico desde Buenos Aires para su atención, han reducido notablemente la cantidad de información que podríamos esperar. A partir de Agosto de 1974 y por la radicación en Puerto Madryn del personal del programa, las dificultades con los anemógrafos han sido superadas.

La estación No. 3, en el año que va de setiembre de 1973 a agosto de 1974, presenta información confiable durante 1.247 horas. Esta estación se halla ubicada dentro del área de la planta, en la ubicación que marca la fig. 1.

En base a su información se ha elaborado la tabla X.

TABLA X'

| | Nº Hs. | Estab. F | | Estab. F | | | | | | | | | |
|---------|--------|----------|-----|-------------|-------|-----|-------|----|----|-------|---------------|--------|-----|
| | | Nº hora | % | Nº de horas | | | | | | | | | |
| | | | | 330 | 340 | 350 | 360 | 10 | 20 | 30 | Total d/sect. | % | |
| 1-2 m/s | 53 | 42,30* | 3,4 | - | - | - | - | - | - | - | 5 | 5 | 0,4 |
| 1 m/s | 44 | 41 | 3,3 | 3 | 1,30* | - | 1,50* | 1 | 1 | 1,20* | 9,40* | 9,40* | 0,8 |
| 2 m/s | 97 | 83.10* | 6,7 | 3 | 1,30* | 0 | 1,50* | 1 | 1 | 6,20* | 13,40* | 13,40* | 1,2 |

La tabla X sugiere las siguientes reflexiones:

1°. Fué obser vada 1 h 50 minutos de viento Norte con menos de 1 m/s y con estabilidad F por lo que pueden darse situaciones muy cercanas a las elegidas en el parágrafo anterior para el cálculo de las tablas. Además ello se dió en

tres períodos diferentes, siendo el de mayor duración de 1 hora, que puede asimilarse perfectamente a las condiciones estacionarias que son la base de las fórmulas discutidas aquí.

2°. La estabilidad F se ha caracterizado por los casos en que la varianza de la dirección del viento es casi nula, tal como es aconsejado por Slade (5). Por otra parte, la misma velocidad reducida está generalmente acompañada por este tipo de estabilidad. Durante los períodos de inestabilidad vertical, los vientos débiles son más escasos debido a la posibilidad de intercambio vertical de momento que baja el mismo a la superficie de la tierra. Puede apreciarse en la tabla una predominancia de estabilidad F durante los períodos de escaso viento.

3°. Con vientos entre 1 y 2 m/s en momentos de estabilidad aparece sugestivamente una mayor frecuencia del sector 30°, lo que podría estar asociado a una circulación condicionada por la orografía. Si se consideran las situaciones con $\bar{u} \leq 2$ m/s se ve un doble máximo en 330° y 30°, lo que también indicaría una mayor disposición hacia direcciones más tangentes a las líneas de nivel. La escasa información no permite aún conclusiones en este sentido.

Dado que el período de confiabilidad de la estación No. 3 es tan reducido, se recurrió a la estación No. 1 ubicada en la ciudad. Ella ha obtenido registros durante 6.916 horas en el período ya citado.

La tabla XI es similar a la X, pero solamente con casos de $\bar{u} \leq 1$ m/s.

TABLA XI

| | Nº Hs. | Estabilidad F | | | | | | | | | % |
|-------|-----------|---------------|-------|-------|--------|-------|------------|-------|---------------------|----------------|-----|
| | | Nº de horas | | | | | | | | | |
| | | 330 | 340 | 350 | 360 | 10 | 20 | 30 | variabl. e/e/sec | total d/sec | |
| 1 m/s | 506 | 4.45' | 8.05' | 3.20' | 10.05' | 8.55' | 1.50' > | 3.55' | 1.20' | 42 | 0,6 |

Cabe mencionar que se han dado 3 horas de viento del Norte (360) con estabilidad F, en un solo caso y otro similar de 2 horas de 350° que es precisamente una de las direcciones más desfavorables para la ciudad.

Como antes, se puede apreciar que es común la ocurrencia de situaciones meteorológicas, tal como fueron tomadas en el parágrafo anterior.

No aparece, dentro del sector, una mayor preferencia por las direcciones 330° y 30°, como en el caso de la estación N° 3, lo que reforzaría la impresión de que en este caso sería un efecto de la topografía.

7.- Otras Condiciones Meteorológicas que Pueden Producir Situaciones Agudas de Concentraciones Elevadas.

Poco después de la salida del sol, condiciones de estabilidad neutra se producen en una pequeña capa de la atmósfera, cercana a la tierra, y que va progresando en espesor a medida que avanza el día.

En algunos casos, por pocos minutos, quizás media hora, el emisor está totalmente dentro de esta capa, mientras que por encima predominan condiciones de suma estabilidad que inhiben la mezcla hacia arriba del efluente. Esta situación puede producir altas concentraciones en superficie favorecidas por es-

caso viento, como precisamente suele ocurrir a esa hora.

Este mismo tipo de combinación de estabilidad en capas altas y gradiente neutro en los primeros metros, se produce con la brisa del mar lo que ciertamente es más peligroso en el caso que nos ocupa porque este fenómeno alcanza una duración más prolongada en el tiempo y es, además, sumamente frecuente en la zona durante los meses de verano.

Según un primer análisis, las zonas más perjudicadas por este efecto serían aquellas que se hallan hacia el oeste de la planta, pero no es seguro que sea simplemente esa la zona afectada. Un análisis de la información que es actualmente recogida, nos indica que las inhomogeneidades geográficas parecen tener una fuerte influencia en la circulación del viento en la zona de Pto. MADRYN.

El cuadro N° 11 muestra, por ejemplo, para los primeros días de setiembre de 1974, la dirección e intensidad promedio para 5 estaciones de la red a una hora determinada. Durante ese mes una intensa vigilancia ha asegurado la simultaneidad de las observaciones y su calidad. La hora 24 ha sido elegida porque durante ese mismo período la velocidad media diaria es aproximadamente la de esa hora.

A pesar de que el mes de setiembre es un mes particularmente ventoso se observan singulares diferencias en la dirección del viento. Las diferencias en intensidad son más previsibles dada la diferente altura de las estaciones.

CUADRO 11 (Velocidad en km/h)

| est. d/a | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | |
|-------------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| | dd | ff | dd | ff | dd | ff | dd | ff | dd | ff |
| 1 | 270 | 21 | 280 | x | 280 | 12 | 290 | 17 | 260 | 17 |
| 2 | 170 | x | x | x | 350 | 3 | 200 | 3 | 190 | 6 |
| 3 | 330 | 25 | 330 | 26 | 320 | 28 | 320 | 27 | 330 | 29 |
| 4 | 70 | x | 90 | 4 | 80 | 3 | 90 | 7 | 130 | 9 |
| 5 | 350 | 26 | 10 | 35 | 350 | 37 | 340 | 37 | 360 | 40 |
| 6 | 350 | 26 | 10 | 22 | 350 | 26 | 330 | 27 | 350 | 32 |
| 7 | 260 | 14 | 260 | 15 | 250 | 14 | x | x | 230 | 19 |
| 8 | 330 | 35 | 350 | 32 | 320 | 38 | x | x | 340 | 33 |
| 9 | 230 | x | 200 | 10 | 230 | 16 | 200 | 19 | 230 | 17 |
| 10 | 230 | 28 | 260 | 28 | 230 | 26 | 240 | 28 | 250 | 27 |
| 11 | 30 | 16 | 40 | 11 | 30 | 15 | 10 | 15 | 350 | 28 |
| 12 | 30 | 7 | 110 | 7 | 30 | 11 | 30 | 6 | 350 | 10 |
| 13 | 330 | 27 | 350 | 25 | 320 | 28 | 350 | 25 | 330 | 26 |
| 14 | 260 | 14 | 310 | 22 | 290 | 25 | 290 | 21 | 300 | 18 |
| 15 | 170 | 20 | 200 | 17 | 170 | 21 | 150 | 24 | 170 | 25 |
| 16 | 140 | 13 | 160 | 17 | 100 | 13 | 130 | 16 | 140 | 24 |

Es de fundamental importancia pues, estudiar en detalle cual es la circulación en la zona en las horas de brisa de mar porque valores aún más altos que los mayores dados por la tabla VII podrían producirse en estos casos. No es muy claro que (como ya fue dicho) ellos se den al oeste de la fábrica que es una zona actualmente no habitada.

8.- Conclusiones.

En el informe de Aluar (1) se expresa que las cantidades de la tabla I, pueden sufrir modificaciones sensibles durante el día, de acuerdo con la producción de aluminio. Por esta razón y por las consideraciones de las secciones V y VII es probable que valores picos más pronunciados que los de las tablas de la sección V se puedan producir. Por ello, sin descartar la importancia crónica que los efluentes pueden tener, debe vigilarse la posibilidad de situaciones con elevadas concentraciones de Fluor y SO_2 sobre algunas zonas actualmente pobladas, cuando la planta alcance metas de producción cercanas a 140.000 Tn anuales de aluminio y en el caso que no se realicen modificaciones en el sistema de emisión de las celdas electrolíticas. Esta posibilidad debe ser analizada más cuidadosamente a la luz de un mayor trabajo experimental. Observaciones simultáneas meteorológicas y químicas (medición de concentración de fluor) se están realizando actualmente. A breve plazo cuando llegue parte del material adquirido, se podrán realizar detallados estudios del fenómeno de la brisa de mar y su comportamiento cerca de la fábrica de aluminio. También se iniciarán campañas para detectar el comportamiento de los flujos de aire en condiciones de estabilidad pronunciada y escaso viento en los alrededores de la colina poblada.

Estas campañas se realizarán con simultáneas mediciones de fluor a fin de determinar, experimentalmente en la zona, el comportamiento de las fórmulas que usualmente se utilizan para la predicción de las concentraciones.

Es fundamental iniciar la determinación de concentraciones de SO_2 por cuanto la vigilancia de esta substancia es importante

debido a su toxicidad en concentraciones que no se pueden descartar a la luz del presente trabajo. Al respecto sería de interés obtener una mayor información actualizada de la compañía Aluar sobre las emisiones estimadas de SO_2 y de Fluor en diversas formas y previsible en el futuro.

Sería oportuno solicitar a la mencionada firma las estimaciones que han hecho de las emisiones de Fluor en sus diversos compuestos y de SO_2 desde el momento de iniciada la producción y junto con la indicación de la metodología que han utilizado para ello. Igualmente es de interés una mayor información sobre el funcionamiento de los aireadores.

Las tareas propuestas y en realización por el programa de "Preservación del Ambiente" referente a aspectos relacionados con situaciones de alta concentración no invalida la planificación realizada a fin de determinar los valores promedio de los diversos efluentes y su acción sobre el medio ambiente.

Es también oportuno dirigirse a las autoridades sanitarias a fin de coordinar acciones destinadas a tomar muestras de fluor en la población que podrían hacerse, por ejemplo, sobre los alumnos de las escuelas primarias.

Puerto Madryn, 21 de Octubre de 1974.

REFERENCIAS

1. Respuesta de Aluar a la nota 723/72 de la Asesoría de Desarrollo de la Pcia. de Chubut.
2. Committee on Biological Effects of Atmospheric Pollutants "Fluorides". National Academy of Sciences, Washington 1971.
3. Arthur C. Stern. "Air Pollution". Academic Press, New York 1968.
4. L. N. Less y J. Waddington. The Characterisation of Aluminium reduccion cel fume. TMS Paper Selection Paper N° A71-6
5. David H. Slade "Meteorology and Atomic Energy" U.S. Atomic Energy Comision / Division of Technical Information, OAK RIDGE 1971.
6. O.G. Sutton "Micrometeorology" Mc.Graw-Hill, New York 1953.
7. W. Elliot y M.L. Barad, 1964, Operational Prediction of Diffusion Downwind from Line Sources, Air Force Surveys in Geophysics, N° 156
8. Pasquill F. 1961, The Estimation of the Dispersion of Winnborne Material, Meteorological Magazine, 90; 33-49.
9. W.F. Hilsmeier y F.A. Gifford 1962, Graphs for Estimating Atmospheric Dispersion USAEC Report ORO-545, Weather Bureau, Oak-Ridge.
10. Gary A. Briggs, 1970, Some Recent Analyses of Plume Rise Observations. ATDL contribution N° 38 NOAA.
11. Gary A. Briggs, 1970, Diffusion Calculation for Small Emissions. ATDL Contribution N° 36 NOAA.

12. Martin D.O. 1965 U.S. Weather Bureau Air Resources Field Research Office - Cincinnati, Ohio.

1. ...
2. ...
3. ...
4. ...
5. ...
6. ...
7. ...
8. ...
9. ...
10. ...
11. ...
12. ...



A N E X O

GRAFICOS UTILIZADOS

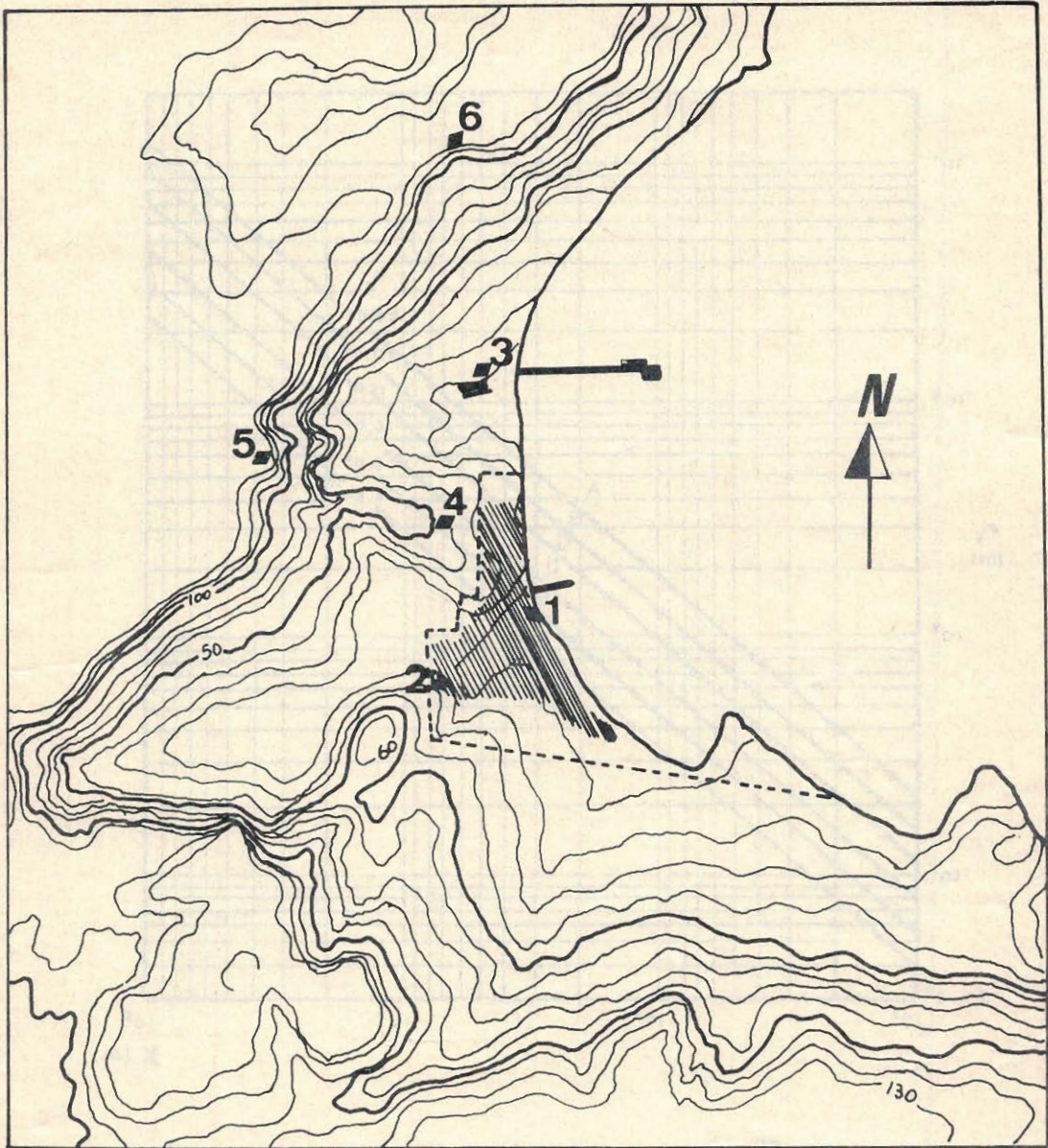


Fig. 1: Zona de Puerto Madryn

Area sombreada actualmente habitada

----- Limite de la zona urbana

Lineas de cota: Topografia (cada 10m)

Nº 1 a 6 indican la posicion de los anemografos del CNP

≡ Aireadores de ALUAR

ESCALA: 1:100.000

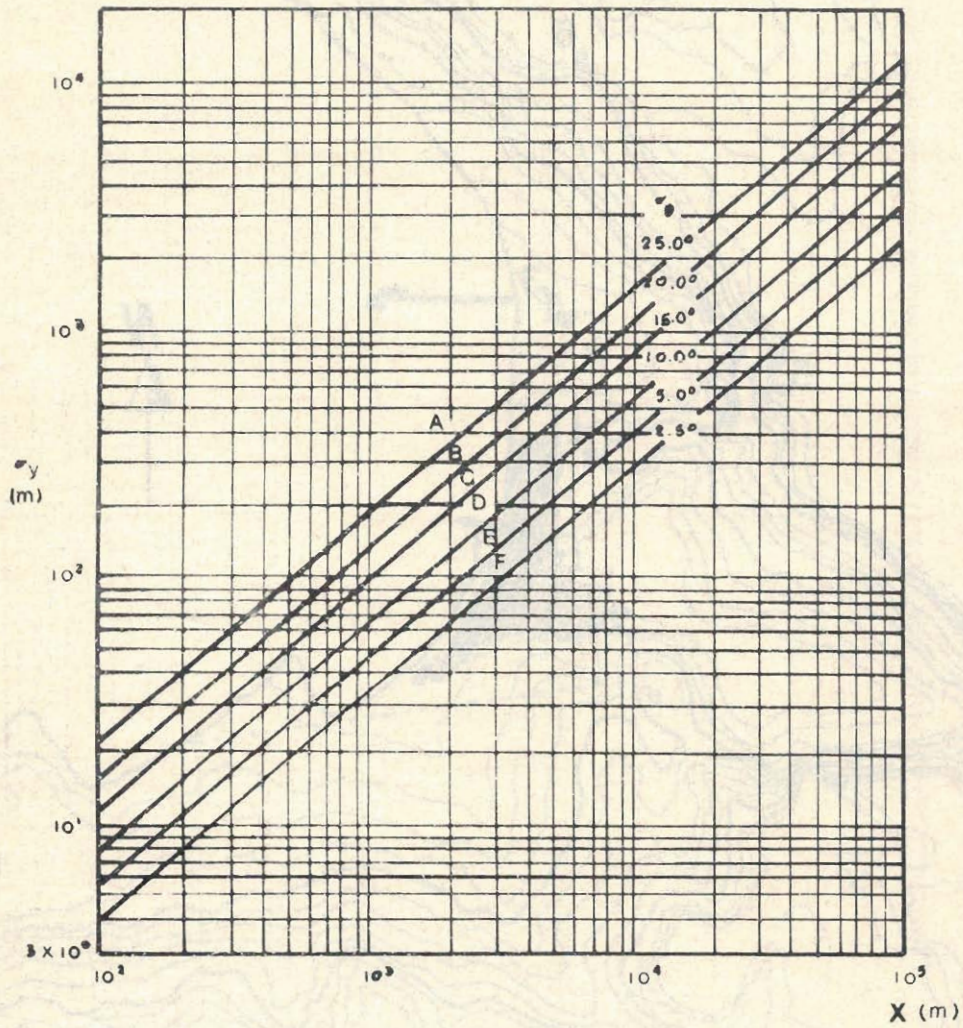


Fig. 2: \bar{V}_y en función de la distancia en la dirección del viento desde una fuente continua A - F son categorías de esta bilidad de Pasquill.

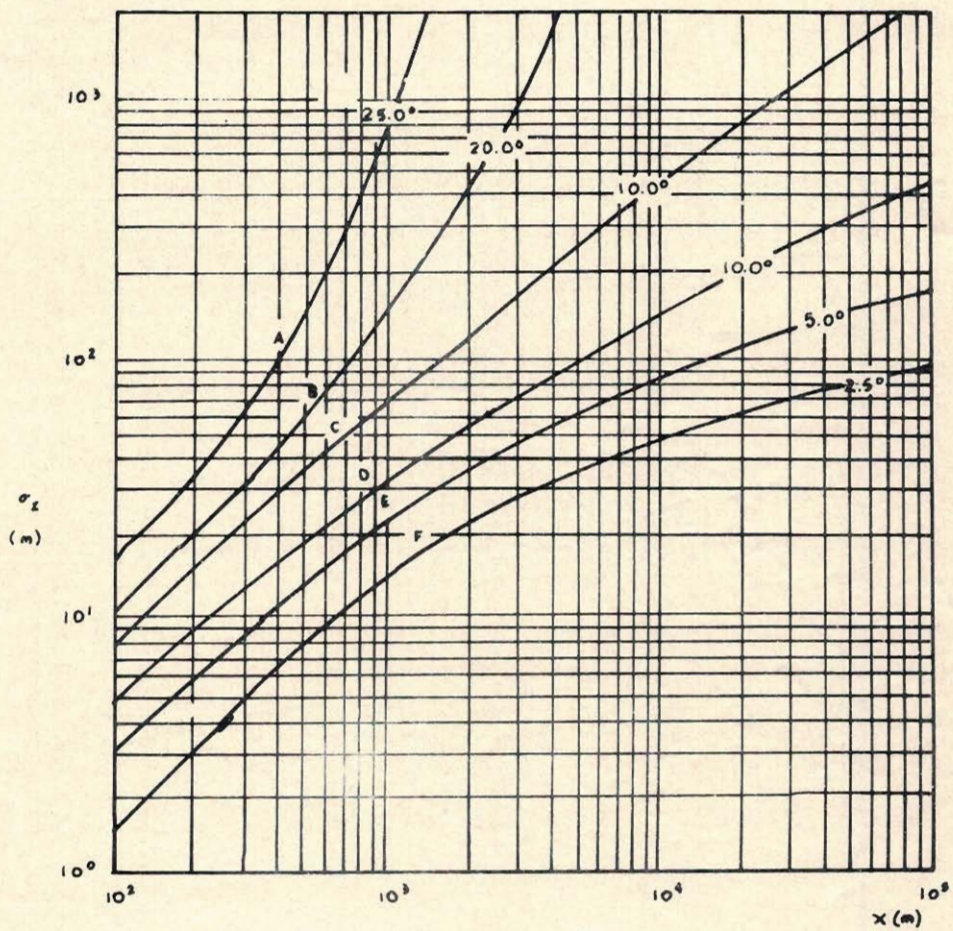


Fig. 3: en función de la distancia en la dirección del viento desde una fuente continua. A - F son categorías de estabilidad de Pasquill.-

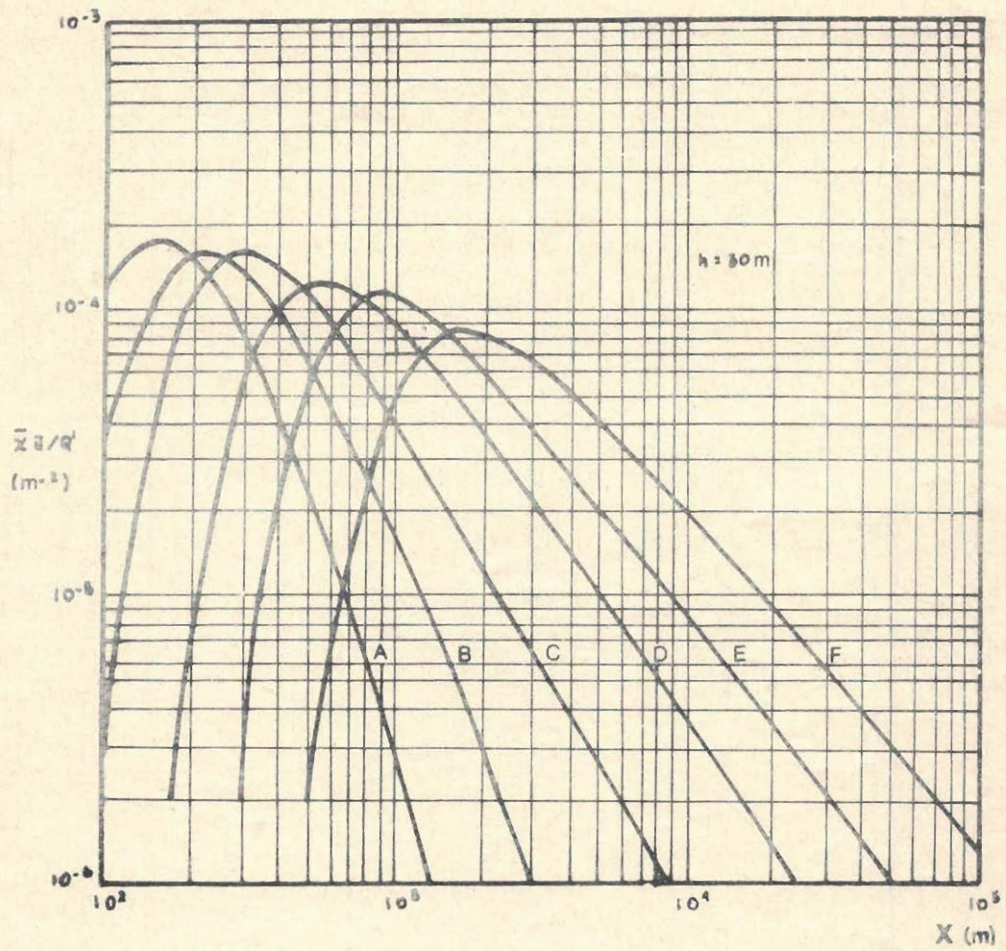


Fig. 4: Concentración normalizada en superficie para una fuente de altura efectiva de 30m. en función de la distancia de la fuente.-

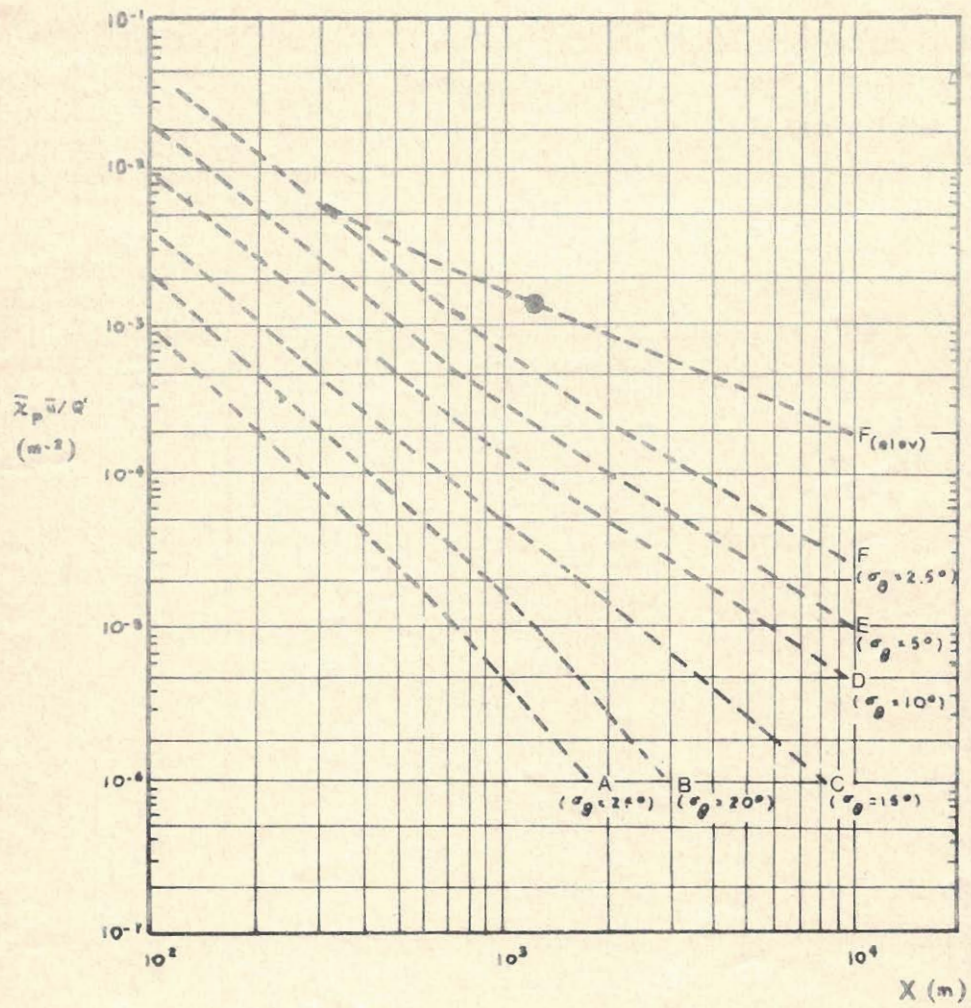


Fig. 5: Concentración normalizada en función de la distancia a una fuente continua en la dirección del viento, en el eje de la pluma.-

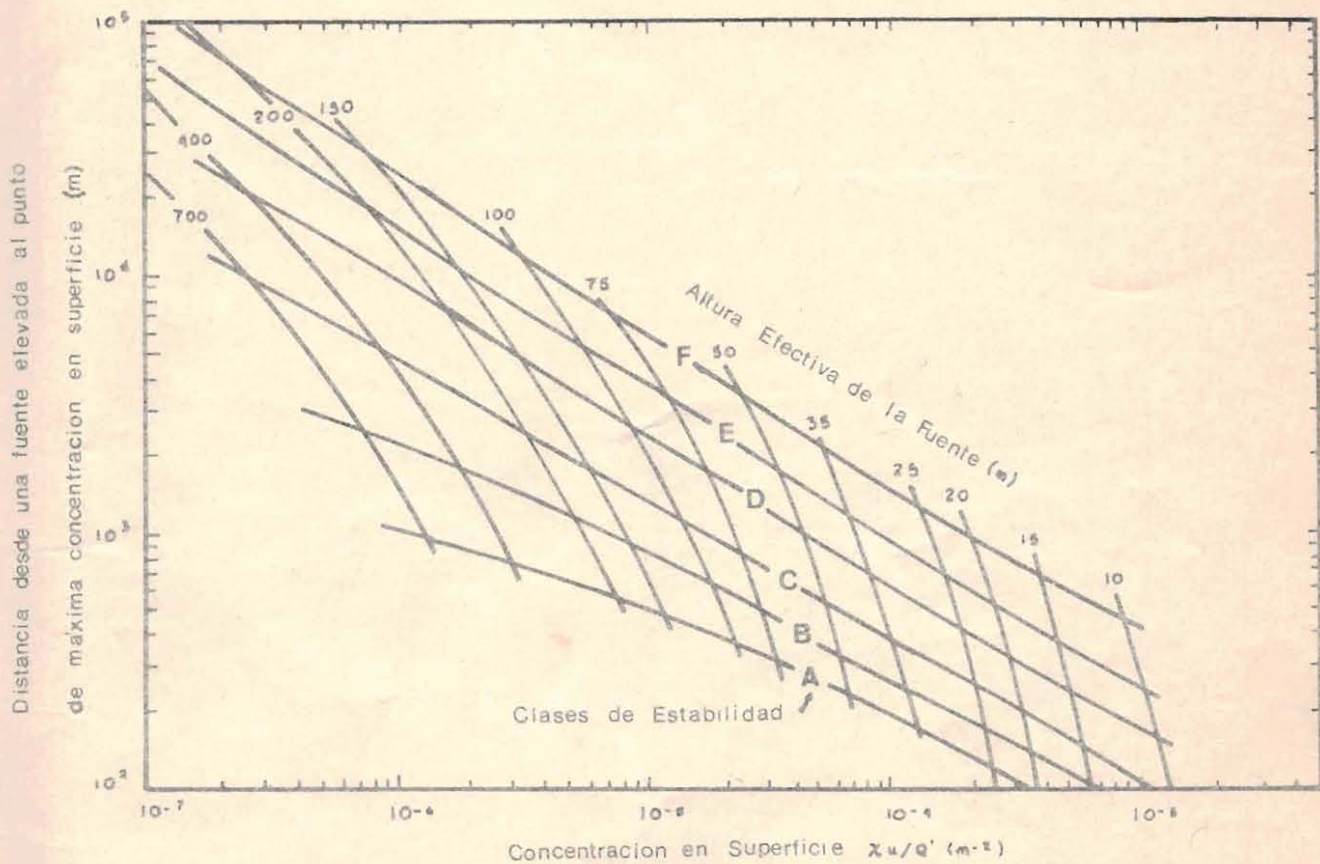


Fig. 6: Distancia de una fuente continua elevada al punto de mayor concentración y valores de concentración máxima en superficie para varias alturas efectivas y categorías de estabilidad (D.O. Martin 1965)