

# Emisarios submarinos (\*)

Por JOSE JAVIER DIEZ GONZALEZ

Catedrático Univ. Polit. Valencia

*El vertido al mar de aguas terrestres contaminadas, a través de emisarios submarinos, exige un estudio previo del grado en que puede verse afectado el medio marino. En el artículo se presentan los modelos más usualmente empleados, así como los medios de determinación de la dilución del vertido, en sus distintas fases.*

## I. INTRODUCCION

En la primera parte se han considerado en toda su generalidad los condicionantes y la parametrización de los vertidos en aguas marinas, así como las bases que permiten fundamentar el proyecto y control de estos vertidos.

Se recurre a una serie de técnicas y modelos para determinar, antes o después del proyecto del emisario, el grado en que este vertido afecte al medio, y la forma en que se produce la dispersión. Uno de los principales problemas del proyecto es definir cuánto contaminante y en qué concentración puede volver a la playa; y es normal el recurso a modelos matemáticos o físicos con objeto de obtener un valor aproximado. Ello requiere de unos análisis oceanográficos adecuados cuya utilidad no es sólo para las etapas previas al proyecto sino para seguimiento y control de funcionamiento posteriores a la construcción. En fase previa al proyecto sirven para determinar la adecuada alineación del emisario y la posición y orientación de los difusores. Las medidas de control y seguimiento son de varios tipos. Unas sirven para establecer las condiciones iniciales o naturales de las aguas receptoras, de sus fondos y sedimentos y de las playas próximas, y se realizan previamente a la descarga, otras, realizadas después de las descargas, sirven para determinar el impacto ambiental o/y para verificar la funcionalidad del proyecto y decidir sobre futuras adaptaciones o mejoras.

Los estudios previos tienen tres objetos fundamentales: determinar las características diluyentes

totales de las aguas receptoras, conocer el impacto pormemorizado sobre el ecosistema durante la fase constructiva y durante la funcional, y definir la naturaleza de los fondos con objeto de conocer las posibles soluciones para la cimentación del emisario y los difusores. Todo ello exige el estudio cuidadoso de toda un área para poder comparar los costes e impactos de distintas alternativas de longitud, posición y orientación y cimentación.

Para estimar la dilución total, para una determinada posición de los difusores, a una distancia determinada de la costa hay que considerar y cuantificar los tres mecanismos de dilución más corrientes. La masa de aguas residuales ascenderá por boyancia hasta que, por mezcla con las receptoras, adquiera una densidad igual a la del correspondiente nivel. Si nunca la adquiere, terminará por aparecer en la superficie un penacho de contaminación, cuyo tamaño sería función del grado de dilución inicial, de la profundidad del vertido y de la forma y tamaño de los difusores. Cuando la adquiere, principalmente a causa de la existencia de termoclina, el penacho queda en aguas medias, limitado por aquélla; En general se recomienda lograr estas situaciones, pero el tema no es tan claro. Si se trata de contaminación de naturaleza fundamentalmente organoléptica el objetivo es correcto. Pero si contiene sustancias tóxicas o bacterias, puede ser preferible que la contaminación quede claramente de manifiesto con objeto de prevenir y evitar determinadas actividades peligrosas.

Una vez la masa de aguas residuales mezclada con las receptoras adquiere su cota máxima la única forma de dilución posible es la derivada de la turbulencia y arrastre originados por las corrientes marinas y el resto de la dinámica oceánica. En general la

(\*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista, hasta el 30 de Junio de 1981.

componente horizontal de los remolinos es muy superior a la vertical. Es un fenómeno típico de transporte con difusión en los márgenes del penacho y deformación de éste.

Simultáneamente se estará produciendo, en los materiales contaminantes no conservativos la dilución por decaimiento.

En orden a evaluar la dilución inicial los parámetros a medir son la densidad y velocidad horizontal de las corrientes, desde el fondo a la superficie. La densidad se determina casi siempre en función de la temperatura y salinidad. Las velocidades se determinan mediante currentímetros más o menos sofisticados cuya descripción escapa al artículo.

Para evaluar las tasas de decaimiento se suele recurrir al estudio con trazadores, que también sirven para determinar velocidades horizontales. Técnicas de fluorescencia y radiactivas son las más fidedignas aunque requieren personal especializado y son costosas.

Los parámetros para definir las aguas receptoras, antes y después del vertido, y las residuales, se han tratado ampliamente en publicación anterior.

Desde el punto de vista de la construcción el conocimiento de los fondos debe permitir conocer no sólo su naturaleza, sino sus irregularidades, discontinuidades y posibles tendencias a la formación de bajos después y/o a causa de la construcción del sistema emisario-difusores.

Los estudios previos a la descarga son por su naturaleza, de corta duración y se suelen realizar durante la propia construcción del emisario (uno o dos años). Pero deben ser especificados cuidadosamente, precisamente por la falta de nuevas oportunidades para realizarlos.

En resumen, los estudios oceanográficos son esenciales para el éxito de un proyecto de vertido que respete el medio. La protección de éste a costos razonables exige un análisis detallado del problema conjunto; del sistema de tratamiento y de vertido y el desarrollo de un programa de estudios oceanográficos capaz de responder a los requisitos exigidos en el control de la contaminación del área marítima receptora concreta.

## II. MODELOS

Son el elemento auxiliar básico para el pronóstico del comportamiento físico de las aguas. Ya se ha mencionado los motivos por los cuales son nece-

sarios estos pronósticos y vamos a pasar revista muy esquemáticamente a los distintos tipos de modelos disponibles.

Sin entrar a fondo en el concepto y limitaciones de los modelos, que es parte de otro trabajo del autor, conviene puntualizar que son representaciones simplificadas y sintéticas de la realidad que permiten un análisis experimental y una prospección de la misma y, parejamente, una contrastación del modelo y de la base científica que lo sostiene.

En el problema que nos ocupa, que se refiere a la caracterización del medio ambiente y al pronóstico de su respuesta ante un vertido y su dispositivo, se dispone de dos tipos de modelos fundamentalmente, los modelos físicos o modelos a escala reducida, y los modelos matemáticos.

Los modelos físicos son de difícil empleo en este campo debido a la dificultad impuesta por las leyes de semejanza; los fenómenos derivados de la ley de la gravedad y los derivados de la tensión interfacial, que afectan a los transportes de materiales en medio acuoso obligan a leyes de semejanza distintas y, para conciliarlos, nos vemos obligados a prescindir, en el estudio de cada fenómeno, de algún otro simultáneo, lo que introduce a veces un excesivo margen de error. Pero además, se plantean dificultades impuestas por las escalas; con la escala de longitudes adecuada para el estudio de las mareas, es imposible el estudio de la influencia de la rugosidad del fondo, por ejemplo. Finalmente se encuentra el problema derivado de la dificultad para representar los materiales no conservativos de forma que ambos, el real y el del modelo, tengan tasas de decaimiento que cumplan las leyes de semejanza elegidas. Sin embargo, permiten una aproximación a los problemas que, por su visualización, puede ser instrumento privilegiado en los pronósticos.

De entre los modelos matemáticos distinguiremos entre los hidrodinámicos, que permiten determinar en una primera aproximación las velocidades que hay que introducir en los modelos de calidad de las aguas, y éstos últimos, que permiten pronosticar la evaluación concreta de un parámetro indicador de calidad.

Los modelos hidrodinámicos se basan en el planteamiento de unas ecuaciones fundamentales del movimiento y en su integración para unas condiciones de contorno impuestas por las características morfológicas y dinámicas del recinto estudiado. Sin entrar en detalles fuera de lugar, hay que señalar que las ecuaciones fundamentales son la de la continuidad y la de D'Alembert o de equilibrio de las fuerzas específicas, considerando

las fuerzas de presión, fricción, gravedad, de Coriolis y las de inercia. Fundamentalmente se aplican a la simulación de mareas en determinadas zonas o áreas limitadas y a un tratado sobre mareas se remite a los lectores.

Los modelos de calidad de las aguas, se aplican a sistemas en zonas limitadas (estuarios, etc.) y a zonas en mar abierto. La acción preponderante en el primer caso se debe a las corrientes de marea; en el segundo, a las corrientes litoral y oceánicas.

El modelo más sencillo de este tipo se aplica al caso de un canal uniforme con gradientes transversales nulos (estuario bien mezclado); el modelo admite entonces una representación unidimensional para analizar el transporte de una sustancia:

$$\frac{\partial c(x, t)}{\partial t} = P(x, t) + \frac{\partial}{\partial x} (E(x, t) \frac{\partial c(x, t)}{\partial x}) + U(x, t) \cdot \frac{\partial c(x, t)}{\partial x} \quad (1)$$

donde  $x$  es la variable espacial a lo largo del eje y  $t$  el tiempo;  $c$  es la concentración.

$P(x, t)$  es la producción neta de la sustancia en el punto  $(x, t)$  espacio-temporal.

$E(x, t)$  es el coeficiente de la dispersión horizontal.  $U(x, t)$  la velocidad de la corriente, supuesta en la dirección  $x$ .

El primer término mide el saldo neto de los incrementos positivos y negativos de la concentración de la sustancia por producción y desaparición respectivamente.

El segundo término mide las variaciones de la concentración por efecto del proceso de mezclado y transporte subsecuente. Corresponde a la dilución inicial aproximadamente.

El tercer término mide el transporte por advección, esto es por desplazamiento físico del volumen del agua. Corresponde a la dilución por difusión horizontal.

La solución se determina introduciendo las condiciones de contorno para cada sustancia y admitiendo algunas simplificaciones como la estacionalidad. La aplicación práctica más generalizada es a la determinación del déficit de Oxígeno,  $D$ , diferencia entre el valor real de oxígeno resuelto y el de saturación. Admitiendo variaciones lentas de las variables, lo cual es admisible dado el relativo largo período de la onda de marea,  $\partial D / \partial t \approx 0$ . Se puede también suponer que las condiciones geométricas y

de rugosidad varían lentamente con  $x$  por lo que  $E, U \approx$  constantes

y  $P = K_1 \cdot B - K_2 \cdot D$  (2), donde el primer término mide el consumo de oxígeno por la oxidación de la materia orgánica,  $B$ , y el segundo la generación de oxígeno por aireación.  $B$  es la D.B.O.

Resulta así la ecuación

$$\frac{Ed^2D}{dx^2} - U \frac{dD}{dx} + (K_1 B - K_2 D) = 0 \quad (3)$$

Y aplicando a la variable  $B$ , se podría ver que

$$\frac{Ed^2B}{dx^2} - U \frac{dB}{dx} - K_1 B = 0 \quad (4)$$

Sistemas de ecuaciones diferenciales simple de no difícil integración.

El modelo de descarga en mar abierto se basa en el análisis que ya hemos mencionado y que consiste en diferenciar tres mecanismos sucesivos: la dilución primaria, la difusión horizontal y la descomposición o decay.

## III. DILUCION INICIAL

En lo que sigue, en este y sucesivos párrafos se preferirá una exposición útil para aplicaciones prácticas antes que de elevado nivel teórico.

Mediante este mecanismo la concentración de contaminante de las aguas que salen por los difusores disminuye gracias a un proceso de mezclado con las aguas receptoras durante el tiempo en que se produce la boyancia y el frenado de las aguas vertidas. Esta dilución puede alcanzarse en la superficie, o, si existe termoclina, a una cota máxima entre dos aguas (Fig. 1). La densidad de las aguas residuales es normalmente inferior (0,9995) a la del agua de mar (1,0258) y, si la descarga se produce en mar sin estratificación (sin termoclina), puede alcanzar la superficie y formar allí el penacho. En caso contrario, relativamente frecuente en mar abierto, sobre todo en verano, durante el ascenso por boyancia se produce un mezclado que eleva la densidad del conjunto tanto más rápidamente cuanto más rápido sea el proceso de mezclado, lo que hace que pueda igualar la densidad correspondiente a una cota, a la que deja de funcionar el mecanismo de boyancia.

Esta situación es deseable casi siempre (ya vimos las excepciones) pues evita que los contaminantes alcancen la superficie con las ven-

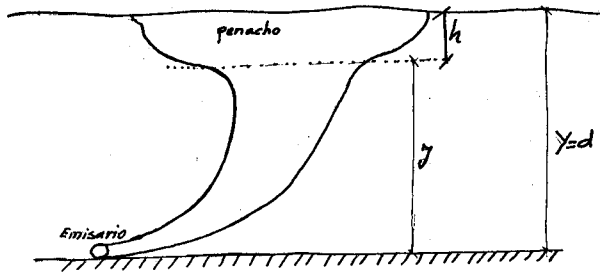


Fig. 1-a. Caso de gradiente de densidad pequeño.

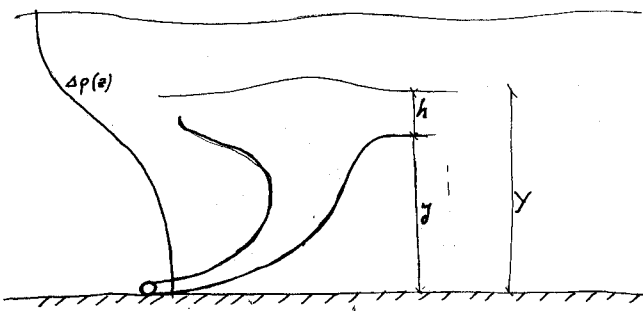
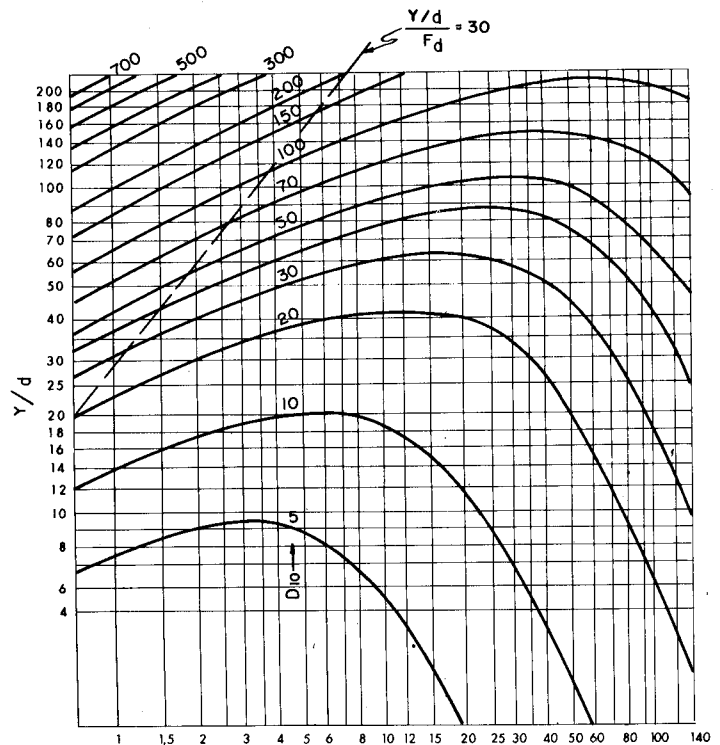


Fig. 1-b. Caso de termoclina a la cota.



$$F_d = \frac{U}{\sqrt{g' d}}$$

$$g' = g \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho} \approx 0,27$$

Figura 2.

tajas estéticas y de contacto que se derivan de ello.

La fórmula a aplicar según la Instrucción es la de Cederwall

$$D_1 = 0,54 F (0,38 \frac{Y}{d F_d} + 0,68)^{5/3}$$

donde  $D_1$  mide la relación de concentraciones en el centro de la parte superior del penacho y a la salida de difusores.

$d$ , diámetro de difusores en m.

$Y$ , profundidad de vertido en m.

$F_d$ , número de Froude =  $\frac{U}{\sqrt{0,27 g' d}}$ ,  $U$ , velocidad del eluyente en difusor en  $m s^{-1}$

Para el caso en que no exista termoclina, existe un ábaco (Figura 2) en que, en función de  $Y/d$  y de  $F_d$ , vienen determinados los valores de  $D_0$ , valor de la dilución inicial, y que es debido a Fan y Brooks. Este valor se refiere a la dilución en la parte inferior del penacho por lo que se debe corregir según la fórmula  $D_1 = D_{10} \times 1,15$ , en el caso de difusores circulares.

Para determinar la dilución media en el penacho (en superficie), y para el caso de difusor circular,  $\bar{D}_1 = D_1 \sqrt{3}$

Ejemplo: para un orificio de  $d = 0,15$  m. y una velocidad de descarga de  $U = 4$  m/s, a profundidad  $Y = 21$  m, de la figura 2, y las correcciones mencionadas.

$$D_1 = 80,5$$

$$\bar{D}_1 = 140$$

En la figura 3 se da un ábaco (de Ludwig) para determinar los radios aproximados del penacho en superficie en aguas sin termoclina. En este punto, el valor dado por la Instrucción del M.O.P. igual a  $Y/6$  no siempre está del lado de la seguridad. Y este valor establece la mitad de la distancia mínima entre difusores.

Para grandes profundidades el efecto momento se reduce (análogamente a lo que sucede si disminuye  $U$ ) y para valores mayores que 30 del cociente  $Y/d \cdot F_d$ , se puede aplicar la fórmula

$$D_1 = 0,056 \cdot Y^{5/3} Q^{-2/3} \quad (6)$$

donde  $Q$  es el caudal en  $m^3/s$ . para orificio circular.

## EMISARIOS SUBMARINOS

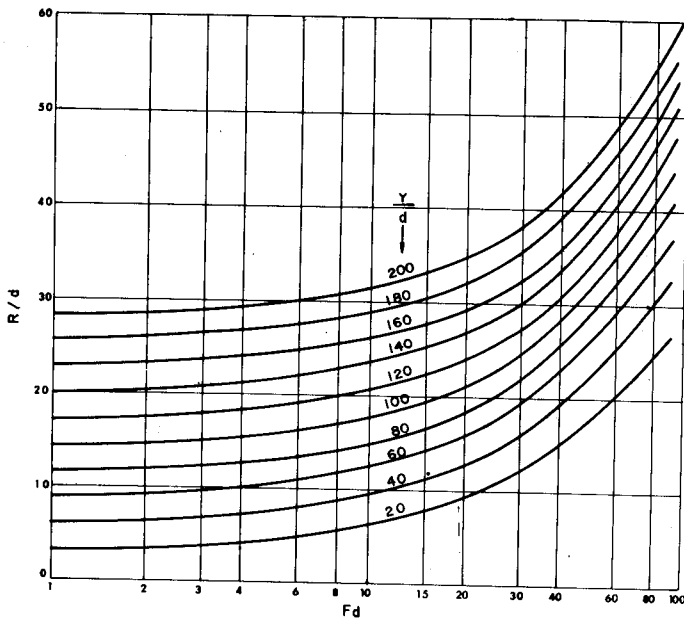


Figura 3.

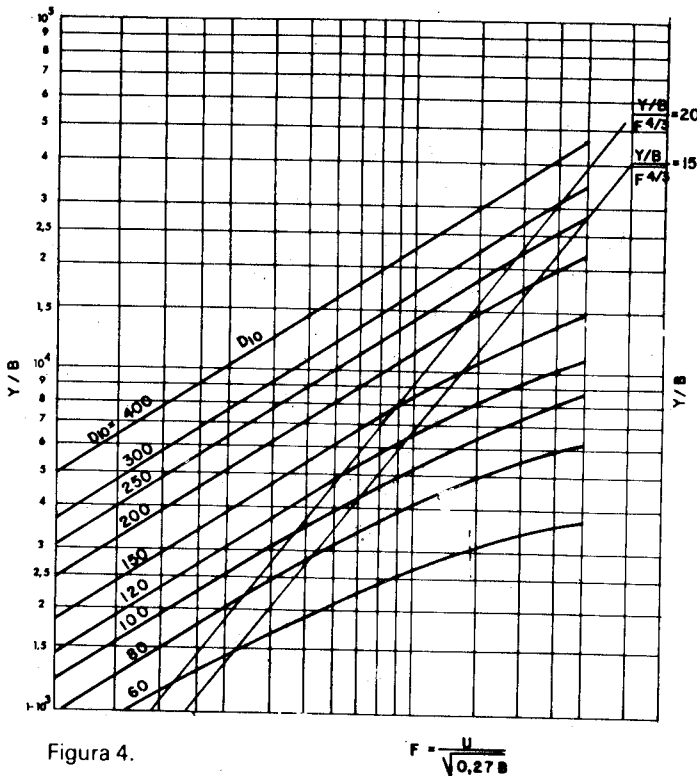


Figura 4.

Cuando se produce descarga por ranura, o cuando los difusores son de muy pequeño diámetro y están suficientemente próximos como para que el conjunto de penachos asemeje una franja, es aplicable el ábaco de la figura 4 o la fórmula

$$D_1 = 0,24 Y q^{-2/3}, \text{ con } \bar{D}_1 = D_1 \sqrt{2} \quad (7)$$

donde  $q$ , es el volumen unitario de descarga, en  $m^3/\text{seg.} \times m$ . La anchura de ranura (o de ranura equivalente) viene dada por

$$B = \frac{\text{área total de orificios}}{l \text{ (longitud de difusores)}}$$

y el valor de  $F = U / \sqrt{0,27 B}$ .

Para el caso de aguas con termoclina o, en general, con un fuerte gradiente vertical de densidades se debe determinar también la máxima cota alcanzable por el penacho. Son aplicables las siguientes fórmulas:

$$\text{Difusor cilíndrico: } Y_{\text{máx}} = \frac{85Q^{2/5}}{\Delta \rho^{3/5}},$$

$$\text{con } D_1 = 73 / \Delta \rho \quad (8)$$

$$\text{Difusor en ranura: } Y_{\text{máx}} = \frac{260q^{2/3}}{\Delta \rho},$$

$$\text{con } D_1 = 59 / \Delta \rho \quad (9)$$

y con  $\bar{D}_1 = D_1 \sqrt{2}$ .

Si llevamos a un mismo gráfico estas fórmulas y el perfil de densidades desde la superficie al fondo, es posible determinar rápidamente en cada caso, con ayuda de transparentes, la cota máxima del penacho, para diferentes profundidades y velocidades de descarga, y los diversos perfiles que se puedan presentar a lo largo del año (Fig. 5).

$\Delta \rho$  viene medido en unidades oceanográficas ( $Kg/m^3$ ).

Ejemplo:  $Y = 40$  m. descarga mediante pequeños difusores en línea, con un caudal unitario de  $0,01 m^3/s.m$ .

En invierno, el penacho alcanzaría la superficie con una dilución inicial próxima a 200:1.

En verano, el penacho alcanzaría una cota máxima de unos 21 metros, con una dilución inicial de alrededor de 100:1.

Debemos finalmente llamar la atención sobre un término que olvida la Instrucción española. Como consecuencia de la existencia de corrientes oceánicas o de marea, se produce un mecanismo de dilución que se verá a continuación. Pero también una dificultad adicional al mecanismo de dilución inicial. Mientras se elva el penacho, la dilución con agua de mar se reduce, respecto al valor determinado como teórico como consecuencia de la disminución de la velocidad de elevación, y de la cota

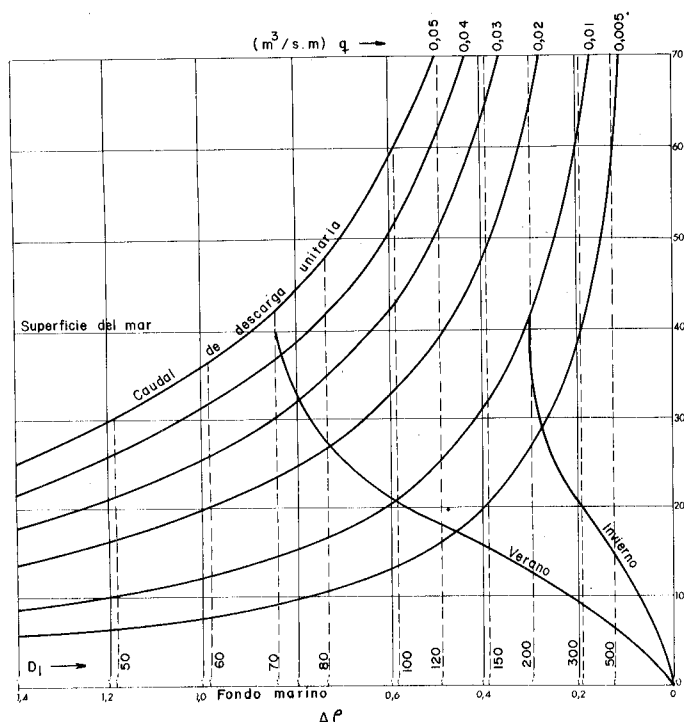


Figura 5.

alcanzada  $\bar{y}$  causa de la interferencia de las corrientes.

La condición de equilibrio depende del caudal de descarga, de la componente de la velocidad de corriente normal al difusor y de la anchura del penacho de aguas sucias. Un modelo aproximado para abordar el problema es aplicar la ecuación de la continuidad:

$$\bar{D}_1 \cdot Q = V \cdot b \cdot h \quad (10)$$

Donde V es la velocidad de corriente en m/s.

h el espesor del penacho (figura 1).

b la longitud efectiva de difusores que vierte el caudal Q, de donde q, caudal unitario vertido = Q/b y donde obtenemos  $h = \bar{D}_1 \cdot q/V$ , y teniendo en cuenta la ecuación (9), la dilución a la cota  $\bar{y}$  resulta ser, en el centro del penacho.

$$D_{1Y} = 0,38 \left( \frac{g \Delta \rho}{\rho} \right)^{1/3} y \cdot \left( \frac{1}{q} \right)^{2/3} \quad (11)$$

y la dilución media del penacho,

$$\bar{D}_{1Y} = \sqrt{2} \cdot D_{1Y} \text{ de donde obtenemos } y = f(\bar{D}_{1Y})$$

y dado que  $Y = y + h$ ,

$$\bar{D}_{1Y} = \frac{0,34 \cdot V \cdot 1/q \cdot Y}{V(1/q)^{1/3} + 0,34} \quad (12)$$

Ejemplo: Sea un efluente de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . que se descarga a lo largo de 400 m. de difusores a 40 m. de profundidad, y cuya máxima cota posible en su ascensión es  $Y_{\text{máx}} = 30 \text{ m}$ , según se ha comprobado.  $V = 0,3 \text{ m.s}^{-1}$ .

$$\bar{D}_{1Y} = \frac{0,34 \cdot 0,3 \cdot 80 \cdot 30}{0,3 \cdot 80^{1/3} + 0,34} = 150$$

#### IV. DILUCION POR DIFUSION HORIZONTAL

Desde que los productos de vertido alcanzan una cota en que exista velocidad de corriente, la mezcla de aguas vertidas y receptoras que hemos llamado penacho y que se genera en la dilución inicial, es transportada por las corrientes, lográndose así una dilución adicional que se conoce como debida a difusión horizontal o lateral (en general los resultados son óptimos si se disponen los difusores formando una línea perpendicular a la dirección de la corriente).

Véase el esquema de la figura 6.

Sea  $C_0$  la concentración original en el momento de entrar en el campo de corriente,  $t = 0$ . Al cabo de un tiempo  $t_1$  la concentración se habrá difundido lateralmente aproximadamente como se indica en la figura.

El campo del efluente (penacho) se desplaza en la dirección del eje x tomado en la de la corriente, con la velocidad de ésta. El análisis más detallado para establecer la concentración  $c(x, y)$  en cada punto se debe a Brooks. Su modelo se basa en la ecuación de la continuidad; se supone que existe analogía entre los fenómenos de turbulencia e interacción

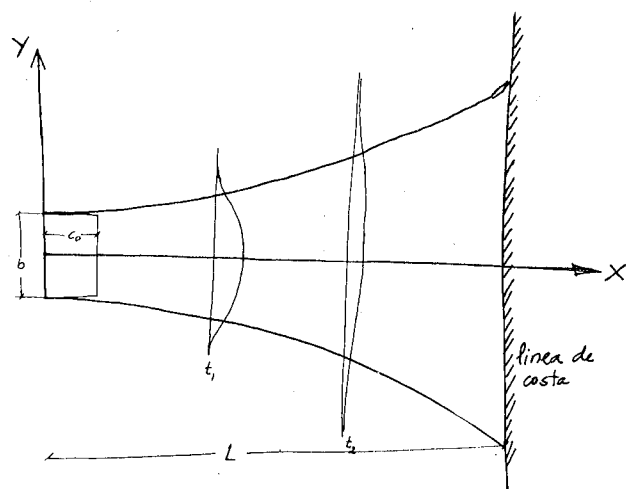


Figura 6.

molecular y se emplea la ley de difusión molecular de Fick:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon \cdot \frac{\partial c}{\partial y} \right) \quad (13)$$

donde E es el coeficiente de difusión lateral, determinable experimentalmente y que parece proporcional a la anchura del campo del efluente en cada punto (x).

Como resultado de su análisis, Brooks propone una fórmula para expresar la dilución mínima para un tiempo t después de comenzado el proceso y determinable, del lado de la seguridad, por cociente entre el recorrido (en línea recta) y la velocidad de corriente, y que es

$$D_2 = \frac{1}{\text{f.e.s.} \left( \sqrt{\frac{1,5}{(1 + 13t/b^{2/3})^3 - 1}} \right)} \quad (14)$$

Donde f.e.s. (x) (función de error estandar de x), =  $2/\sqrt{\pi} (x - x^3/3 + x^5/5.2! - x^7/7.3! + \dots)$

Y para facilitar el uso de la cual se ofrece el ábaco de la figura 7.

b es la proyección normal a la corriente de la longitud de difusores

a es una constante denominada coeficiente de difusividad y que en el ábaco se ha tomado 1,65 m<sup>2</sup>/3/hora.

Se puede deducir de la figura 7 que para una longitud de difusores grande se produce una dilución D<sub>2</sub> pequeña. Ello empero no significa que sea un inconveniente. Por el contrario, la dilución inicial es creciente con b y, lógicamente, posteriores diluciones como es la D<sub>2</sub> no son fáciles de conseguir sobre fuertes valores de la inicial.

La longitud de difusores es una variable pues, positiva para el producto D<sub>1</sub> D<sub>2</sub> aunque no lo sea explícitamente para la dilución por difusión horizontal, D<sub>2</sub>. Además, y teniendo en cuenta el análisis del párrafo anterior, favorece la posibilidad de que el penacho no aflore en superficie.

Para el caso de descarga puntual en orificio circular, y sólo con diámetro d menor a 150 mm., se puede determinar el valor de D<sub>2</sub> por la fórmula propuesta por Pearson

$$D_2 = \frac{3,65 h \sqrt{K.V.X}}{Q} \quad (15)$$

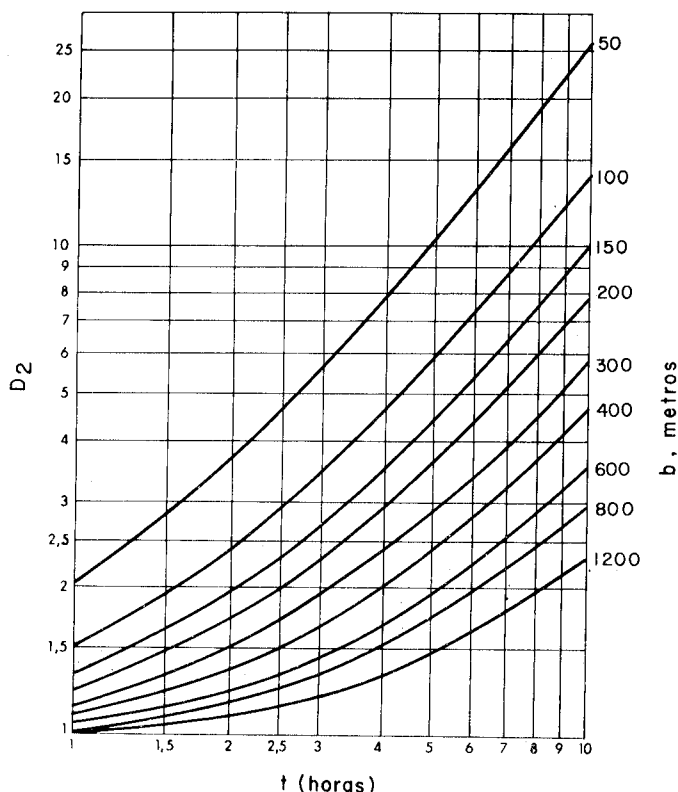


Figura 7.

donde V viene en m/hora y Q en m<sup>3</sup>/hora (totales)  
X es la distancia recorrida en metros  
K es el coeficiente de difusión horizontal en el punto de descarga = 1,63 (2R)<sup>4/3</sup> m<sup>2</sup>/hora  
y R y h, radio y espesor del penacho, como ya se dijo, en metros.

## V. DILUCION TOTAL

La dilución total conseguida para un contaminante conservativo es el producto de las dos diluciones anteriores: D<sub>1</sub> x D<sub>2</sub>

Pero en el caso de sustancias no conservativas, típicamente los microorganismos y en concreto los coliformes, la dilución total es D<sub>1</sub> x D<sub>2</sub> x D<sub>3</sub>, donde D<sub>3</sub> mide la dilución por desaparición o muerte que se estudió en el tema anterior. Recordaremos que estos procesos siguen una cinética de primer orden, en que la ley de concentraciones cumple la ecuación diferencial,

$$dc/dt = -k.C, \text{ cuya solución es de la forma, } C_t = C_0 \cdot 10^{-t/T90}$$

donde C<sub>0</sub>, C<sub>t</sub> son las concentraciones inicial y al cabo de un tiempo t,

k la tasa de la mortalidad unitaria y T 90 el tiempo necesario para reducir la concentración al 10 % de la inicial, característico de cada sustancia y condiciones ambientales.

La dilución por decay, es entonces,  $D_3 = C_t / C_0 = e^{-kt} = 10^{-t/T90}$

A efectos de proyecto se suele partir de la concentración en coliformes como parámetro y entonces el valor de D<sub>3</sub> suele ser el preponderante.

Por ello es muy importante determinar con cuidado la tasa de muerte de coliformes para cada área de estudio.

La supervivencia de bacterias en aguas marinas ha sido estudiada por muchos investigadores y se puede concluir que su desaparición es el resultado de la combinación de algunos de los siguientes factores físico-químicos y biológicos: a) la presencia de sustancias tóxicas; b) la adsorción y posterior floculación y/o sedimentación; c) la acción de las radiaciones solares; d) la falta de nutrientes; e) la presencia de bacteriófagos; f) la acción depredadora de algunos protozoos que utilizan los coliformes como alimento, y g) la acción competitiva de otros microorganismos. Todos tienen una gran variabilidad y pueden ser preponderantes. Ello hace más necesaria la determinación experimental de la tasa de decay en cada zona, mediante análisis *in situ*. La instrucción española propone para valores de T<sub>90</sub>, 1,5 horas en el Mediterráneo y 2 horas en el Cantábrico y Atlántico, datos que parecen estar del lado de la seguridad.

## VI. CONCLUSIONES

Los emisarios submarinos que conduzcan las aguas residuales a suficiente longitud de la línea de costa como para conseguir una adecuada dilución de los vertidos son una alternativa para suavizar el problema de la contaminación de los mares y de las costas. Su elección sin embargo debe realizarse tras un estudio comparativo que contemple la alternativa ofrecida por un superior grado del tratamiento anterior al vertido. Y todo ello ha de haberse planteado dentro de la problemática más

general de la ordenación del territorio y de la asignación de recursos escasos —tierras, aguas, calidad de vida, ecosistema.

El proyecto y ejecución del emisario exige de determinaciones oceanográficas que se refieren al medio acuático y a la naturaleza y características resistentes y morfológicas de los fondos. Con estos datos, y definidos los valores estándares prescritos para los parámetros se definen las características del emisario y del sistema de difusores.

La longitud del emisario viene dada fundamentalmente por la concentración inicial de coliformes y por la capacidad de dilución de las aguas, cuyo parámetro más característico es la velocidad de las corrientes, que afecta a D<sub>1</sub> y a D<sub>2</sub>. Sin embargo también está en relación con las demás variables de proyecto. En cualquier caso, realizados los cálculos sobre la concentración en coliformes, deberá comprobarse que se satisfacen las demás prescripciones.

La orientación de la línea de difusores es función, fundamentalmente del régimen de corrientes en el punto de vertido, pero también de la posición relativa y orientación y morfología de la línea de costa y de la ordenación por empleos de ésta.

En función de la topografía de los fondos y de la cantidad y características de los vertidos, por una parte, y de la dinámica litoral por otra, se definen el tipo, materiales y características hidráulicas del emisario.

La decisión sobre vertido por orificio único, rama o difusores está en relación con los tres puntos anteriores, aunque la tendencia general es al empleo de difusores. Dentro de éstos hay que definir el número y tamaño de los orificios, lo que está en relación con el volumen de vertido, la longitud total de difusores, la del emisario y la separación entre orificios, que es función de las características del vertido (densidad y velocidad) y de las del punto del mismo (profundidad, gradiente vertical de densidades, dinámica marina y capacidad de dilución).

La variabilidad de las soluciones es evidente y la buena práctica, el conocimiento de la zona, sobre todo en relación con las facilidades constructivas y un adecuado estudio económico deben acotar las más adecuadas.