

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS DE LA TEORIA Y DESARROLLO DE UN SISTEMA
DE COMPUTO ELECTRONICO PARA EL DISEÑO DE
EMISORES SUBMARINOS DE AGUAS RESIDUALES

T E S I S

PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA

DE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

COMO REQUISITO PARA OBTENER

EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERIA

(AMBIENTAL)

ING. MIGUEL ANGEL HIDALGO LOPEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA

1 9 8 9 .

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

1) INTRODUCCION.	(1)
2) DESCRIPCION DEL PROBLEMA.	(2)
3) OBJETIVOS Y ALCANCE.	(5)
4) ESTUDIO DE LA DIFUSION DE CONTAMINANTES EN EL MAR.	(6)
4.1) REVISION DE LA TEORIA DE LA DIFUSION EN EL MAR.	(8)
4.2) ANALISIS MATEMATICO Y MODELOS DE DIFUSION.	(14)
5) ESTUDIO DE LOS DIFUSORES COMO MEDIO DE ELIMINACION DE CONTAMINANTES EN EL MAR.	(26)
5.1) PROYECTO DE DIFUSORES PARA UNA BUENA DILUCION.	(27)
5.2) ESTUDIO HIDRAULICO.	(50)
6) SISTEMA EN COMPUTADORA.	(66)
6.1) DESCRIPCION DEL SISTEMA.	(66)
6.2) MODO DE OPERACION.	(69)
6.3) EJEMPLO.	(86)
7) CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	(100)
8) BIBLIOGRAFIA.	(101)
AFENDICE.	(104)
SIMBOLOGIA.	(118)
LISTADOS DEL SISTEMA	

1.- INTRODUCCION

Ahora mas que nunca , se tiene que estar conciente de la influencia que tiene la actividad del hombre en los procesos naturales y en la naturaleza misma , y digo ahora porque debido a la "Superindustrialización" y a su crecimiento desmesurado, la humanidad está acabando materialmente con su medio natural (del cual alguna vez surgió).

Es por esto que es urgente que haya una adecuada Planificación Gubernamental , al respecto de tópicos tales como la solución de Problemas apremiantes de contaminación , establecimiento de normas de calidad adecuadas , cumplimiento y seguimiento de estas normas , educación a niveles primarios para crear conciencia del valor de la naturaleza , reuso y tratamiento del agua y basura de manera exhaustiva , reforestación de bosques y selvas devastadas por la actividad industrial agrícola y ganadera , legislación y seguimiento al respecto de la tala de árboles , conciliación de intereses económicos y políticos involucrados , etc .

Se intuye que esta lista resultaría ser muy grande y que además variaría considerablemente de un autor a otro ; sin embargo sea quien fuere el que estudiara esta problemática, es imperativo que estas y otras acciones pasen del papel a la aplicación directa y decidida, para que el futuro deje de ser una amenaza y se convierta en un proyecto de vida.

Muchos de los problemas apremiantes de contaminación se relacionan con el agua; ya que gran parte de los desechos industriales y domésticos de la civilización son conducidos a los cuerpos de agua existentes en la naturaleza, como son los ríos, lagos, lagunas, esteros, el mar, ríos subterráneos, acuíferos etc.

El motivo principal de este trabajo, es el de tratar de resolver, aunque sea en parte, el problema de la eliminación de los aguas negras municipales en el mar. El método tratado aquí, aunque antiguo, sigue siendo utilizado con éxito hasta la actualidad con nuevas técnicas para el análisis, proyecto y construcción de estos sistemas de eliminación de aguas residuales.

2.- DESCRIPCION DEL PROBLEMA.

El crecimiento de las ciudades costeras, aunado a la introducción de las normas de calidad del agua con fines recreativos y de pesca y a la conciencia del carácter nocivo de la contaminación del mar; han dado como resultado muchos años de estudio, construcción y seguimiento de soluciones al problema de la eliminación de las aguas de desecho.

Un método muy usado en la actualidad para la eliminación de este tipo de desechos, es el de los "Emisores Submarinos". Esta solución, como ya fue señalado, es muy utilizada debido a que se han obtenido buenos resultados y a que representa una solución más económica, que el tratamiento de los desechos en tierra, cuando el emisor está colocado en un lugar adecuado y éste cuenta con difusores que trabajan eficientemente (ref.1)

Es así que este trabajo se enfocará al estudio de sólo una pequeña parte del proyecto de un emisor submarino; ya que en la solución de este problema han de concurrir diversos especialistas en oceanografía, geología, biología, así como en ingeniería civil (sanitaria, hidráulica y estructural).

En general el propósito de estas estructuras, es el de disponer en el mar a las aguas residuales de tal manera que la calidad del agua en la zona costera, no rebase la normas especificadas y mas aún que ni siquiera llegue a haber agua diluida en las zonas costeras usadas para la recreación (según trabajos recientes en el tema). Sin embargo, hay otras consecuencias que resultan de la disposición de aguas residuales que contengan desechos orgánicos, que deberán tenerse en cuenta para el éxito en el proyecto de estas estructuras, los cuales se refieren a los problemas derivados de los malos olores, la visibilidad de

1: "Diffusion of Sewage Effluent in an Ocean Current" by Norman H. Brooks, Proceedings of the First International Conference on Waste Disposal in the Marine Environment (Berkley, CA), pag 246, Jul 1959.

la mancha de contaminantes en el mar a simple vista y a la afectación de las especies marinas que habitan la zona. En general la meta en el proyecto de un emisor submarino es la de minimizar los costos para evitar los efectos adversos que la descarga pudiera tener en el ambiente.

Para lograr estas metas, es necesario cumplir con las siguientes condiciones:

-- Que el desfogue del emisor este alejado lo suficiente de la costa, con el objeto de aumentar el tiempo en que los contaminantes viajan hacia esta para propiciar la dilución de los mismos por la difusión en el mar, la floculación y sedimentación de los sólidos finos y en general la oxidación bioquímica; aún considerando que estén involucradas corrientes costeras.

-- Que en la salida del emisor se dispongan una serie de orificios llamados difusores cuya función es la de dispersar el agua residual en varios puntos de la tubería de este, con el propósito de aumentar la superficie de contacto entre el agua de mar y el agua negra, para obtener una dilución mas eficiente del contaminante y para alcanzar los siguientes objetivos: una oxidación efectiva de los sólidos finos suspendidos y compuestos orgánicos disueltos, la reducción de la población bacteriana (patógena) por el efecto bactericida del medio marino, la prevención de olores desagradables y la sedimentación de partículas más densas que el agua de mar. (ref.2)

-- Que se aplique un tratamiento primario (que pudiera ser sedimentación con eliminación de sólidos flotantes, grasas y aceites), el cual asegura la protección de las aguas receptoras y en los casos que lo ameriten, aplicar desinfección artificial por medio de cloración por ejemplo. (ref.2)

Cabe señalar que consideramos que el efluente no contiene desechos industriales peligrosos, ya que se trata de aguas negras domésticas. En el caso de que se tuvieran este tipo de contaminantes sería necesario usar otro tipo de tratamiento más avanzado, antes de su eliminación en el mar.

2: "Diffusers for Disposal of Sewage in Sea Water" by A.M. Rawn, F.R. Bowerman, Norman H. Brooks, Transactions of the American Society of Civil Engineers, pag 344 2affo.

La estratificación de del ambiente marino debida a la diferencia en densidades por variaciones en la temperatura , a menudo juega un papel muy importante en la eliminación final del difusor y de la pluma de la dilución resultante. Esto se debe a que la dilución inicial de los contaminantes es una función creciente de la distancia recorrida por estos, desde que fueron liberados por el difusor hasta el punto donde la fuerza boyante que los hacía emerger cesa. Así pues si esta estabilidad se alcanza rápidamente, la dilución puede ser muy pobre.

En la actualidad debido a que hay una gran variedad de contaminantes que van mezclados en las aguas de desecho que son resultado de las diferentes actividades del hombre, es necesario hacer una clasificación de estos en el agua de desecho a disponer , antes de pensar en su eliminación en el mar o en algún cuerpo de agua, debido a que puede que no sea la solución adecuada para algún tipo de contaminantes que el desecho contenga. Así pues los contaminantes en aguas residuales de cualquier origen pueden ser:

- 1- Sales y Sedimentos Inorgánicos Naturales.
- 2- Calor de desecho.
- 3- Desechos Orgánicos.
- 4- Rastros de metales.
- 5- Compuestos Químicos Orgánicos Sintéticos.
- 6- Materiales Radioactivos.
- 7- Agentes Químicos y biológicos para la Guerra.

En cada caso habría necesidad de hacer consideraciones especiales, pero es obvio que no podría pensarse en disponer en el mar o en algún cuerpo de agua, efluentes del proceso primario que contuvieran contaminantes de los dos últimos tipos, a menos que sean separados del efluente a disponer. Así también con respecto a los otros tipos de contaminantes y sobre todo en los tipos 4 y 5, , se deberá tener mucho cuidado en determinar las concentraciones máximas que pueden ser asimiladas por el cuerpo de agua receptor; ya que errores u omisiones en este sentido podrían afectar a las cadenas alimenticias y finalmente también al hombre.

3.- OBJETIVOS Y METAS.

El objetivo Principal de este trabajo es el de ahondar un poco más en el estudio de los emisores submarinos, Para Propiciar que en nuestro país se aplique la construcción de este tipo de estructuras con un mejor proyecto y con más conciencia al respecto del impacto que pudieran tener en el ambiente. soluciones mal implementadas que traigan como consecuencia el deterioro de un recurso tan rico en fauna y flora, del cual la humanidad alguna vez dependerá en forma cada vez más importante, como lo es el mar.

Otro objetivo no menos importante, es el de divulgar a la herramienta de la computación, elemento ya indispensable en todas las actividades productivas del hombre y en la ingeniería en particular. Ya que en verdad creo que las computadoras Pueden llegar a ser un verdadero aliado de la productividad y la eficiencia, cuando se les da un uso adecuado y bien dirigido.

Las metas de este trabajo en particular son el análisis de las teorías más aceptadas de la difusión de contaminantes en el mar y de la dilución inicial del agua residual, exponer el procedimiento de cálculo hidráulico de la estructura difusora y demostrar las capacidades de la computadora en las soluciones de ingeniería.

4.- ESTUDIO DE LA DIFUSION DE CONTAMINANTES EN EL MAR.

Como ya se ha dicho antes, para conseguir que en una descarga subacuática, la norma de calidad del agua en la costa se cumpla, hay que tratar de que el efluente se mezcle y se diluya con el agua de mar, para así reducir lo necesario su concentración. Este efecto se logra principalmente como consecuencia de dos procesos que son: la mezcla y dilución turbulenta inicial que se produce a la salida de los difusores y durante la ascensión de la mancha, provocada por la diferencia en densidades entre el agua de mar y el efluente (lo cual será visto en el capítulo siguiente) y la mezcla y dilución debida a la turbulencia natural del mar, la cual constituye la difusión de contaminantes, que es lo que nos ocupa en este capítulo.

Estos dos procesos se llevan a cabo en zonas diferentes que son cerca y lejos de la descarga, respectivamente. No obstante existe una tercera zona entre estas dos en donde el campo de contaminantes permanece sin cambios y donde la dinámica depende del momento y la fuerza boyante. La evaluación del mejor proyecto deberá incluir el análisis de las tres zonas descritas, aunque en realidad el ingeniero sólo tendrá el control de las variables de proyecto en la primera de ellas.

Es importante señalar que según Norman H. Brooks (ref 1), "Focos emisores submarinos pueden tener éxito sin la mortalidad floculación y sedimentación de los microorganismos y sus partículas acarreadas", lo cual ocurre en los procesos mencionados. También el mismo Brooks señala que, "Aun en las condiciones más favorables respecto de la difusión de contaminantes en el mar y el proyecto de los difusores, prácticamente no se podrán alcanzar diluciones mayores de 1000 a 1".

Esto quiere decir que si tenemos una cuenta inicial de coliformes de 1.000.000/ml y se necesita alcanzar la norma de 10/ml, tendría que haber una reducción de microorganismos debida a la muerte, floculación y sedimentación del orden de 100/ml (por lo menos), para que aunada a la dilución de 1000 a 1 se pudiera conseguir la meta señalada.

En general el decaimiento bacteriano se logra por medio de tiempos largos en el viaje hacia la costa, lo cual se obtiene

disponiendo a la descarga lo más lejos posible de la zona costera, si es que entran en juego corrientes costeras.

Una mancha de contaminantes puede alcanzar a la zona costera de dos formas. Si la descarga llega a un nivel inmediatamente inferior a la superficie, por efecto de la fuerza boyante, el contaminante puede ser transportado a la costa por corrientes superficiales. Si el campo de contaminantes se forma en algún estrato más profundo, este puede ser llevado por corrientes más profundas y entonces llegar a la superficie por medio del oleaje en aguas más someras. Esto último deberá tenerse muy en cuenta para los casos en que el campo de contaminantes se forme en estratos profundos, lo cual trae como consecuencia efluentes pobremente diluidos que posteriormente son transportados a la costa y después a la superficie por el oleaje. Para evitar estas ineficacias, sería necesario llevar a cabo un programa de monitoreo que midiera las diferentes estratificaciones y corrientes de transporte temporales de la zona a elegir, antes de considerar un proyecto definitivo. Este programa de monitoreo debería considerar las variaciones horarias, diarias y estacionales tanto de las estratificaciones por densidades como las direcciones y velocidades de corrientes que pudieran poner en peligro el buen éxito del proyecto aprobado.

Con lo que respecta a las corrientes, se pueden graficar las mediciones de velocidad con respecto al tiempo para deducir algunos parámetros estadísticos como la corriente media. Otro método usado para examinar los datos de transporte oceánico, es la construcción de un diagrama progresivo de vectores de dirección a una cierta profundidad, con el objeto de darnos una idea del movimiento de las partículas en el agua. Un método más significativo que el anterior consiste en considerar que la corriente es especialmente homogénea en un instante pero variable temporalmente, siendo una función $u(t)$, donde $0 < t < T$. Así las cosas, la localización de las partículas del contaminante al tiempo " T " y expulsadas al tiempo " $(\tau) < T$ " será

$$x(\tau, T) = \int_{\tau}^T u(t) dt \quad (1)$$

donde $x=0$ en el punto de la descarga o sea en el difusor.

Por este medio y asumiendo la misma homogeneidad espacial, se puede obtener un estimado de la probabilidad de transporte a algunos puntos en especial, como las Playas más cercanas, calculando el valor de $x(t,T)$ para cada t y T y Probando si el resultado Presenta una dirección hacia el Punto en consideración o no.

4.1.- REVISION DE LA TEORIA DE LA DIFUSION DE CONTAMINANTES EN EL MEDIO MARINO

Antes de adentrarnos en el tema es conveniente señalar que la dilución del contaminante que se obtiene por la difusión de este en el medio marino, una vez que se forma el campo del desecho, no es del todo significativa; ya que mientras a través de un difusor bien diseñado se pueden obtener diluciones iniciales del orden de 100 o más, por medio del mezclado posterior y considerando varias horas de recorrido, se llegan a obtener diluciones con factores que van de 5 a 10 (ref 3). Mas importante que esto son las corrientes marinas predominantes, las cuales ya fueron citadas en párrafos anteriores.

La teoría en que se basa el capítulo que nos atañe, pertenece Norman H. Brooks del "California Institute of Technology". No obstante hay mucho escrito sobre la difusión en el océano y en la atmósfera, la propuesta tratada aquí es una de las más aceptadas aún en la actualidad y debido a que el enfoque del presente trabajo no está dirigido a la elaboración de una recopilación de todas ellas, es que nos basamos en esta.

Quando un efluente es liberado desde la salida de una tubería o desde los orificios de un difusor, lleva consigo energía

3: "Mixing in Inland and Coastal Waters" by Hugo B. Fisher, E. John List, Robert C. Y. Koh, Jorg Imberger, Norman H. Brooks, Academic Press, Inc. (1979).

cinética debida a su velocidad y energía potencial debida a su sumergencia. Pocos minutos despues y en una distancia relativamente corta, esta energía es disipada y posteriormente el mezclado lateral de la mancha ocurre solo por efecto de la turbulencia natural que es generada dentro de la corriente marina en movimiento. Es con este fenomeno con el que lidiaremos todo este capitulo; el cual, como todo el presente trabajo, solo se enfocará al caso de los emisores dispuestos en el mar.

Una mancha de contaminantes es mezclada con el oceano, por medio de movimientos irregulares o turbulencia en el mar. Fluctuaciones turbulentas tendientes a dispersar al flujo, se suman a los movimientos descritos. Conforme la mancha en difusión se haga más grande, escalas más y más grandes de turbulencia contribuirán con la mezcla del contaminante. Es así que intuitivamente hay algunas bases para considerar, que es razonable tener un coeficiente de difusión que se incremente con la escala o el tamaño de aquello que está siendo mezclado. Para el caso de la difusión molecular, donde la mezcla de una sustancia en otra se lleva a cabo por entero a través del movimiento molecular aleatorio, este no sería el caso.

La teoría que nos ocupa está basada en la ley de Adolph Fick, el cual a su vez trabajó con los estudios de Fourier que describen el flujo de calor en los cuerpos. La aportación de Fick fue la de aplicar el modelo de Fourier para el flujo de calor, al proceso de difusión molecular.

Para el proceso de difusión unidimensional, la ley de Fick puede ser representada matemáticamente como

$$q = -D \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2)$$

donde q es el flujo de masa del soluto, C la concentración de la masa del soluto en difusión, D el coeficiente de proporcionalidad y el signo negativo indica que el proceso va de alta a baja concentración del soluto. Las dimensiones del factor de

Proporcionalidad son $[L^2/T]$ y se le denomina coeficiente de difusión o difusividad molecular. Para el caso de la difusión en tres dimensiones la ley se representaría como sigue

$$\mathbf{q} = -D \nabla C \quad (3)$$

donde \mathbf{q} es el vector del flujo de masa con componentes (q_x, q_y, q_z) en un sistema cartesiano coordenado.

Haciendo el análisis de la conservación de masa en el fenómeno de la difusión y con ayuda de la ley de Fick en tres dimensiones, podemos llegar a una segunda relación que es verdadera, independientemente del tipo de transporte que se lleve a cabo. Esto quiere decir que puede ser usada tanto para el caso de la difusión molecular como para el que nos atañe. Así pues considérese al volumen V con una superficie S y permítase a $C(x,t)$ ser la masa por unidad de volumen en la posición x y al tiempo t . Entonces la masa total en el volumen V estará dada por

$$\int_V C(x,t) dV \quad (4)$$

Si el flujo de masa a través de la superficie del volumen que estamos considerando está dado por $\mathbf{q}(x,t)$ entonces la conservación de masa requiere que

La variación de la masa total con respecto al tiempo, dentro del volumen considerado.	=	Flujo de masa a través de toda la superficie cerrada del volumen.
---	---	---

o sea

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V C(x,t) dV + \oint_S [q(x,t) \cdot n] \cdot ds = 0 \quad (5)$$

donde n es un vector unitario normal al elemento de superficie "ds". Entonces la expresión anterior puede ser escrita como sigue

$$\int_V \frac{\partial C}{\partial t} dV + \oint_S q \cdot ds = 0 \quad (6)$$

Aplicando el teorema de Gauss que dice que el flujo escalar de una función vectorial a través de una superficie dada, es igual a la integral del producto escalar del operador "nabla" por la función original. Con lo que la integral de superficie se puede escribir como

$$\oint_S q \cdot ds = \int_V \nabla \cdot q dV \quad (7)$$

puendiendose escribir a la expresión (5) como

$$\int_V \left(\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot q \right) dV = 0 \quad (8)$$

Debido a que el volumen V es arbitrario, podemos llegar a las expresiones.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = - \nabla \cdot q \quad (9)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = - \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) \quad (10)$$

en notación vectorial y coordenadas cartesianas respectivamente. Si como ya se dijo la ley de Fick es aplicable, entonces sustituyendo la ecuación (3) en estas últimas expresiones tenemos que

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C \quad (11)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (12)$$

en notación vectorial y coordenadas cartesianas respectivamente. Las expresiones (12) y (11) describen la propagación de la masa de una sustancia en un fluido considerando que esto ocurre en todas direcciones.

Así PUES aplicando la ley de Fick Para nuestro cometido , podría representarse el fenómeno de la difusión en el medio marino como

$$q = - E \frac{\partial C}{\partial x} \quad (13)$$

en donde E es el coeficiente de difusión turbulenta para el medio marino, el cual varía conforme el campo del contaminante crece, o sea conforme la escala aumenta y el flujo de masa q es la transferencia de material a través de un área unitaria y en la unidad de tiempo.

Ha sido muy criticada la utilización de la ley de Fick unidimensional con un coeficiente de difusión constante, para la solución del problema de la difusión en el mar; sin embargo según Norman H. Brooks, el modelo puede ser usado razonablemente con un coeficiente que varíe con la escala o la amplitud del área transversal, que el campo de contaminantes abarca en el océano.

Ahora el problema sería obtener la forma en que varía el coeficiente de difusión con la escala. Por medio de numerosos estudios experimentales sobre la difusión de un campo en dos dimensiones, se han obtenido numerosos datos los cuales se han graficado para obtener la ley que determina la variación del coeficiente turbulento. Así pues Okubo (1974) los ha recopilado todos para asegurar que la ley de variación está dada por

$$E = \alpha L^{4/3} \quad (14)$$

donde L (cm) es la escala o tamaño de la mancha y "alfa" varía entre 0.002 y 0.01 para unidades en el sistema cgs. Así pues el coeficiente de difusividad turbulenta estaría en (cm²/sec).

A la relación anterior se le denomina "Ley de los 4/3" y con ese nombre nos referiremos a esta más adelante.

4.2.- ANALISIS MATEMATICO Y MODELOS DE DIFUSION

La figura (1) muestra esquemáticamente la idealización del Problema al que Queremos darle solución.

La distribución espacial de la concentración del contaminante se representa con $C(x,y)$. La estructura difusora se idealiza como una fuente lineal de flujo establecido perpendicular a la corriente, la cual se considera uniforme y establecida con una velocidad U .

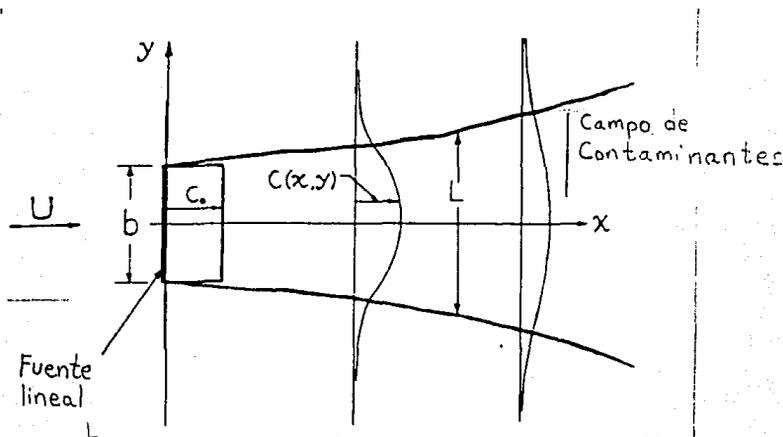


Fig. 1

Para efectos de la idealización, se considerará que la dilución inicial ya ha sido alcanzada antes de la salida de la fuente lineal. Así pues si por medio del mezclado inicial se obtienen diluciones de 100:1, entonces la concentración inicial de coliformes a la salida de nuestra fuente sería de 10,000/ml cuando la cuenta del efluente sin diluir fuera de 1,000,000/ml.

La perturbación del flujo oceánico y la distribución de

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS DE LA TEORIA Y DESARROLLO DE UN SISTEMA
DE COMPUTO ELECTRONICO PARA EL DISEÑO DE
EMISORES SUBMARINOS DE AGUAS RESIDUALES

TESIS

Presentada a la División de Estudios de Posgrado de la

FACULTAD DE INGENIERIA

de la

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

como requisito para obtener

el grado de

MAESTRO EN INGENIERIA

(AMBIENTAL)

ING. MIGUEL ANGEL HIDALGO LOPEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA

JULIO DE 1989

temperaturas será despreciada. Se asumira que el campo de contaminantes formado por nuestra fuente ideal, se mueve a la misma velocidad que la corriente prevalectante a través del eje de las x 's. Así pues conforme x se incrementa el mezclado de la mancha tiene lugar y la función inicial dada para la concentración $C(x,y)$ se extiende, tal como se ve en la figura 1.

La escala L usada como base para el cálculo del coeficiente variable de difusión, será considerado igual al ancho del campo de contaminantes ($L=2*\text{SQR}(3)*\text{DESV.STANDARD.DE } C(x,y)$), como se verá más adelante.

Se asumen las siguientes condiciones:

- 1.- Es válida la ecuación (13) con E variable.
- 2.- El coeficiente E es función de L que a su vez es función de x (no de y).
- 3.- El mezclado vertical se desprecia (eje z).
- 4.- El mezclado longitudinal en el sentido del flujo se desprecia (eje x).
- 5.- Se supone flujo establecido.
- 6.- La rapidez con que desaparecen los coliformes (debida a la mortalidad y sedimentación) es proporcional a la concentración del contaminante en general ($-kC$, donde k será la constante de declinación aparente).

Las primeras dos condiciones ya han sido discutidas en párrafos anteriores.

Con lo que respecta a la tercera condición, debe hacerse notar que el coeficiente para la difusión vertical es muchas veces menor que el correspondiente para la difusión horizontal. Esto se debe a la estabilidad producida por la estratificación por densidades en el océano (Munk, Ewin and Revell, 1949). Más aún, considerando cuan limitada es la profundidad en el sitio donde se dispone un emisor con respecto a la extensión del mar, es obvio pensar en que el mezclado vertical estaría más limitado que el horizontal.

El mezclado longitudinal se desprecia con el objeto de simplificar la ecuación diferencial que resulta de este análisis;

sin embargo se justifica por el hecho de que el gradiente de concentración en el sentido de las x 's, es muy pequeño comparado con el lateral debido a la advección o transporte en esa dirección.

Al respecto de la quinta condición, si bien es cierto que en un problema real se presentarían variaciones en el flujo tanto en la descarga como en las corrientes involucradas, es necesario primero resolver el caso simplificado que considera flujo establecido. Sin embargo, debe hacerse notar que al considerar flujo establecido en las condiciones más desfavorables (corriente máxima hacia la costa y descarga pico), se está dentro de un punto de vista conservador y lo más probable es que se obtengan concentraciones de coliformes calculadas mayores que en la realidad.

No obstante la constante de declinación k es muy difícil de determinar, es necesario considerar a la sexta condición con el objeto de hacer al análisis más versátil. Así pues está claro que si únicamente nos interesara la dilución física del efluente, con sólo considerar a $k=0$ en el análisis que sigue tendríamos otra posibilidad de análisis. Información al respecto de los valores de k pueden ser vistos en la referencia de Gunnerson (1958).

Ahora para la deducción del modelo para la difusión de contaminantes en el mar, asumiremos que el transporte debido a la advección (transporte por el movimiento del fluido) y a la difusión, son procesos separados pero a la vez aditivos. Esto es equivalente a considerar que la difusión tiene lugar dentro del fluido en movimiento, tal como si éste estuviera en reposo. También se asume que estamos lidiando con un proceso de difusión turbulenta, para lo cual puede ser aplicada la ley de Fick con un coeficiente que varía de acuerdo a la ley de los $4/3$.

La rapidez de transporte de masa por unidad de área, producida por la velocidad de la corriente u con componentes (u,v,w) , sería (uC) . Así pues la relación completa para el transporte de masa en difusión, deberá de contemplar al flujo advectivo más el difusivo, dando la siguiente relación

$$q = uC + (-E \nabla C) \quad (15)$$

Sustituyendo la expresión anterior en la ecuación (9) se obtiene

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\nabla \cdot (uC) + E \nabla^2 C \quad (16)$$

o también

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot uC = E \nabla^2 C \quad (17)$$

Se puede demostrar fácilmente que

$$\nabla \cdot (uC) = (\nabla \cdot u)C + u \cdot \nabla C \quad (18)$$

De la expresión (18) y haciendo uso de la ecuación de conservación del volumen de un fluido, que dice que la suma de las variaciones de las componentes de la velocidad en dirección de los ejes coordenados con respecto a sus direcciones respectivas

es igual a cero, lo cual puede ser representado con el producto punto entre el operador "nabla" y el vector u . Con lo cual tenemos la ecuación

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \cdot \nabla C = E \nabla^2 C \quad (19)$$

lo cual en coordenadas cartesianas queda

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = E \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (20)$$

Esta ecuación comúnmente es llamada ecuación de la difusión advectiva o simplemente ecuación de difusión.

Si consideramos a las condiciones tres y cuatro de párrafos anteriores y a la componente de la velocidad de la corriente en la dirección del eje de las x 's como la determinante en el proceso advectivo, resulta la expresión

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = E \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad (21)$$

Una segunda consideración sería la de que la variación de la concentración del contaminante con respecto al tiempo, pudiera ser representada como (kC) , donde k fuera la constante de declinación de microorganismos por muerte, floculación y sedimentación de estos y sus partículas acarreadas. Esta suposición está fundamentada en el hecho de que tiempos mas largos en el

viaje del contaminante en el mar, son favorables para el decaimiento microbiano, siendo este el principal factor que varía con respecto al tiempo. Así entonces la expresión anterior puede escribirse como

$$-E \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + u \frac{\partial C}{\partial x} + kC = 0 \quad (22)$$

que es nuestra ecuación diferencial básica para la solución del problema de la difusión advectiva de contaminantes en el mar.

-Solución de la ecuación diferencial:

La ecuación (22) puede ser resuelta por medio del semiplano $x \geq 0$ con las condiciones de frontera de

$$\begin{aligned} \text{En } x = 0; \quad & \text{y para } -b/2 < y < b/2, \quad C = C_0 \\ & \text{y para } \text{ABS}(y) > b/2, \quad C = 0 \end{aligned}$$

donde "b" es la longitud del difusor, "ABS(y)" es el valor absoluto de "y" y "C" es la concentración o masa por unidad de volumen del contaminante.

Comenzaremos eliminando el término de la declinación del contaminante por medio del cambio de variable

$$C = \phi e^{-kx/u} \quad (23)$$

Sustituyendo en la ecuación diferencial, derivando y reduciendo

algebraicamente, se llega con facilidad a la expresion

$$E \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = u \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (24)$$

donde "fi" es de hecho la concentracion del contaminante sin considerar la declinacion de este; en otras palabras podemos resolver el problema completo de la difusion y despues multiplicar al resultado por el factor $(e^{(-kx/u)})$ que eliminamos, donde (x/u) es el tiempo de travesia a cualquier estacion en particular x .

Si el coeficiente de difusion turbulenta (E) fuera constante en la ecuacion (24), entonces esta seria la ecuacion clasica de la transmision de calor en los cuerpos. No obstante por medio de otro cambio de variable, podemos transformar a dicha ecuacion en la ecuacion de calor como sigue

$$\text{Permitase a } E = E_0 f(x)$$

$$\text{donde } E = E_0 \text{ en } x = 0$$

Asi entonces la ecuacion (24) se transforma en

$$E_0 \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = \frac{u}{f(x)} \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (25)$$

y definiendo una nueva variable (x') donde

$$dx' = f(x) dx$$

llegamos a la ecuación diferencial

$$E_0 \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = u \frac{\partial \phi}{\partial x'} \quad (26)$$

debido a que x'/u representa el tiempo que tarda en viajar el contaminante a cualquier estación en particular podemos hacer que, por conveniencia

$$dx' = u dt'$$

así llegamos a la ecuación

$$E_0 \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = \frac{\partial \phi}{\partial t'} \quad (27)$$

La solución que presenta Norman H. Brooks en la referencia (1) es

$$\phi(x', y) = \frac{C_0}{2\sqrt{\pi E_0 t'}} \int_{-b/2}^{b/2} e^{-|y-y'|^2/4E_0 t'} dy' \quad (45)$$

Donde: $t' = x'/u$

El procedimiento matemático para llegar a la solución anterior se presenta en el apéndice de este trabajo.

La ecuación (45), representa a la distribución de concentraciones a lo largo del eje "y", la cual tiene la forma de la campana de Gauss con media igual con cero y varianza igual a "2Eot". De hecho a esta expresión se le conoce como distribución Gausseana de concentraciones y cuando la masa es igual a la unidad representa a la distribución normal.

No obstante ya tenemos la solución de la ecuación diferencial (27), aún no conocemos a la función $f(x)$ que nos indica como varía el coeficiente de difusión turbulento con la distancia ($E = E_0 f(x)$). Esto se debe a que esta función depende de la escala o ancho del campo de contaminantes, que puede ser definida en términos de la distribución de concentraciones en la dirección "y".

Inicialmente ($x=0$) sabemos que la escala "L" es igual al largo del difusor "b". Para encontrar el valor de "L" para otros valores de "x" aguas abajo de la fuente, definimos a

$$L = 2\sqrt{3} \sigma \quad (51)$$

donde "sigma" es la desviación estandar de la función de distribución de concentraciones en una estación dada sobre el eje "x".

Esta expresión está fundamentada en el hecho de que para una distribución Gausseana, una dispersión igual a la de (51) representa aproximadamente el 95% del área total bajo la curva o sea la masa total del contaminante en alguna estación del eje "x".

La varianza puede estar dada por la expresión

$$\sigma^2 = \frac{1}{C_0 b} \int_{-\infty}^{\infty} y^2 \phi(x', y) dy \quad (55)$$

La función $f(x)$ que veníamos buscando puede ser obtenida de la ecuación diferencial ordinaria

$$\frac{dx'}{dx} = \frac{E}{E_0} = f(x) \quad (56)$$

de acuerdo con los cambios de variable que hicimos en un principio.

Si escogemos a la ley de los "4/3", dada por la expresión (14), como la que rige la variación del coeficiente turbulento para la difusión, entonces tenemos la ecuación diferencial

$$\frac{dx'}{dx} = \left(\frac{L}{b} \right)^{4/3} \quad (57)$$

Sustituyendo (51) y (55) en (57) se obtiene

$$\frac{dx'}{dx} = \left[\frac{12}{C_0 b^3} \int_{-\infty}^{\infty} y^2 \phi(x', y) dy \right]^{2/3} \quad (58)$$

Sustituyendo (45) en la ecuación anterior e integrando se obtiene la ecuación diferencial cuya solución nos da la función buscada. Así se puede comprobar que la solución de (58) está dada por

$$\frac{x'}{b} = \frac{1}{2\beta} \left[\left(1 + \frac{2}{3} \beta \frac{x}{b} \right)^3 - 1 \right] \quad (59)$$

donde

$$\beta = \frac{12 E_0}{u b} \quad (59')$$

Debido a que lo que nos interesa es la concentración máxima del contaminante para una estación dada sobre el eje "x", consideraremos a "y" = 0 en (45); Ya que la concentración buscada se encuentra sobre el eje "x", al centro de nuestra distribución de concentraciones. Ahora con el objeto de dejar terminada nuestra solución, vamos a resolver la integral de la expresión citada por medio del cambio de variable

$$v = \frac{y'}{\sqrt{4E_0 \frac{x'}{u}}} \quad (60)$$

Obtendremos los límites de la integral considerando sólo a la mitad de esta (o sea de cero hasta "b/2") y también al valor de "x'" de (59). Con lo cual tenemos que el límite superior de la integral toma la forma de

$$v(b/2) = \frac{b/2}{\sqrt{\left(1 + \frac{2}{3} \beta \frac{x'}{b}\right)^3 - 1}} \quad (64)$$

Así pues la solución (45) toma la forma

$$\frac{\phi}{2} = \frac{C_0}{\sqrt{\pi}} \int_0^{v(b/2)} e^{-v^2} dv \quad (65)$$

Sabemos que la función error estándar esta definida por

$$\operatorname{erf} z = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-v^2} dv \quad (66)$$

por lo que la expresión (65) queda

$$\phi_{\max}(x) = C_0 \operatorname{erf} \frac{3/2}{\sqrt{\left(1 + \frac{2}{3} \beta \frac{x}{b}\right)^3 - 1}} \quad (67)$$

que es la solución a nuestro problema para encontrar la concentración máxima en alguna estación sobre el eje "x".

En el apéndice del Presente trabajo, se obtiene la solución anterior por medio de un desarrollo matemático más detayado.

No debemos olvidar que (67) nos daría la concentración máxima o al centro de la mancha, de los contaminantes conservativos o que no decaen con el tiempo. No obstante y de acuerdo con la ecuación (23), podríamos obtener la concentración máxima del contaminante que considerara la existencia de de una parte no conservativa en el efluente descargado, con sólo multiplicar a (67) por el factor exponencial de (23).

5.- ESTUDIO DE LOS DIFUSORES COMO MEDIO DE DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES EN EL MAR

Como ya se ha dicho antes, la meta fundamental de un emisor submarino es la de llevar a cabo el mezclado inicial del efluente con el agua circundante. Este es el unico paso en que el ingeniero tiene el control sobre el fenomeno; ya que una vez que la mancha alcanza su estabilidad con respecto a la fuerza boyante que la impulsaba hacia arriba, la difusion del contaminante se completa por medio del efecto turbulento natural.

El mezclado inicial se obtiene usualmente a traves de una estructura difusora que consiste de un tubo distribuidor que contiene muchos orificios a lo largo de una linea. Para darnos una idea de las dimensiones de esta estructura, pondremos el ejemplo del emisor de 3.05 m. de diametro y 8350 m. de longitud, construido por el "Orange County Sanitation District" en 1970 (ref 3), el cual tiene un difusor transversal de 1829 m. al final de la tuberia principal con 500 orificios espaciados a 7.32 m. . Los orificios tienen tamaños que van de 7.52 a 10.49 cm. y descargan a una velocidad promedio de 4 m/s con un gasto de diseño de 12,700 lts/s.

La dilucion inicial obtenida en los emisores que utilizan difusores para la disposicion de aguas residuales, depende primordialmente del gasto, de la longitud de la estructura difusora o difusor, de la profundidad de la descarga y de las corrientes dominantes y estratificación por densidades en el mar. De todas estas características sólo la longitud del difusor y la profundidad de la descarga están bajo el control del ingeniero. Por lo que uno de los primeros pasos en el proceso de diseño debería ser la determinación de estas características.

Existen otras variables que se consideran secundarias, como tamaño de orificios y espaciamiento de estos, que tienen menor impacto en la determinación de la dilucion inicial del efluente y que deberán ser consideradas en etapas posteriores del diseño.

Como ya se habia citado antes, la existencia de estratifica-

cion por densidades en la zona de descarga, usualmente debida a la variación de temperaturas, a menudo juega un papel de vital importancia en la determinación de la profundidad del emisor y en la dilución inicial del efluente; ya que si este alcanza su estabilidad con respecto a la fuerza boyante que lo hace subir en una distancia muy corta, debido a que se ha liberado a una gran profundidad mezclándose con agua fría del fondo, el resultado será un efluente pobremente diluido. Esto se debe a que la dilución es una función creciente de la distancia recorrida por el efluente que emerge a la superficie.

Un factor no menos importante en el diseño de este tipo de estructuras, es el de la hidráulica interna tanto del emisor como de la estructura difusora. El difusor es básicamente un tubo múltiple, el cual deberá presentar una distribución del flujo razonablemente uniforme a todo lo largo. Además en nuestro sistema de disposición posiblemente se tendría que considerar una estación de bombeo o de disipación de energía.

La teoría presentada a continuación es quizás la más moderna sobre el tema, sin embargo en la bibliografía número (19). Norman H. Brooks entre otros presenta la que había sido aceptada anteriormente y aun en la actualidad, la cual se basa en datos experimentales graficados para la obtención de la dilución inicial en forma manual.

5.1.- DISEÑO DE DIFUSORES PARA UNA EFICIENTE DILUCION DE LAS AGUAS RESIDUALES

En el capítulo cuatro se hizo referencia al respecto de que el fenómeno de la mezcla y dilución de aguas residuales en el mar se lleva a cabo en tres zonas. La primera está localizada cerca de la descarga, en la cual la mezcla tiene lugar en los chorros flotantes producto del momentum y flotabilidad de la descarga. Sin llevar un orden secuencial, la segunda zona se localiza lejos de la descarga en donde la mezcla es completada por las corrientes marinas y la turbulencia natural, la cual es relativamente insensible a los eventos de la primera zona (este fenómeno es el que corresponde al capítulo cuatro). Entre estas dos zonas existe una tercera donde el campo de contaminantes se forma y en donde la dinámica depende también del momentum y la flotabilidad en la descarga y de las corrientes oceánicas.

En este subcapítulo nos dedicaremos al estudio de la primera

y tercera zonas. Sin embargo es conveniente volver a señalar que el ingeniero sólo tendrá control sobre el fenómeno (a través de algunas de las variables que intervienen en este), en la primera de estas zonas y que las características adoptadas aquí afectarán de manera determinante a la tercera.

Debido a que en la práctica a menudo el océano presenta estratificaciones por densidades que varían con una relación no lineal y que además esta relación varía dinámicamente con el tiempo, no existen aún las herramientas suficientes para pronosticar de manera exacta la mezcla de las descargas de aguas residuales en el mar. Afortunadamente se pueden desarrollar diseños bastante efectivos sin la ayuda de esas herramientas, como veremos en el resto de este subcapítulo.

Comenzaremos por obtener la ecuación para estimar la dilución en una pluma bidimensional flotante; sin embargo antes debemos hacer algunas definiciones.

a) Un "jet" o chorro es la descarga de un fluido desde un orificio o ranura en un cuerpo muy grande del mismo o uno similar.

b) Una pluma es el flujo que aparenta ser un chorro, pero que difiere de este en que es producida por una fuente de energía potencial que provee al fluido de flotabilidad negativa o positiva relativa a su entorno.

c) El "Flujo de Masa" del chorro, que es la masa del fluido que pasa por una sección transversal de este en la unidad de tiempo, está representado por la expresión

$$\rho \mu = \int_A \rho w \, dA \quad (68)$$

en donde " ρ " es la densidad del fluido en cuestión, " μ " se define como el flujo de masa específico o flujo volumen (que no es más que el gasto en una sección dada del chorro), " w " es la velocidad del chorro promediada con respecto al tiempo y

"A" es el área transversal del chorro.

d) El "Flujo Momentum" del chorro, el cual es la cantidad movimiento o momentum en el sentido del flujo que pasa una sección transversal del chorro en la unidad de tiempo, está dado por

$$\rho m = \int_A \rho \omega^2 dA \quad (69)$$

donde "m" se define como el flujo momentum específico y difiere del flujo momentum sólo por el factor de densidad.

e) El "Flujo Flotante" es el peso sumergido o flotante del fluido que pasa a través de una sección transversal del chorro en la unidad de tiempo y está expresado por

$$\rho \beta_f = \int_A g \Delta \rho \omega dA \quad (70)$$

donde "(incremento de ρ)" es la diferencia en densidades entre el fluido circundante y el del chorro, "(beta subíndice f)" es el flujo flotante específico análogo al flujo momentum específico. Es conveniente definir a

$$g' = g \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (71)$$

donde "g" es la aceleración de la gravedad y "g'" se define como la aceleración efectiva de la gravedad. No debemos olvidar que " ρ " es la densidad del efluente descargado.

f) Representaremos por medio de las letras "Q", "M" y "B" a los valores iniciales del flujo volumen (gasto), flujo momentum específico y flujo flotante específico, respectivamente.

g) El flujo flotante inicial presenta dos formas de ascension. Una pluma puede formarse con la ayuda de una fuente de flotabilidad, como podría ser una fuente de calor (se puede visualizar el caso del humo que despiden una hoguera) o por la flotabilidad contenida en el fluido de la descarga. En la mayoría de las aplicaciones y en la que nos interesa en particular, la flotabilidad inicial está contenida por lo general en la descarga. Así pues para un chorro redondo en tres dimensiones el flujo flotante específico inicial está dado por

$$B = g (\Delta\rho_i / \rho) Q = g_i^* Q \quad (72)$$

donde "(incremento de ρ subíndice 'i')" es la diferencia en densidades entre el fluido receptor y el fluido que está siendo descargado y " ρ " es la densidad del fluido descargado, o alternativamente " g_i^* " es aceleración aparente inicial (tal como en la definición (e) pero en las condiciones iniciales).

En el caso del flujo volumen y flujo momentum específicos iniciales, tenemos que las expresiones para un chorro redondo en tres dimensiones están dadas por

$$Q = \frac{1}{4} \pi D^2 W \quad (73)$$

$$M = \frac{1}{4} \pi D^2 W^2 \quad (74)$$

en donde "D" es el diámetro del chorro y "W" es la velocidad

media de salida, considerada uniforme a través del chorro.

Así las cosas las unidades de Q, M y B serán

$$[Q] = L^3 / T$$

$$[M] = L^4 / T^2$$

$$[B] = L^4 / T^3$$

h) En el caso de los chorros planos formados por ranuras más que por orificios, " μ ", "m" y " β " se interpretan como los flujos específicos por unidad de longitud y sus valores iniciales serán representados con las letras q, M y B, haciendo hincapié en que se trata de un chorro o pluma plana. Las dimensiones de estas variables obviamente se reducen en uno con respecto a la longitud, resultando que

$$[q] = L^2 / T$$

$$[M] = L^3 / T^2$$

$$[B] = L^3 / T^3$$

siendo las mismas unidades para los flujos específicos en cualquier momento después de la descarga.

i) Con el objeto de estudiar el efecto de la estratificación por densidades en los chorros y las plumas, describiremos a la distribución vertical por densidades por medio de la expresión (75), en la cual "(no subíndice cero)" es la densidad del mar o cuerpo de agua para " $z = 0$ " o sea al nivel de la descarga y " ϵ de z" es la anomalía o variación en la densidad del cuerpo receptor. Así pues la ecuación descrita está dada por

$$\rho_a = \rho_o [1 - \epsilon(z)] \quad (75)$$

derivando con respecto a "z"

$$\frac{1}{\rho_o} \frac{d\rho_a}{dz} = - \frac{d\epsilon}{dz} = - \epsilon' \quad (76)$$

Para el caso de un ambiente estaticamente estable con "z" incrementandose hacia arriba, la derivada de la anomalia en densidades (a la cual se le denomina gradiente de densidades, en la expresion anterior seria positiva. Ademas este mismo miembro tiene unidades de "1/L" por lo que el inverso de su valor representara a una longitud caracteristica asociada con la intensidad de la estratificación por densidades.

Las definiciones de los párrafos anteriores nos serviran para describir el comportamiento del efluente descargado en el mar, en las dos primeras etapas secuenciales del proceso de disposicion (primera y tercera zonas descritas).

Volviendo al enfoque de nuestro problema, un difusor de un emisor submarino de gran tamaño, es varias veces mas largo que la profundidad a la que esta dispuesto (presentandose relaciones entre la longitud del tubo múltiple y la profundidad de la descarga del orden de 10 o mas, según ref.3). Es por esto que para hacer una estimacion preliminar de la dilucion en nuestro problema, la descarga puede ser considerada bidimensional y por lo tanto podemos considerarla plana como en el inciso (h) de las definiciones. Ademas es posible demostrar que todas las descargas flotantes (como es la de nuestro caso), tienden a la solución de una pluma; ya que el momentum inicial

de un chorro se pierde rápidamente por la viscosidad del fluido receptor. Así pues para empezar, nuestro caso se reduce a la solución de una pluma plana como vamos a ver en los siguientes párrafos.

En la solución de la pluma en general, no existe flujo voluménico ni flujo de momento específicos iniciales (Q , M), por lo que todas las variables del flujo para la pluma plana serán sólo funciones del flujo flotante específico inicial (B), de la distancia desde el origen o descarga (d) y de la viscosidad cinemática " ν ". Así pues por ejemplo la velocidad vertical promedio con respecto al tiempo estará dada por

$$\omega_m = f(B, d, \nu) \quad (77)$$

Debido a que sólo hay cuatro variables y según el teorema "(pi)" de Buckingham (ref.3, pag.23) para el análisis dimensional, sólo habrán dos grupos adimensionales. Por lo que para el caso de la pluma plana no puntual

$$\omega_m (1/B)^{1/3} = f(B^{1/3} d / \nu) \quad (78)$$

recordando que las dimensiones de las variables son

$$[B] = L^3 / T^3$$

$$[d] = L$$

$$[\nu] = L^2 / T$$

Podemos observar que el término de la derecha de la expresión (78), es una forma del número de Reynolds y considerando que el flujo siempre será turbulento dado que

$$d \gg \nu / B^{1/3} \quad (78)$$

entonces el grupo adimensional en cuestión será igual a una constante (b_1) que puede ser obtenida experimentalmente en el laboratorio, por lo que la expresión (78) se puede escribir como

$$\omega_m = b_1 B^{1/3} \quad (80)$$

En nuestro caso el fluido en la pluma es menos denso que el fluido que lo rodea, por lo que la fuerza de gravedad actúa para hacer cambiar el momentum en el flujo, lo cual quiere decir que el flujo momentum específico (m) se incrementa a través del eje de la pluma. Como el flujo momentum específico sólo puede ser función de "B" y "d" y usando el análisis dimensional con los resultados de los experimentos para la obtención de " b_1 ", encontramos que

$$m = b_2 B^{2/3} d \quad (81)$$

recordando que $[m] = L^3 / T^2$.

De la misma manera, para el flujo volumen en una pluma plana y recordando que $[\mu] = L^2 / T$ encontramos la siguiente

expresion

$$\mu = b_s B^{1/3} d \quad (82)$$

Ahora definiremos a la concentración Promedio Para una pluma plana por medio de la expresion

$$\mu Cav = q Co \quad (83)$$

donde "q" es el flujo volumen o flujo de masa especifico (gasto unitario) para la pluma plana segun la convencion del inciso (h) de las definiciones. "Cav" es la concentración Promedio de la pluma y "Co" la concentración de la descarga a la salida del difusor. Se puede observar que la expresion anterior representa la conservación de la masa y que sus miembros son el flujo de masa inicial, el de la derecha, y el flujo de masa promedio en cualquier otro instante despues de la descarga, el de la izquierda.

A la relación "Co / Cav" se le denomina dilución media y se representa por "S", con lo cual a partir de las expresiones (82) y (83) tenemos que

$$S = b_s \frac{B^{1/3} d}{q} \quad (84)$$

del inciso (g) de las definiciones tenemos que para el caso de una pluma plana, el flujo flotante especifico inicial estaria

dado por la expresión " $B = g'q$ ", según nuestra convención para el flujo volumen inicial en una pluma plana (gasto unitario). De donde la ecuación (84) se puede escribir como

$$S = b_s \frac{g'^{1/3} d}{q^{2/3}} \quad (85)$$

donde de la experiencia con sistemas de disposición de este tipo se sabe que " $b_s = 0.38$ " (según ref.3).

A continuación presentamos un croquis que nos dá una idea más clara del Problema al que nos estamos enfrentando

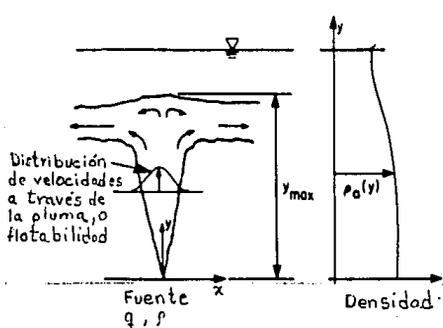


Fig. 2

Debido a que la distancia vertical disponible para la dilución está limitada por la profundidad de la descarga y que " q " es inversamente proporcional a la longitud del difusor, puede verse en la expresión (85) que la dilución que puede obtenerse por medio de este tipo de estructura, mejora cuando se incrementa la profundidad de la descarga o la longitud del difusor. En otras palabras desde el punto de vista de la dilución inicial, un difusor corto colocado a gran profundidad es equivalente a tener un difusor largo a menor profundidad. Consider

rando este hecho surge la pregunta de ¿Que sería mas económico?. Puede comprobarse fácilmente (ver ref.3 pag.393) que con el fin de alcanzar una dilución dada, es casi siempre mas barato incrementar la longitud del difusor; ya que sólo en el caso de que el lecho marino presente pendientes muy pronunciadas, podría pensarse en lo contrario.

La ecuación (85) y su constante son para el caso de una pluma bidimensional en un ambiente uniforme, o sea sin considerar a la posible estratificación por densidades que con seguridad se encontrará en un ambiente marino. Cuando en este se presenta el fenómeno descrito y el perfil de la estratificación varía en forma lineal, la ecuación correspondiente es

$$S = 0.31 \frac{g^{1/3} y_{max}}{q^{2/3}} \quad (86)$$

donde el coeficiente de "0.31" no ha sido comprobado experimentalmente, pero está basado en el supuesto de que el proceso no es afectado por la estratificación. El valor de "Ymax" , la cual es la distancia vertical máxima alcanzada por el efluente en un ambiente estratificado (utilizamos al eje de las "y's" para denotar la profundidad en lugar del de las "z's" , debido a que estamos lidiando con un problema bidimensional o sea en el plano "xy"), será deducido a continuación.

La altura máxima que alcanzará el efluente en un ambiente estratificado será función de la aceleración de la gravedad "g" , del gradiente de densidades en el mar "(epsilon prima)" (ver inciso (i) de las definiciones) y del flujo flotante específico inicial "B". De donde

$$y_{max} \sim B^{1/3} / (g \epsilon')^{1/2} \quad (87)$$

Ya que sabemos que las dimensiones de los Parametros involucrados Para una Pluma Plana son

$$[B] = L^3 / T^3$$

$$[g] = L / T^2$$

$$[\epsilon'] = 1 / L$$

Con el objeto de hacer una igualdad de la expresión (87), introducimos el coeficiente de Proporcionalidad de 2.84 (el cual no ha sido confirmado experimentalmente, como en el caso del de la ecuación (86) ref.3). También sabemos que para el caso de la pluma plana $B = g' q$ y con la expresión Para "(epsilon prima)" del inciso (i) de las definiciones

$$y_{\max} = 2.84 (g'q)^{1/3} \left(- \frac{g}{\rho_o} \frac{d\rho_a}{dy} \right)^{-1/2} \quad (88)$$

donde "(rho cero)" es la densidad del mar a la altura de la descarga, "d(rho a)" es la diferencia en densidades del agua de mar entre el nivel de la descarga y la máxima distancia vertical a la cual llega el efluente. También sabemos que "g'" está dado por

$$g' = g \frac{\Delta\rho}{\rho} \quad (89)$$

donde "(incremento de rho)" es la diferencia en densidades entre el agua de mar al nivel de la descarga y el efluente y "(rho)" es la densidad del efluente.

Los coeficientes de las expresiones (86) y (88) son para el

caso en que la descarga esté orientada verticalmente. Para el caso en que estuviera orientada horizontalmente y en las típicas condiciones de descarga, dichos coeficientes cambiarían a 0.36 para la (86) y 2.5 para la (88). Se recomienda usar estos últimos para los cálculos en el diseño del difusor.

Como ya hemos dicho las ecuaciones (85), (86) y (88) representan el caso de una pluma plana. En adición se puede comprobar que para una pluma redonda en tres dimensiones, las ecuaciones correspondientes serían

$$S = 0.089 \frac{g^{1/3} y^{5/3}}{Q^{2/3}} \quad (90)$$

$$S = 0.071 \frac{g^{1/3} y_{\max}^{5/3}}{Q^{2/3}} \quad (91)$$

$$y_{\max} = 3.98 (Q g')^{1/4} \left(- \frac{g}{\rho_o} \frac{d\rho_a}{dy} \right)^{-3/8} \quad (92)$$

Es importante hacer notar que la pluma redonda en tres dimensiones, se presentaría en el caso de que la descarga se hiciera con una tubería abierta en su parte final sin el uso de la estructura difusora. También es posible comprobar, dando valores a las variables de las ecuaciones antes enumeradas, que las diluciones alcanzadas con esta última opción para la disposición de aguas residuales en el mar, son mucho menores que cuando se dispone de un difusor.

Las ecuaciones (85), (86), (88), (90), (91) y (92), no pueden ser aplicadas directamente a la evaluación de la dilución y sumergencia en el diseño candidato, aun en el caso de que el ambiente esté inmóvil y la aproximación de la pluma sea válida. Sin embargo en los siguientes párrafos veremos la discusión de las implicaciones de la segunda fase en el proceso de dispersión (tercera zona descrita), que consiste en el establecimiento del campo de contaminantes, con el objeto de mejorar nuestras deducciones y establecer la forma en que esta etapa afecta a la dilución obtenible.

-Análisis Considerando el Bloqueo por el Campo de Contaminantes

La figura 3 muestra esquemáticamente como la formación del campo de contaminantes afecta a la dilución que se obtiene a través del mezclado con el agua de mar del efluente, durante la ascensión de este por efecto de la fuerza boyante. En la

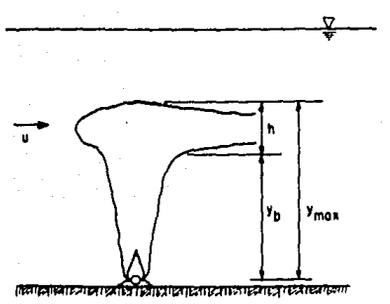


Fig. 3

figura se puede ver que la dilución real del contaminante con el agua limpia de mar, termina al alcanzar la base del campo de contaminantes; ya que la mezcla que se lleva a cabo a partir de este punto, sirve solamente para eliminar las diferencias en concentraciones a través del ancho de la pluma, debido a que no interviene agua limpia sino el agua del efluente diluida y liberada anteriormente. Desgraciadamente en la actualidad sólo se pueden obtener aproximaciones del efecto de bloqueo debido al espesor finito del campo de contaminantes en el mar; sin embargo es importante su estudio para obtener valores más

apegados a la realidad.

Con referencia a la figura 3 permitase a "h" ser el espesor del campo de contaminantes, a "b" ser el ancho del campo de contaminantes perpendicular a la dirección de la corriente, a "u" ser la rapidez de la corriente, a "S_{av}" la dilución promedio en el campo del contaminante, a "Q_o" el gasto o descarga desde el difusor, a "Y_b" la coordenada a la base del campo de contaminantes y a "Y_{max}" ser la coordenada a la cima del campo de contaminantes. De donde por continuidad

$$Q_o S_{av} = u b h = u b (y_{max} - y_b) \quad (93)$$

Ahora asumiremos que la dilución promedio a una elevación dada es proporcional a la misma elevación "y". Esto es más o menos representativo de la realidad para todas las plumas y chorros o "jets" con una distancia de ascenso suficientemente grande. Por lo que considerando que "S_{av}" sea la dilución promedio en "Y_b"

$$S_{av} / S_a = y_b / y_{max} \quad (94)$$

donde "S_a" es la dilución calculada a la cima de la pluma (o sea para "Y_{max}"), sin considerar el efecto del bloqueo por el ancho finito del campo de contaminantes. De donde la ecuación (93) queda

$$Q_o S_a = u b (y_{max} / y_b) (y_{max} - y_b) \quad (95)$$

despejando "Y_b/ Y_{max}" de la ecuación anterior tenemos

$$y_b / y_{max} = 1 / (1 + Q_o S_a / u b y_{max}) \quad (96)$$

o bien sustituyendo en la ecuación (94), la dilución promedio estará dada por

$$S_{av} = S_a / (1 + Q_o S_a / u b y_{max}) \quad (97)$$

Sabemos que el espesor del campo de contaminantes "h" es igual a "Ymax - Yb" o también "Ymax(1 - Yb/ Ymax)"; con lo que despejando de la ecuación (95) y sustituyendo el valor de "Yb/ Ymax" de (96) resulta

$$y_{max} - y_b = (Q_o S_a / u b) [1 / (1 + Q_o S_a / u b y_{max})]$$

Multiplicando y dividiendo por "Ymax" ambos miembros obtenemos

$$h = y_{max} [(Q_o S_a / u b y_{max}) / (1 + Q_o S_a / u b y_{max})] \quad (98)$$

Debe hacerse notar que cuando el producto "ub" es muy pequeño, el análisis falla debido a que la suposición de la expresión (94) no se puede sostener.

Para el caso de considerar una corriente perpendicular al difusor, se puede tomar como el ancho del campo "b" a el largo del difusor. No obstante en los casos que la dirección de la corriente sea Paralela al difusor, será necesario estimar a "b" de otra manera como veremos a continuación.

En el caso de un Ambiente Uniforme o sea sin estratificación por densidades (Por lo que el efluente llegaría hasta la superficie marina), las cantidades de importancia serian

$$g'q, u, L, b.$$

donde "g'q" se puede interpretar como la fuerza boyante del efluente descargado y "L" es la longitud del difusor. Ahora asumiendo que "u" y "L" ocurren como pareja en la relación "L/u" (se puede observar que sus dimensiones son el tiempo [T]), lo cual es equivalente a decir que el problema queda ser aproximado por medio del problema bidimensional de la descarga dependiente del tiempo, de un fluido flotante a razón de "g'q" comenzando al tiempo cero. Con lo cual el número de variables se reduce a tres, que son

$$g'q, \quad L/u, \quad b$$

Por lo que por el teorema citado con anterioridad del análisis dimensional, tenemos sólo un grupo adimensional que es

$$\frac{(g'q)^{1/3} (L/u)}{b} \quad (99)$$

el cual debe ser igual a una constante, con lo que despejando a "b" tenemos

$$b = k (g'q)^{1/3} (L/u) \quad (100)$$

Experimentos de laboratorio limitados muestran que esta es una buena aproximación del ancho del campo de contaminantes para una "k" igual a "1.2".

Sustituyendo (100) en la ecuación (97)

$$\frac{S_{av}}{S_a} = \frac{1}{1 + Q_0 S_a / 1.2 (g'q)^{1/3} L y_{max}} \quad (101)$$

donde sabemos que "S_a" es la dilución promedio sin considerar al efecto del bloqueo por el campo de contaminantes. Desgraciadamente no existe aún un análisis que nos lleve a la obtención de un valor lo suficientemente confiable para "S_a", por lo cual consideraremos válida a la expresión (85), excepto que vamos a convertirla de una ecuación para la dilución al centro de la pluma, a una para la dilución promedio como sigue

$$S_a = \sqrt{2} S = 0.54 \frac{(g'q)^{1/3} y_{max}}{q} \quad (102)$$

donde con el objeto de hacer más fáciles las siguientes reducciones algebraicas hemos subido a "q" a la 1/3 al numerador. El considerar a la dilución promedio "S_a" equivale a asumir que no existe ninguna corriente debajo de "Y_b".

Ahora sustituyendo el valor de "S_a" y reduciendo algebraicamente, teniendo en cuenta que "Q₀ = q L"

$$S_{av} = 0.38 \frac{(g'q)^{1/3} y_{max}}{q} \quad (103)$$

donde recordamos que esta expresión para la dilución promedio del campo de contaminantes, es para el caso de una corriente paralela al difusor con ambiente uniforme, y que por medio de la expresión (97) podemos obtener el valor para el caso de una corriente perpendicular en el mismo ambiente uniforme. Para el caso de (97) podemos también obtener a "S_a" por medio de (102). También podemos observar que "S_{av}" en (103) no depende de la velocidad de la corriente, por lo cual su valor no será sensible a la velocidad de una corriente paralela, en este caso (lo cual sí ocurre en el caso de (97)). Así pues analizando a las expresiones citadas de manera conjunta, podemos ver que para corrientes perpendiculares muy pequeñas, el valor de "S_{av}"

esta dado por lo menos por (103) y que conforme va aumentando la velocidad de la corriente pueda ser usada la ecuación (97).

Si dejáramos explícita a la relación " S_{av}/S_a " en (101) y sustituyéramos el valor de " S_a " en el miembro de la derecha obtendríamos que

$$S_{av}/S_a = 0.7 \quad (104)$$

de donde comparando con la ecuación (94) obtenemos que el espesor del campo de contaminantes " h " es aproximadamente igual al 30 % de la profundidad de la descarga o de " Y_{max} ".

Ahora para el caso de un Ambiente Estratificado sabemos que el campo de contaminantes está sumergido, por lo que no existe fuerza boyante atrapada en este. No obstante en este caso, el proceso de dispersión horizontal es muy complejo, podemos hacer un análisis dimensional simple. Así pues lo que en el caso del ambiente uniforme interpretaríamos como la rapidez de descarga de la energía potencial cinemática " $g'q$ ", en el presente caso, para un campo de contaminantes neutral con respecto a la fuerza boyante en un ambiente estratificado con una anomalía en densidades como la que se vio en el inciso (i) de las definiciones, la rapidez de descarga de la energía potencial cinemática sería

$$g \epsilon q_1^2$$

donde " $q_{(sub.1)}$ " es la rapidez de descarga al campo de contaminantes. Ahora las variables de interés son

$$g \epsilon q_1^2, \quad L/u, \quad b$$

por lo que del análisis dimensional, de manera similar al del ambiente uniforme, obtenemos que

$$b = k_1 (g \varepsilon q_1^2)^{1/4} L/u \quad (106)$$

donde pruebas limitadas en el laboratorio indican que el coeficiente "k = 0.8". Ahora también sustituyendo el valor de "b" en la ecuación (97) obtenemos

$$S_{av} = \frac{S_a}{1 + Q_0 S_a / 0.8 (g \varepsilon q_1^2)^{1/4} L y_{max}} \quad (107)$$

Sin embargo por definición

$$q_1 = \frac{S_{av} Q_0}{L} \quad (108)$$

Por lo que

$$S_{av} = \frac{S_a}{1 + Q_0 S_a / 0.8 L [g \varepsilon S_{av}^2 (Q_0^2 / L^2)]^{1/4} y_{max}} \quad (109)$$

de donde despejando a "S_{av}" tenemos que

$$S_{av} = S_a - A \sqrt{\frac{A^2}{4} + S_a} + \frac{A^2}{2} \quad (110)$$

donde la variable "A" se usó para la simplificación de la fórmula y tiene un valor de

$$A = \frac{S_a (Q_o / L)^{1/2}}{y_{max} 0.8 (g/q)^{1/4}} \quad (111)$$

debe hacerse notar que el resultado es nuevamente independiente de la velocidad de la corriente. En este caso el valor de la dilución que no considera al efecto del bloqueo por el campo de contaminantes "S_a", puede ser obtenida por la relación

$$S_a = \sqrt{2} S = 0.44 \frac{(g/q)^{1/3} y_{max}}{q} \quad (112)$$

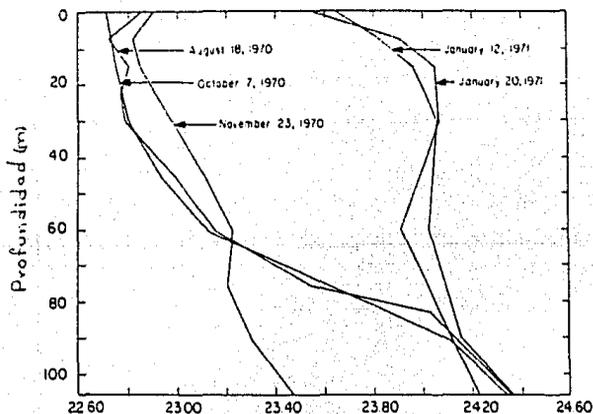
donde ahora la ecuación para "S" es la (86). Así también, la altura máxima que puede alcanzar la pluma puede ser obtenida con la expresión (89) para el caso de la pluma plana. Es importante señalar que los últimos dos casos para un ambiente uniforme y para uno estratificado, son aplicables para una pluma plana y no pueden ser aplicados en el caso de una pluma redonda, debido a que el análisis dimensional toma en cuenta a la longitud del difusor como parámetro para la deducción.

- Efecto de las Corrientes en la Dilución de la Pluma

En todos los casos tratados anteriormente, se ha asumido que la etapa en que la pluma emerge hacia la superficie se lleva a cabo en un ambiente inmóvil, lo cual es completamente irreal. Más aún se ha asumido también que la pluma es plana o bidimensional, lo cual a pesar de que la longitud del difusor es mucho más grande que la profundidad a la que está dispuesto, sigue siendo finito finalmente. No obstante han habido estudios recientes dirigidos a la consideración de las características reales del problema (lo cual hace que el análisis sea extremadamente complicado), estos han arrojado valores menos conservadores o diluciones mayores que las obtenidas por las ecuaciones (103) y (110); por lo que para efectos de diseño (el cual es nuestro propósito), seguiremos considerando a estas como válidas.

- Efecto por la Estratificación del Medio Marino

Como es de intuirse es necesario tener un conocimiento claro de las condiciones ambientales, antes de intentar hacer algún análisis de los chorros flotantes de nuestro problema. A continuación presentamos un ejemplo real de perfiles de densidades, obtenidos para el diseño de un emisor submarino en "Sand Island" cerca de Honolulu.



$$\sigma_t = (\rho_t - 1) 1000$$

Donde:

ρ_t : densidad
(g/cm³)

Fig. 4

Puede verse en la figura 4, que la estratificación real del agua de mar con respecto a su densidad no es uniforme. Sin embargo de la misma figura podemos deducir que la técnica básica que aplicamos al caso de la estratificación uniforme lineal, puede ser aplicada en este caso aunque se tendría que obtener una solución numérica para cada tramo del perfil y para cada caso, o ajustando una curva al perfil de densidades por medio de métodos numéricos, ser capaz de obtener la dilución en cada punto de un perfil. Este problema puede resolverse fácilmente con ayuda de una computadora, lo cual es uno de los principales objetivos del presente trabajo; así se podrían variar los parámetros más importantes, como la longitud del difusor y la profundidad a la que está colocado, con el objeto de obtener la mejor solución. También existen soluciones gráficas que consideran a la estratificación uniforme entre $Y = 0$ y $Y = Y_{max}$ y que consisten en superponer a los perfiles reales graficados, las soluciones (para unas ciertas características) de "Ymax" y "S"; los cuales se utilizan como aproximación para efectos del diseño preliminar.

Debido a que la dilución y sumergencia del campo de contaminantes dependen de la estratificación por densidades prevalente en un momento determinado y a que esta varía de manera dinámica con respecto al tiempo (por efecto de las mareas, corrientes, olas, lluvia, el clima, etc.), es esencial que el diseñador evalúe el desempeño del difusor para una gran cantidad de perfiles de densidades. No obstante, es posible sacar un perfil promedio mensual de entre muchos perfiles tomados en un estudio de densidades anual de una zona determinada, con el objeto de tener uno representativo del mes de que se trate y así obtener las soluciones para cada caso en el mes citado.

Antes de pasar al tema siguiente, debemos poner énfasis en los puntos siguientes:

- Todas las técnicas tratadas en el presente subcapítulo dan resultados aproximados con una exactitud de $\pm 20\%$.
- La dilución inicial obtenida por una estructura difusora con muchos orificios, es la única parte del proceso de dispersión de un contaminante en la que el ingeniero tiene el control del proceso. Esto se logra asignando los valores adecuados a la profundidad y longitud del difusor, como variables principales. No obstante debemos recordar que las variables secundarias como tamaño de orificios, espaciamiento de estos y ángulo de la descarga, llegan a modificar los resultados aunque esto sea en menor grado.

- Todo el análisis considera que la descarga no modifica la dinámica del ambiente marino.

5.2.- ESTUDIO HIDRAULICO DE LOS DIFUSORES EN LOS EMISORES SUBMARINOS

El principal propósito de un difusor de muchos orificios o multipuerto, es el de distribuir el gasto en forma equitativa a lo largo de toda la tubería. Por lo cual para que esta estructura esté bien diseñada es necesario que el gasto en cada orificio sea uniforme.

No obstante la característica anterior es la más importante, existen otros requerimientos hidráulicos necesarios para el buen desempeño de este dispositivo, los cuales son

- a) Mantener velocidades adecuadas en la tubería, para evitar que se depositen sólidos mezclados en el fluido.
- b) Proveer de medios para la limpieza y mantenimiento de la estructura.
- c) Asegurar que todos los orificios trabajen llenos para impedir intrusiones de agua de mar.
- d) Mantener las pérdidas de carga razonablemente bajas, para evitar en lo posible el bombeo.

Los puntos anteriores se han solucionado por medio de las siguientes características en los difusores, respectivamente

- a) Se tienen diámetros de tubería más pequeños conforme nos acercamos a los extremos.
- b) Se provee de una compuerta en los extremos de la tubería, la cual puede ser removida para su mantenimiento.
- c) Los orificios son relativamente pequeños, de tal manera que el área total de estos aguas abajo de cualquier sección sea menor que el área de dicha sección.

c) Los orificios tienen bordes redondeados.

Para el caso de la descarga en el oceano de un efluente, el Problema hidraulico se complica por dos razones que son:

1) Existe una diferencia en densidades fuera y dentro de la tubería. Por tratarse de dos fluidos diferentes (la diferencia es aproximadamente 0.025 g/cc en el oceano).

2) La fricción a lo largo de la tubería modifica a la carga hidraulica interna.

Así pues y debido a que el gasto depende de la diferencia de presiones a través del orificio, las características anteriores juegan un papel importante en la distribución del flujo. Es importante hacer notar que si todos los orificios estuvieran a nivel, la diferencia en densidades no sería un factor; sin embargo esto no ocurre en la realidad.

El gasto en cada orificio puede ser representado por la ecuación

$$Q_p = C_D A_p \sqrt{2gH} \quad (113)$$

la cual se obtiene a partir de la ecuación de Bernoulli y no es más que la ecuación de un orificio de pared delgada. Las variables son "Qp" gasto del orificio, "Ap" area del orificio, "H" carga hidraulica total, "g" aceleración gravitacional y "C(sub.D)" el coeficiente de gasto. Este coeficiente se obtiene experimentalmente en laboratorio o en el campo, el cual depende de las características geométricas del orificio y de la relación entre la carga de velocidad en el difusor y la carga hidraulica total. Así pues se ha encontrado que para el caso de un orificio moldeado directamente en las paredes de la tubería y con los bordes de la entrada redondeados, el coeficiente de gasto está dado por la expresión (114) y para el caso de que la entrada no esté redondeada por la (115), en las cuales "v(sub.d)" es la velocidad en la tubería del difusor.

$$C_d = 0.975 \left(1 - \frac{v_d^2}{2gH} \right) \quad (114)$$

$$C_d = 0.63 - 0.58 \frac{v_d^2}{2gH} \quad (115)$$

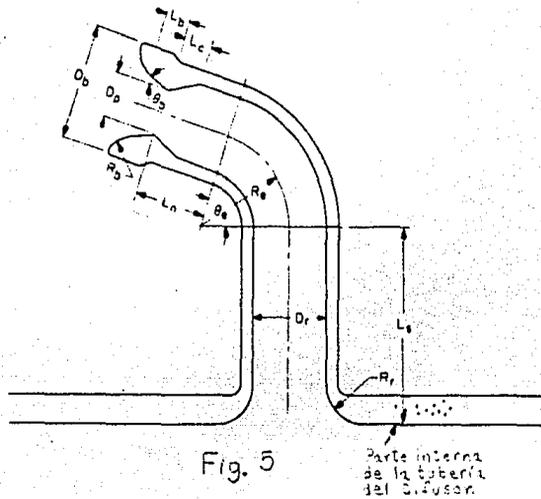
Estos valores están basados en experimentos realizados en Puertos pequeños comparados con la tubería del difusor (diámetro del orificio menor a un décimo del de la tubería).

En algunas aplicaciones los orificios de descarga están constituidos por una extensión o nariz que sobresale de la tubería; las cuales se utilizan en los casos en que el difusor esté sepultado en el fondo del mar. En estos casos el coeficiente de gasto depende de las características geométricas de todo el ensamble. Existen diferentes configuraciones para dicha extensión y para algunas de ellas se han obtenido valores experimentales del coeficiente mencionado. Una de las configuraciones se presenta en la figura (5) de la siguiente página, en la cual se puede observar que:

- a) El diámetro de la extensión es más grande que el diámetro del orificio en la boca del tubo.
- b) La entrada a la extensión presenta bordes redondeados.
- c) Se utiliza un codo para dirigir la descarga en dirección casi horizontal.
- d) Se dispuso una expansión y una boca de campana después de la salida plana de la nariz.

Las dos primeras características de esta configuración son para reducir pérdidas de energía. La tercera es para conseguir que mejore la mezcla del efluente con el agua circundante y la cuarta es para reducir las pérdidas de carga hidráulica, cuando

Para darle mantenimiento al sistema se utiliza el contraflujo, en donde las extensiones sirven como entradas de agua y no como salidas.



No obstante, la manera más confiable de obtener al coeficiente de gasto es a través de pruebas experimentales, es posible obtener aproximaciones teóricas en muchos casos; las cuales pueden ser usadas para efecto de cálculos preliminares. Así pues, para el caso en que tuviéramos una extensión o nariz como la de la figura (5), la ecuación de la energía entre el difusor y el ambiente a la altura de la contracción de la vena líquida del chorro o "jet", sería

$$H = \frac{v_j^2}{2g} + \sum h \quad (116)$$

Donde "v(sub.j)" es la velocidad del chorro, "g" es la aceleración gravitacional y la sumatoria de "h" representa a las pérdidas de energía entre los dos puntos considerados; por lo que la expresión anterior se puede escribir como

$$H = \frac{v_j^2}{2g} + \left(x_{en} + f_r \frac{L_r}{D_r} + x_l + x_c \right) \frac{v_r^2}{2g} \quad (117)$$

donde " $x_{(sub.en)}$ ", " $x_{(sub.l)}$ ", " $x_{(sub.c)}$ " son los coeficientes de pérdida por entrada, por cambio de dirección en el codo y por la contracción en el tubo de la extensión (ver fig.5), respectivamente. Además " $f_{(sub.r)}$ " es el coeficiente de fricción (de la fórmula de Darcy-Weisbach para el cálculo de pérdidas por fricción en conductos a presión), " $L_{(sub.r)}$ " es la longitud total de la extensión y " $D_{(sub.r)}$ ", " $v_{(sub.r)}$ " son el diámetro y la velocidad en la misma, respectivamente.

Con el objeto de dejar a la ecuación (117) sólo en función de la carga de velocidad en el orificio, multiplicamos y dividimos por este mismo parámetro a esta ecuación, resultando

$$H = \left[\left(\frac{v_j}{v_p} \right)^2 + K \left(\frac{v_r}{v_p} \right)^2 \right] \frac{v_p^2}{2g} \quad (118)$$

donde " $v_{(sub.p)}$ " es la velocidad en el orificio y " K " es la suma de los coeficientes de pérdidas de energía. Por continuidad sabemos que " $v = Q / A$ ", por lo que

$$H = \left[\left(\frac{A_p}{A_c} \right)^2 + K \left(\frac{D_p}{D_r} \right)^4 \right] \frac{v_p^2}{2g} \quad (119)$$

donde "Dp", "Dr" son los diámetros del orificio y de la extensión, respectivamente, y "Ac" es el área transversal contraída de la vena líquida del chorro. Debido a que el coeficiente de contracción de la vena líquida se define como "Cc = Ac / A" donde "A" para nuestro caso es igual al área transversal del orificio "Ap", resulta que

$$H = \left[\frac{1}{C_c^2} + K \left(\frac{D_p}{D_r} \right)^4 \right] \frac{v_p^2}{2g} \cong \alpha \frac{v_p^2}{2g} \quad (120)$$

Basándose en los experimentos realizados por McNOWN (1954) (ver bibliografía) en tuberías ramificadas y combinadas, se sabe que para una relación "Dr/ Dd" (donde Dd es el diámetro del difusor) menor a "1/4"

$$x_{or} \cong x_c + (v_d/v_p)^2 \quad (121)$$

donde "v(sub.d)" es la velocidad en el difusor. El coeficiente de pérdidas por contracción en la extensión "x(sub.c)" tiene un valor de "0.406" para el caso en que se tenga una entrada con bordes angulosos; el cual está confirmado tanto por la teoría como por pruebas de laboratorio. Para el caso en que se tengan entradas con bordes redondeados, el coeficiente tomaría valores mas pequeños, quizás de "0.1 o 0.2".

El valor del coeficiente de contracción "Cc" puede ser deducido de la teoría del flujo a superficie libre y es función de la relación de diámetros "Dp/ Dr" y la variable "(alfa)" definida como

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{D_r - D_p}{2 L_c} \quad (122)$$

donde "Lc" es la longitud de la contracción en la extensión (ver fig.5). En la siguiente tabla se dan algunos valores para varias relaciones de diámetros y variables "(alfa)"

D_1/D_0	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 135^\circ$	$\alpha = 180^\circ$
	C_r	C_r	C_r	C_r
0.0	0.746	0.611	0.537	0.500
0.1	0.747	0.612	0.546	0.513
0.2	0.747	0.616	0.555	0.528
0.3	0.748	0.622	0.566	0.544
0.4	0.749	0.631	0.580	0.564
0.5	0.752	0.644	0.599	0.586
0.6	0.758	0.662	0.620	0.613
0.7	0.768	0.687	0.652	0.646
0.8	0.789	0.722	0.698	0.691
0.9	0.829	0.781	0.761	0.760
1.0	1.000	1.000	1.000	1.000

Tabla 1

En la ecuación (121), "v(sub.d)" representa a la velocidad en el difusor aguas arriba de la extensión considerada. Para efectos de cálculo es conveniente expresar al coeficiente de gasto "C(sub.D)" en función de la velocidad aguas abajo de la extensión "v", la cual está definida como:

$$v = v_d - r^2 v_p \quad (123)$$

y donde

$$r = D_1 / D_0$$

Combinando a las ecuaciones anteriores se puede demostrar que "C(sub.D)" toma la forma de la ecuación (124), la cual se ha demostrado experimentalmente (Kob, 1973, ver bibliografía) que es una buena aproximación cuando "v = 0". Para diferentes gastos y configuraciones con coeficientes de pérdida diferentes.

$$C_D = \frac{-r^2 (\sqrt{v^2/2gH}) + \lambda (1 - v^2/2gH) + r^4}{\lambda + r^4} \quad (124)$$

Para el caso de orificios pequeños moldeados en las paredes de la tubería, "r = 0" y

$$\lambda = \lambda_{en} + 1/C_c^2 \quad (125)$$

por lo tanto

$$C_D = \left(1 - \frac{v^2}{2gH}\right)^{1/2} \frac{1}{(\lambda_{en} + 1/C_c^2)^{1/2}} \quad (126)$$

Este puede ser comparado con las ecuaciones (114) y (115), las cuales, como ya dijimos, son resultado de la experimentación en laboratorio para este tipo de orificios y en entradas con bordes angulosos y redondeados respectivamente.

- Procedimiento de Cálculo

Permitase a:

- "D" ser el diámetro de la tubería;
- "d(sub.n)" el diámetro del orificio n-ésimo, contando desde el fin de la tubería (esto es a partir del último orificio);
- "a(sub.n)" el área del orificio n-ésimo;
- "v(sub.n)" la velocidad media en la tubería, entre los puer-

tos "n y (n + 1)":

-"(inc.)v(sub.n)" el incremento de velocidad debido a la descarga desde el n'esimo orificio (o grupo de orificios), dado por

$$\Delta v_n = v_n - v_{n-1} \quad (127)$$

-"h(sub.n)" la diferencia de carga de Presión dentro y fuera de la tubería del difusor, en el punto aguas arriba del orificio n'esimo (expresado en metros del efluente descargado), la cual está dada por

$$h_n = \frac{\Delta p}{\gamma} \quad (128)$$

-"Hn" la carga hidraulica total en el orificio n'esimo dada por

$$H_n = h_n + \frac{v_n^2}{2g} \quad (129)$$

la cual se asume igual en ambos lados del emisor o tubería principal:

-"C(sub.D)" el coeficiente de gasto para los orificios:

-"Q(sub.n)" el gasto en el orificio n'esimo:

-"h(sub.fn)" las pérdidas de carga debido a la fricción en la tubería, entre los orificios "(n + 1) y n";

-"f" el coeficiente de fricción de Darcy:

-"(inc.)z(sub.n)" el cambio en elevación entre los orificios "(n + 1) y n" medida al centro del orificio [será positiva cuando el orificio "(n + 1)" no este tan profundo como el orificio "n", o sea que el primero este por encima del segundo];

-"(inc.)s/ s" la diferencia relativa en peso específico, entre el fluido que se descarga y el fluido del ambiente.

Primero será necesario seleccionar una carga hidraulica "H(sub.1)" de manera arbitraria, de manera que consideremos a la expresión (129), como primera aproximación del gasto del

orificio (1) se puede tomar el valor del gasto total de diseño de la estructura, como si hubiera un sólo orificio. Así pues podemos obtener a la primera aproximación de la velocidad en el tubo del difusor entre los orificios (1) y (2) (como si fuera único) por medio de

$$v_1 = \Delta v_1 = \frac{q_1}{C(\pi/4)D^2} \quad (130)$$

donde "D" es conocido ya que en primera instancia será igual al diámetro del emisor que conduce al efluente hasta el fondo del mar. Con el resultado de (130) podemos calcular a la carga de velocidad en el orificio (1), para que junto con la carga hidráulica sujeta y con las expresiones (114), (115), (124) o (126), podamos obtener el valor del coeficiente de gasto "C(sub.D)", con el cual calcularemos el gasto real del orificio (1) por medio de

$$q_1 = C_{D1} \left[\frac{\pi d_1^2}{4} \right] \sqrt{2gH_1} \quad (131)$$

donde el diámetro del orificio "d(sub.1)" se supone como variable de una primera iteración, junto con la separación entre orificios "L" (para suponer el diámetro del orificio debemos seguir las recomendaciones para el cálculo de las páginas siguientes). Con este valor del gasto en el orificio podemos calcular la corrección de la velocidad en el tubo entre los orificios (1) y (2) con la expresión (130). Para que con la carga de velocidad correspondiente se calcule la corrección del coeficiente de gasto en el orificio (con las ecuaciones correspondientes) y así poder obtener también un gasto corregido para el orificio (1), con (131).

Ahora para el orificio (2), con el valor corregido de veloci-

dad en el difusor en el orificio (1), y el valor supuesto de la carga hidráulica total en el mismo, se obtiene

$$H_2 = H_1 + h_{f1} + (AS/S) \Delta z_1 \quad (132)$$

Ahora con el resultado de (132) y con la carga de velocidad corregida para el orificio (1), se obtiene la relación

$$\frac{v_1^2 / 2g}{H_2}$$

con la cual se puede obtener el coeficiente de gasto para el orificio (2) por medio de las ecuaciones antes mencionadas. Para así poder calcular el gasto en el orificio (2) con

$$q_2 = C_{D2} a_2 \sqrt{2gH_2} \quad (133)$$

y la velocidad en el difusor entre los orificios (2) y (3) con

$$v_2 = v_1 + \Delta v_2 = v_1 + \frac{q_2}{(\pi/4) D^2} \quad (134)$$

A partir de este punto se continúa el cálculo paso a paso hacia atrás en el difusor, hasta que la suma de los gastos en los orificios sea igual al gasto de diseño de la estructura, con las siguientes expresiones

$$C_{dn} = \text{Función de } \left(\frac{v_{n-1}^2 / 2g}{H_n} \right) \quad (135)$$

$$q_n = C_{dn} a_n \sqrt{2gH_n} \quad (136)$$

$$\Delta v_n = \frac{q_n}{(\pi/4) D^2} \quad (137)$$

$$v_n = v_{n-1} + \Delta v_n \quad (138)$$

$$h_{fn} = f \frac{L_n}{D} \frac{v_n^2}{2g} \quad (139)$$

$$H_{n+1} = H_n + h_{fn} + (\Delta S / S) \Delta z_n \quad (140)$$

El Proceso Puede ser automatizado en computadores digital. lo cual es una de las metas del Presente trabajo. Algo que no

debemos olvidar es que la longitud del difusor ya ha sido determinada por efecto del cálculo de la dilución inicial y que debemos adaptarnos a ella.

- Recomendaciones Para el Cálculo Hidráulico.

Durante el proceso de cálculo, el ingeniero tiene la libertad de cambiar el tamaño de la tubería, el tamaño de los orificios u orificios y el espaciamiento entre ellos.

Será necesario reducir el tamaño de la tubería en algunos tramos, en el caso que se quiera aumentar la velocidad del fluido para evitar depósitos (lo cual ocurre al final del difusor). El tamaño de los orificios se variara con el objeto de mantener el gasto constante a través de toda la estructura. El espaciamiento entre orificios no es muy flexible, ya que a veces consideraciones prácticas dan preferencia a un espaciamiento equivalente a la longitud de una sección de la tubería o una fracción de ella.

El diseño hidráulico inevitablemente requiere de varios intentos de ensayo y error, con el objeto de encontrar el arreglo que satisfaga la operación óptima para varios gastos totales de diseño.

En el caso de difusores que estén dispuestos en fondos marinos con pendiente cero, la distribución relativa del gasto sería la misma para todas las variaciones de este en el sistema. Por lo cual bastaría con un solo cálculo para todas las variaciones en el gasto total. Lo anterior se debe a que todas las cargas hidráulicas totales en los orificios serían solo función del cuadrado de la velocidad.

Es esencial que el final del difusor este taponado con alguna mampara abatible, ya que si no ocurre así el flujo no será forzado a salir por los últimos orificios, y el exceso en el gasto saldrá por la boca de la tubería. La mampara deberá removerse para dar mantenimiento al sistema por medio del contraflujo.

Una recomendación práctica para la estimación del tamaño de

los orificios, es la de que se debe considerar que la suma de las áreas de todos los orificios deberá ser menor al área transversal del difusor. La experiencia indica que la mejor relación de áreas (área total de orificios/ área del tubo), usualmente se encuentra entre "1/3 y 2/3". No obstante los orificios no deberán ser tan pequeños que aumenten la carga hidráulica total indebidamente.

En las siguientes figuras se muestra el ejemplo de un emisor submarino construido en Honolulu, Hawaii llamado de "Sand Island", en el cual los últimos 1030 m. del emisor contiene 282 orificios con tamaños que van de 7.62 a 8.97 cm. En la figura (7) se muestran las variaciones del gasto en los orificios y la velocidad en el difusor para diferentes gastos de diseño. En la figura (8) se muestra las velocidades en la tubería cuando se le da mantenimiento a la estructura con la tapa del final abierta.

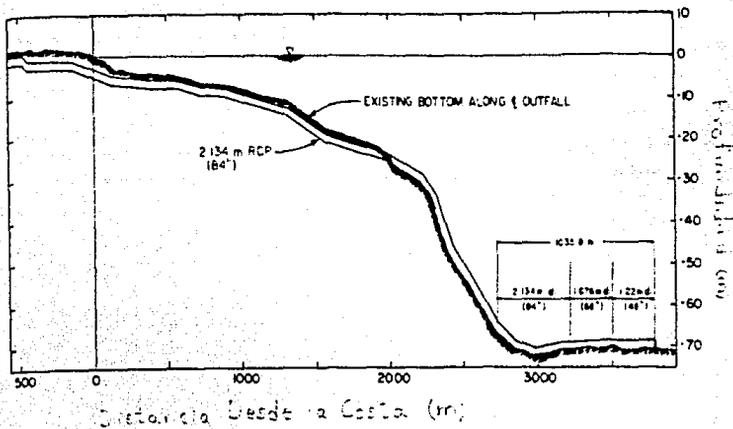


Fig. 6

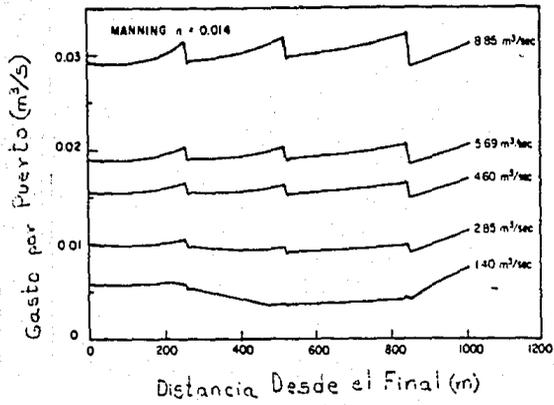


Fig. 7

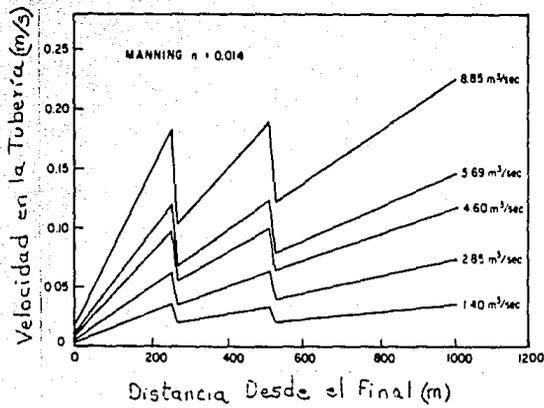
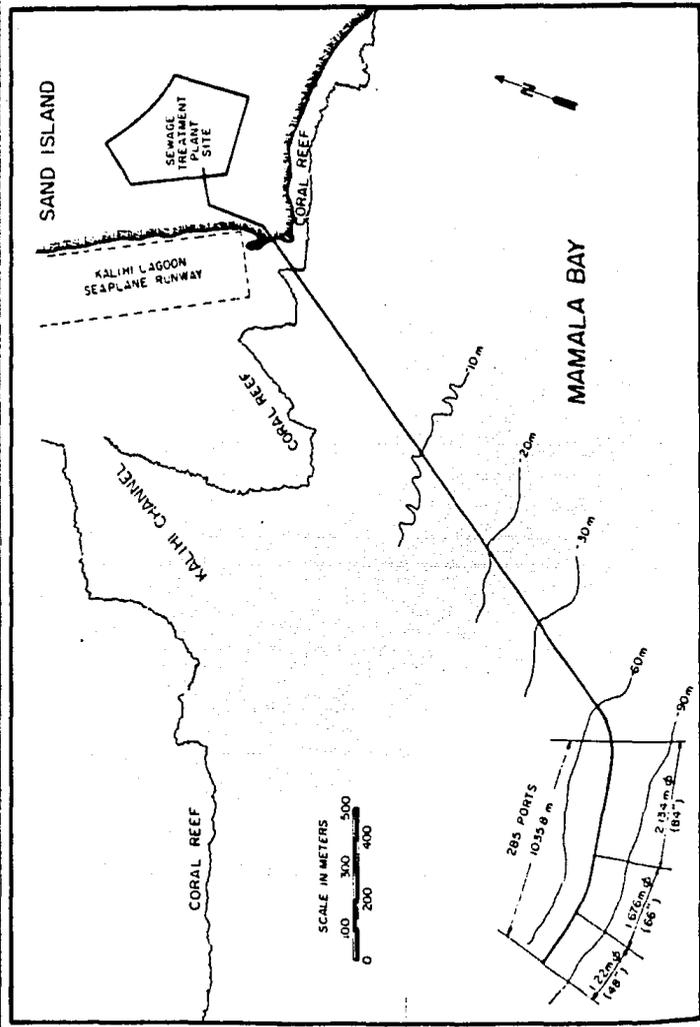


Fig. 8



Plano Esquemático del Difusor de "Sand Island"
 Hawaii
 Fig. 9

6.- ELABORACION DE UN SISTEMA EN COMPUTADORA COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO DE EMISORES SUBMARINOS

A través de los capítulos anteriores hemos estado reiterando la conveniencia de utilizar una computadora digital para la solución del Problema que nos atañe. El presente capítulo nos llevará a través del sistema que ha sido preparado especialmente para este trabajo, el cual se describe a continuación.

6.1.- DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA

El sistema abarca dos de las tres etapas de diseño de los capítulos anteriores, las cuales son:

- Difusión del campo de contaminantes en el mar.
- Diseño hidráulico de la estructura difusora.

Con lo que respecta a la difusión de contaminantes el sistema contempla los siguientes casos:

- Longitud tentativa del emisor submarino para asegurar que se cumpla la norma bacteriológica de calidad del agua de mar en la costa (la cual es de 1000 M.O./100 ml.), considerando que el arrastre de la mancha se lleva a cabo por medio de una corriente perpendicular a la costa y al difusor, con velocidad y dirección constantes.

- Concentración de contaminantes no conservativos al tiempo "t" de arrastre, después de haberse formado el campo.

- Concentración de contaminantes conservativos al tiempo "t" de arrastre, después de haberse formado el campo.

En el primer caso la longitud obtenida resulta ser conservadora. Sin embargo nos da una buena aproximación a la longitud real, la cual será obtenida por medio de estudios de campo con respecto de las corrientes marinas, los cuales deberán de arrojar las variaciones estacionales de este fenómeno, con respecto a su velocidad, dirección y duración.

Los resultados obtenidos del estudio descrito en el párrafo anterior, podrían ser usados para que por medio de la ayuda de los dos casos restantes de esta parte del sistema en computadora, se obtengan las concentraciones de los contaminantes conservativos y no conservativos, después de un tiempo "t" de arrastre por una o varias corrientes detectadas en el estudio de campo.

La teoría de la difusión de contaminantes en el mar, presentada al principio del presente trabajo, fue usada para la elaboración de estas tres opciones del sistema.

Con lo que respecta a la parte del sistema que contempla al diseño hidráulico de un difusor submarino, se observa lo siguiente:

- El sistema se basa en el método iterativo tratado al final del capítulo anterior.

- Se tienen las siguientes opciones de cálculo:

- Cálculo hidráulico considerando que la estructura difusora es una extensión del emisor submarino.

- Cálculo hidráulico considerando que el difusor es una bifurcación del emisor submarino.

- El cálculo se hace considerando que el difusor está dispuesto en un lecho marino plano y sin pendiente. No obstante es posible insertar la rutina de cálculo de un difusor en un lecho irregular o con pendiente, debido a que se contempla esta opción.

- El sistema permite calcular los diámetros de todos y cada uno de los orificios en la longitud total del difusor (los cuales son variables), contemplando las siguientes restricciones:

- Que la suma de las áreas de orificios se encuentre entre $1/3$ y $2/3$ del área transversal máxima, de la tubería del difusor.

- Que el gasto sea uniforme a lo largo de la estructura difusora, evitando variaciones de más de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}$.

- El sistema calcula las variaciones en el diámetro de la tubería del difusor, con el objeto de asegurar que las velocidades en este sean lo suficientemente grandes para evitar depósitos de sólidos.

- El sistema asegura que el gasto de diseño del emisor en cuestión, sea totalmente desalojado a través de los orificios del difusor.

- La separación de orificios es constante a lo largo de la tubería del difusor; sin embargo puede ser variada en cada una de las iteraciones del programa y en diferentes corridas de esta.

- Pueden ser variados, en iteraciones subsecuentes con el sistema, la carga hidráulica en el primer orificio, el diámetro de orificios y la separación entre cada uno de ellos. Esto se hace en forma interactiva con el sistema, el cual nos lleva de la mano pidiendonos la variación del parámetro que sea necesario, para la terminación exitosa del cálculo en un caso en particular.

- El sistema ajusta todos los requerimientos anteriores, a la longitud del difusor que ha sido determinada a través de la teoría presentada en este trabajo. Además asegura que se ocupe la longitud completa del difusor, con una exactitud de menos de 2 metros.

- Las pérdidas de carga hidráulica por fricción, se calculan con la ayuda de las fórmulas de Hazen y Williams para conductos a presión, en lugar de la fórmula de Darcy-Weisbach, debido a que nos facilitan las iteraciones en el cálculo hidráulico del difusor.

- El sistema entrega un reporte en impresora conteniendo el número del orificio, su diámetro, el gasto que pasa a través de él, la carga hidráulica total en este punto y la velocidad en la tubería del difusor y su diámetro a la altura del orificio correspondiente.

El sistema en general está pensado para que pueda ser usado por cualquier persona, sin importar si tiene conocimientos de lenguajes de computación o del sistema operativo MS-DOS. Para este fin se contemplan menús con diferentes opciones a escoger y mensajes de error y su manejo, en los casos que se incurran en ellos. A continuación veremos con más precisión estas características.

6.2.- MODO DE OPERACION.

Como se ha dicho en el párrafo anterior, el sistema está diseñado en forma amigable. Esto quiere decir que su operación es sencilla, aún para los que no están versados en el conocimiento de las computadoras.

Para este fin se implementaron una serie de desplegados en Pantalla; Para instruir en los pasos necesarios para realizar una tarea determinada; además de otros tantos mensajes de error que aparecerán cuando se incurra en alguno de ellos.

El modo de operación del sistema lo vamos a describir por medio de las pantallas a las que nos referimos anteriormente, las cuales han sido impresas en papel para poder tener una referencia de cada una de ellas. Se advierte que algunos de los caracteres impresos no corresponden a los que aparecen en pantalla, debido a que la impresora los interpretó de otra manera. Algunos de ellos son letras con acentos, signos de interrogación o admiración de la escritura en español o las tildes de las "Ñ's", por lo cual la mayoría de los caracteres sí fueron impresos correctamente.

El sistema completo junto con las utilerías del sistema operativo y el intérprete de GW-BASIC (que es el lenguaje de alto nivel en el que está programado el sistema), caben en un diskette con capacidad estándar. No obstante también puede cargarse el sistema en el directorio de un disco fijo.

Para poder comenzar la sesión con el sistema, lo único que se tiene que hacer es introducir el diskette que lo contiene a la máquina, y encenderla (o inicializarla si es que ya está encendida). Una vez hecho esto solo será necesario seguir las instrucciones que aparecerán en pantalla.

El programa que se deberá correr primero dentro de GW-BASIC será "PRESENT.BAS", el cual tiene una pequeña presentación y carátula del trabajo que nos atañe.

Las pantallas a las que hacemos referencia están al final del

Presente subcapítulo, las cuales serán descritas a continuación:

PANTALLA 1: una vez que desaparece la Presentación aparecerá la Primera pantalla, la cual no es sino el menú Principal conteniendo las dos principales opciones del sistema. Estas son: La Difusión de los Contaminantes en el Mar y El Calculo Hidraulico del Difusor. Como puede verse tambien se tiene la opción de Salida a MS-DOS, la cual debera de ser usada una vez que hayamos terminado de interactuar con el sistema y queramos dar por terminada la sesión.

Lo único que se tiene que hacer para escoger una de las opciones, es teclear el número correspondiente de cualquiera de ellas en el lugar donde Parpadea el cursor de la computadora, junto a un signo de interrogacion en la Parte inferior derecha de la pantalla, y despues Presionar la tecla de "Enter" o "Return". Cualquier otro caracter que se ingresa de esta manera al sistema, provocará que el mismo mande un mensaje de error, que limpie el lugar donde fueron tecleados los caracteres invalidos y que pida de nuevo la opción deseada.

PANTALLA 2: en esta Pantalla se tienen las dos Principales opciones del calculo de la difusion de contaminantes en el mar, las cuales como ya dijimos son la longitud tentativa del emisor submarino Para asegurar el cumplimiento de la norma bacteriológica en la costa y la concentración de un determinado contaminante (conservativo y no conservativo) despues de un tiempo "t" de travesía, debida al arrastre de una corriente determinada. Esta Pantalla aparecerá cuando desde el menú Principal se escoja la opción 1, como aparece en la pantalla 1. Además se contempla la opción del regreso al menú Principal, la cual puede ser usada en el caso de que ya se haya terminado de usar esta parte del sistema.

La forma de ingresar a las opciones es la misma que la del menú Principal y contempla los mismos mensajes de error.

PANTALLA 3: esta pantalla aparecerá en el caso que escojamos a la opción 2 de la Pantalla anterior. Aquí se tienen las opciones Para obtener la concentración de un contaminante conservativo o la concentración de microorganismos, despues de un tiempo "t" de travesía por el arrastre de las corrientes marinas Prevalcientes.

La forma de escoger cualquiera de las opciones, es la misma que Para las Pantallas anteriores.

PANTALLA 4: si se escoge la opción 1 del menú anterior, aparecerá en la pantalla el Primer párrafo de la pantalla 4, la

cual nos pide el primer dato necesario para el calculo de la concentración de contaminantes conservativos. Una vez ingresado este dato, aparecerá el siguiente párrafo que nos pedirá el siguiente, y así podemos seguir hasta haber completado el numero de datos necesarios para el caso de que se trate, los cuales como se puede observar son solo tres en esta pantalla y están explicados en la misma.

Para introducir cada uno de los datos al sistema, lo unico que se tiene que hacer es teclear su valor inmediatamente después del signo de interrogacion que aparecerá junto al párrafo que nos lo pide, y después presionar la tecla de "Enter" o "Return".

Es conveniente remarcar que solo se podrán ingresar numeros y el punto decimal al sistema y no así signos, letras o cualquier otro caracter. Tampoco se podrá dejar el campo en blanco ni podrá ser igual a cero. Cada vez que se incurra en un error de estos aparecerá un mensaje la parte inferior de la pantalla, recordándonos la falla.

También debemos recalcar que solo se tendrán 5 oportunidades para introducir el valor correcto de la variable, al termino de las cuales tendremos que empezar de nuevo a introducir todos los datos de esta pantalla, ya que el sistema pone en cero todas las variables ingresadas con anterioridad.

PANTALLA 5: una vez introducido el ultimo dato de la pantalla anterior y después de unos segundos, aparecerá la presente, la cual constituye la solución a la opción 1 de la pantalla 3, con los datos de ejemplo de la pantalla 4. Aquí el factor de dilución se define como el cociente entre la concentración inicial en el campo de contaminantes, sobre la concentración final después de difundirse en el mar un tiempo "t".

Para poder continuar con el sistema, una vez que se tomó nota de los resultados obtenidos en esta pantalla, lo que se tendrá que hacer es presionar la tecla de "Enter" o "Return".

PANTALLA 6: el presente menú aparecerá siempre que terminemos con alguno de los calculos que nos facilita el sistema, y su unico fin es el de darle continuidad al mismo. La manera de introducir las opciones es la misma que la que usamos en los menús y tiene las mismas medidas de seguridad. Si se quiere volver a repetir los calculos para obtener el resultado de la pantalla anterior, se tendrá que escoger a la opción 1.

PANTALLA 7: si desde el menú de continuidad escogemos la opción 2, el sistema nos regresará al de la pantalla 3. Así pues, ahora escogeremos a la opción 2, que representa al calculo de la concentración de microorganismos después de un tiempo "t" de difusión en el mar.

PANTALLA 8: esta pantalla tiene la misma mecánica que la 4 , solo que ahora para poder realizar este calculo se necesitaran cuatro datos en vez de tres. Esta pantalla al igual que la 4 , tiene algunos datos de Prueba al frente del parrafo correspondiente. También en ella tenemos solo 5 oportunidades para introducir el valor correcto de cada parrafo.

PANTALLA 9: esta pantalla representa la solución a esta parte del sistema, de la cual se podrá salir con solo Presionar la tecla de "Return" o "Enter".

PANTALLA 10: esta pantalla es el menu de continuidad al que haciamos referencia en la Pantalla 6.

PANTALLA 11: si en el menú de continuidad escogemos la opción 2 , la cual nos manda al menu de las Pantallas 3 o 7 , y en este escogemos la opción cero, el sistema nos mandara al menu de la pantalla 2 , el cual contiene a las dos opciones Principales para la difusion de contaminantes en el mar. Ahora escogeremos a la opción 1 , la cual se explica en la misma pantalla.

PANTALLA 12: la actividad anterior nos manda a la pantalla en donde nos piden los datos para el calculo de la longitud tentativa del emisor submarino, con respecto a la concentracion de microorganismos en la costa. Esta pantalla tiene la misma mecánica que la 4 y la 8. Una vez que ingresemos todos los datos, tendremos que esperar un poco más de tiempo que en las otras dos Pantallas similares, ya que el calculo es un poco mas complicado.

PANTALLA 13: representa a la solución de esta parte del sistema y al igual que sus similares, se podrá salir de ella con solo Presionar "Enter" o "Return".

PANTALLA 14: constituye el menu de continuidad del que ya hemos hablado, del cual escogeremos de nuevo la opción 2, para continuar con la explicacion.

PANTALLA 15: del menú de continuidad pasariamos al de las Pantallas 2 y 11, y de ahí por medio de la opción cero al menu Principal que también tenemos en la pantalla 1. Ahora escogeremos a la opción 2 de este menú para entrar a la otra parte fundamental del sistema, que es el cálculo hidráulico de la estructura difusora.

PANTALLA 16: esta es la pantalla en donde se piden los datos

de entrada a esta parte del sistema, la cual tiene la misma mecánica que sus similares. Todos los datos que se piden aquí excepto uno, son producto del cálculo de la dilución inicial del efluente (longitud del difusor), del cálculo hidráulico del emisor submarino (diámetro del emisor) y de datos del proyecto (pesos específicos y coeficiente de pérdidas por fricción). El único dato que debemos de estimar para efectos de las iteraciones del cálculo, es el de la carga hidráulica total en el último orificio del difusor (orificio 1).

PANTALLA 17: en esta se nos presentan dos opciones de cálculo, que nos permitan tener más versatilidad en el caso de que se trate; ya que existen casos en que la estructura difusora es una bifurcación o división en dos del emisor submarino, y otros en los que el difusor es una continuación de aquel.

La manera de introducir a la opción es la misma que en los casos anteriores y también no se permitirá ingresar ningún otro carácter que no sea 1 o 2.

PANTALLA 18: en esta se presentan dos preguntas a las que hay que responder con sí o no. Una es al respecto de si la entrada a cada orificio, desde la tubería del difusor, tiene bordes redondeados o no (lo cual se utiliza para el cálculo de las pérdidas de energía por entrada) y la otra se refiere a si el difusor estará dispuesto en un lecho marino plano y sin pendiente o no (lo cual se utiliza para introducir o no a la carga de posición) en el cálculo de la carga hidráulica total en cada orificio). En el caso de la segunda pregunta solo se tiene implementado el cálculo del difusor en un lecho plano, sin embargo se consideró esta opción para insertar en un futuro el cálculo complementario.

PANTALLA 19: en esta se pedirán dos datos muy importantes para el cálculo de esta estructura; los cuales son el diámetro de orificios y su separación a lo largo del difusor. Estos valores se tendrán que estimar en un principio para comenzar con la primera iteración, sin embargo el sistema nos irá pidiendo que los modifiquemos para llegar a una solución óptima que se adapte a los requerimientos hidráulicos y físicos que se tienen a partir de los datos iniciales.

La forma de ingresar los datos es la misma que en las pantallas de petición, como la 16.

PANTALLA 20: una vez que hayamos pasado por el número de iteraciones necesario para obtener un diseño óptimo del difusor (lo cual se hace automáticamente por el sistema, interactuando con mensajes y repeticiones hasta el diseño final), aparecerá

la Presenta pantalla en la cual se pregunta si se quieren imprimir los resultados de los cálculos hidráulicos o no; ya que será la única manera de que estos sean vistos. En este caso se le ha dicho que no se quieren imprimir los resultados, por lo cual aparece la pregunta de si se está seguro de no querer la impresión, a la cual en este caso hemos respondido que si (Para efecto de mostrar todas las opciones).

La manera de introducir la respuesta será igual que en la pantalla 18 y se tienen también los mismos filtros para evitar pasar cualquier otro carácter que no sean los descritos ahí.

PANTALLA 21: en el caso de haber escogido la opción de no impresión y si al hecho de estar seguro, apareciera de inmediato la pantalla para continuar con el sistema de la que ya hablamos hablado con anterioridad. En la cual podemos volver a pedir otro cálculo hidráulico desde la introducción de los datos primarios, o la salida al menú principal.

PANTALLA 22: si en la pantalla 20 escogemos la opción de si a la impresión, apareciera la frase de que se debe asegurar de que la impresora este prendida y en línea, ya que si esta esta apagada, provocará un error en el sistema. Este error podrá manejarse si ocurre una sola vez (desplegando un mensaje de error en la parte inferior de la pantalla), sin embargo si se incurre en él dos veces seguidas, se provocará una falla en el sistema lo cual nos pondrá en el modo directo de GW-BASIC y perderemos toda la información generada por el sistema hasta entonces.

REPORTE: si no se incurre en ningún error, se obtendrá un reporte parecido al que aparece al final de las hojas de las pantallas, con el número de orificios que se hayan generado y las características físicas e hidráulicas que resulten del cálculo.

Las pantallas a las que hemos estado haciendo referencia se encuentran en las siguientes páginas.

Pantalla 1:

SISTEMA DE AUTOMATIZACION PARA EL DISEÑO DE EMISORES SUBMARINOS

(MENU PRINCIPAL)

(1)- DIFUSION DE CONTAMINANTES EN EL MAR.

(2).- CALCULO HIDRAULICO DE LA ESTRUCTURA DIFUSORA.

SALIDA A MS-DOS (0)

INTRODUZCA SU OPCION [? 1]

Pantalla 2:

OPCIONES PARA EL CALCULO DE LA DIFUSION DEL CAMPO DE CONTAMINANTES EN EL MAR

(1).- LONGITUD TENTATIVA MAXIMA DEL EMISOR SUBMARINO, PARA ASEGURAR QUE SE CUMPLA LA NORMA CON RESPECTO DE LA CONCENTRACION DE CO-LIFORMES EN LA COSTA PARA AGUAS CUYO USO ES LA RECREACION CON CONTACTO PRIMARIO, LA CUAL DEBE SER MENOR A 1000 org./100ml.

EL CALCULO CONSIDERA QUE EL ARRASTRE DE LOS CONTAMINANTES SE OBTIENE POR EFECTO DE UNA CORRIENTE EN DIRECCION PERPENDICULAR A LA COSTA CON UNA VELOCIDAD CONSTANTE (se obtienen resultados conservadores).

(2).- CONCENTRACION AL CENTRO DEL CAMPO DE CONTAMINANTES DESPUES DE HABER SIDO ARASTRADOS POR UNA CORRIENTE SIN UNA DIRECCION FIJA Y CON VELOCIDAD CONSTANTE DURANTE UN TIEMPO t (hrs.).

EL CALCULO CONTEMPLA LAS OPCIONES PARA CONTAMINANTES CONSERVATIVOS Y PARA NO CONSERVATIVOS.

MENU PRINCIPAL (0)

INTRODUZCA SU OPCION [? 2]

Pantalla 3:

OPCIONES PARA EL CALCULO DE LA CONCENTRACION
DE CONTAMINANTES AL TIEMPO 't'

(1)- CONCENTRACION DE CONTAMINANTES CONSERVATIVOS.

(2).- CONCENTRACION CON DECAIMIENTO MICROBIANO.

MENU ANTERIOR (0)

INTRODUZCA SU OPCION [? 1]

Pantalla 4:

Ancho del Campo de Contaminantes a
la Salida del Difusor (en metros) = ? 1000

Tiempo al Trmino del Cual se Quiere
Conocer la Concentraci"n de Con-
taminantes Conservativos (hrs.) = ? 5

Concentraci"n de Contaminantes Con-
servativos Despues de Obtenerse la
Diluci"n Inicial a la Altura del
Difusor (p.p.m.) = ? 400

Pantalla 5:

LA CONCENTRACION DE CONTAMINANTES CONSERVATIVOS ES:

Conc. (p.p.m.) = 254.3124

FACTOR DE DILUCION DE LOS CONTAMINANTES CONSERVATIVOS

Dil. = 1.572869 Al tiempo (hrs.) = 5

LOS PARAMETROS INTRODUCIDOS FUERON:

Ancho Campo = 1000 Tiempo de Recorrido = 5

Conc. Inicial = 400

RETURN PARA CONTINUAR [?]

Pantalla 6:

MENU PARA CONTINUAR CON EL SISTEMA

(1).- INTRODUCIR NUEVOS PARAMETROS.

(2).- MENU ANTERIOR.

INTRODUZCA SU OPCION [?]

Pantalla 7:

OPCIONES PARA EL CALCULO DE LA CONCENTRACION DE CONTAMINANTES AL TIEMPO 't'

(1)- CONCENTRACION DE CONTAMINANTES CONSERVATIVOS.

(2).- CONCENTRACION CON DECAIMIENTO MICROBIANO.

MENU ANTERIOR (0)

INTRODUZCA SU OPCION [? 2]

Pantalla 8:

Ancho del Campo de Contaminantes a
la Salida del Difusor (en metros) = ? 1000

Tiempo al Trmino del cual se quiere
Conocer la Concentraci"n de Conta-
minantes no Conservativos (hrs.) = ? 5

Constante de Decaimiento Microbiano
en el Mar (1/hora) = ? .45

Concentraci"n de Coliformes en el
Campo de Contaminantes Despus de
Obtenerse la Diluci"n Inicial
Sobre el Difusor (M.O./100ml) = ? 1000000

Pantalla 9:

LA CONCENTRACION CON DECAIMIENTO MICROBIANO SERA:

Conc. (M.O./100 ml.) = 63742.68

FACTOR DE DILUCION CON DECAIMIENTO MICROBIANO:

Dil. = 15.68808

Al tiempo (hrs.) = 5

LOS PARAMETROS INTRODUCIDOS FUERON:

Ancho Campo = 1000

Tiempo de Recorrido = 5

Decaimiento de M.O. = .46

Conc. Inicial = 1000000

RETURN PARA CONTINUAR [?]

Pantalla 10:

MENU PARA CONTINUAR CON EL SISTEMA

(1).- INTRODUCIR NUEVOS PARAMETROS.

(2).- MENU ANTERIOR.

INTRODUZCA SU OPCION [?]

Pantalla 11:

OPCIONES PARA EL CALCULO DE LA DIFUSION DEL CAMPO DE CONTAMINANTES EN EL MAR

- (1).- LONGITUD TENTATIVA MAXIMA DEL EMISOR SUBMARINO, PARA ASEGURAR QUE SE CUMPLA LA NORMA CON RESPECTO DE LA CONCENTRACION DE COLIFORMES EN LA COSTA PARA AGUAS CUYO USO ES LA RECREACION CON CONTACTO PRIMARIO. LA CUAL DEBE SER MENOR A 1000 org./100ml.
EL CALCULO CONSIDERA QUE EL ARRASTRE DE LOS CONTAMINANTES SE OBTIENE POR EFECTO DE UNA CORRIENTE EN DIRECCION PERPENDICULAR A LA COSTA CON UNA VELOCIDAD CONSTANTE (se obtienen resultados conservadores).
- (2).- CONCENTRACION AL CENTRO DEL CAMPO DE CONTAMINANTES DESPUES DE HABER SIDO ARASTRADOS POR UNA CORRIENTE SIN UNA DIRECCION FIJA Y CON VELOCIDAD CONSTANTE DURANTE UN TIEMPO t (hrs.).
EL CALCULO CONTEMPLA LAS OPCIONES PARA CONTAMINANTES CONSERVATIVOS Y PARA NO CONSERVATIVOS.

MENU PRINCIPAL (0)

INTRODUZCA SU OPCION [? 11]

Pantalla 12:

Ancho del Campo de Contaminantes a
la Salida del Difusor (en metros) = ? 1000

Velocidad de la Corriente Perpen-
dicular a la Costa a la Altura
del Difusor (m/s) = ? .152

Constante de Decaimiento Microbiano
en el Mar (1/hora) = ? .46

Concentraci"n de Coliformes en el
Campo de Contaminantes Despus de
Obtenerse la Diluci"n Inicial
Sobre el Difusor (M.O./100ml) = ? 1000000

Pantalla 13:

LA LONGITUD TENTATIVA DEL EMISOR Y EL TIEMPO DE RECORRIDO
CON RESPECTO A LA NORMA BACTERIOLOGICA EN LA COSTA ES:

Long. (m) = 6900

Tiempo (hrs) = 12.60965

CONCENTRACION EN LA COSTA (en M.O./100 ml.):

Conc. = 949.8399

FACTOR DE DILUCION CON DECAIMIENTO MICROBIANO:

Dil. = 1052.809

LOS PARAMETROS INTRODUCIDOS FUERON:

Ancho Campo = 1000

Vel. de la Corriente = .152

Decaimiento de M.O. = .46

Conc. Inicial = 1000000

RETURN PARA CONTINUAR [?]

Pantalla 14:

MENU PARA CONTINUAR CON EL SISTEMA

(1).- INTRODUCIR NUEVOS PARAMETROS.

(2).- MENU ANTERIOR.

INTRODUZCA SU OPCION [?]

Pantalla 15:

SISTEMA DE AUTOMATIZACION PARA EL DISEÑO DE EMISORES SUBMARINOS

(MENU PRINCIPAL)

(1)- DIFUSION DE CONTAMINANTES EN EL MAR.

(2).- CALCULO HIDRAULICO DE LA ESTRUCTURA DIFUSORA.

SALIDA A MS-DOS (0)

INTRODUZCA SU OPCION (? 2)

Pantalla 16:

Longitud del Difusor (en metros) = ? 1000

Gasto de Diseño en Consideracion
del Emisor Submarino (m^3/s) = ? 8.85

Carga Hidraulica Total en el Ulti-
mo Orificio (orf.) (en metros) = ? 10

Diámetro Emisor Submarino (mts.) = ? 2.134

Coefficiente de Hazen-Williams
Para el Cálculo de Prdidas de
Carga por Fricción = ? 100

Peso Especifico del Fluido
Descargado (Kgf/m^3) = ? 1000

Peso Especifico del Agua
de Mar (Kgf/m^3) = ? 1100

Pantalla 17 :

ESCOJA UNA DE LAS SIGUIENTES OPCIONES

- (1).- El Final de la Tuberia del Emisor esta Bifurcada.
- (2).- El Difusor es una Continuacion de la Tuberia del Emisor.

OPCION = ?

Pantalla 18 :

¿ La Entrada a cada Orificio Tiene Bordas Redondeados ?
(s/S = si; n/N = no) : ? s

¿ Se va a Disponer el Difusor en un Lecho Marino Plano
y Horizontal ? . O sea con $z = 0$ (C.de Posicion)
(s/S = si; n/N = no) : ? s

Pantalla 19:

Introduzca el diámetro del primer
orificio, de acuerdo a $d_1 \leq 0.5A$,
que quiere decir que la suma de las
reas de los orificios ser menor
al 50% del rea del difusor (en cm.) = ? 10

Introduzca la separación entre ori-
ficios que puede obtenerse (metros) = ? 8

Pantalla 20:

La única manera en que se podrá ver los resultados
es por medio de su despliegue en la impresora.

(QUIERE IMPRIMIR LOS RESULTADOS ?
(s/S = s/; n/N = no) : ? n

(ESTA SEGURO ? (s/S = s/; n/N = no) : ? s

Pantalla 21:

MENU PARA CONTINUAR CON EL SISTEMA

(1).- INTRODUCIR NUEVOS PARAMETROS.

(2).- MENU PRINCIPAL.

INTRODUZCA SU OPCION [?]

Pantalla 22:

La única manera en que se podrán ver los resultados
es por medio de su despliegue en la impresora

¿ QUIERE IMPRIMIR LOS RESULTADOS ?

(S/S = sí; n/N = no) : ? S

! ASEGURESE DE QUE LA IMPRESORA ESTE ENCENDIDA !

(Return Para Continuar) : ?

Reporte :

SISTEMA EN COMPUTADORA PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS
HIDRAULICOS DE DISEÑO DEL DIFUSOR DE UN EMISOR SUBMARINO

PARAMETROS INICIALES

EL DIFUSOR ES UNA CONTINUACION DEL EMISOR

Q(difusor) = Q(emisor) = 8.850001 Separacion Orif. = 8 m

Long.(calculo difusor) = Long.(difusor) = 1000

Diam.Emisor = 2.134 C.Hazen y W. = 100 P.Esp.Desecho = 1000

P.Esp.Mar = 1100 FONDO MARINO PLANO Y SIN PENDIENTE

LOS RESULTADOS DE LA SIGUIENTE TABLA
ABARCAN A LA LONGITUD COMPLETA DEL DIFUSOR

ORF.	CARGA HIDR. (m)	GASTO EN PTO. (l/s)	VELOC.EN DIF. (m/s)	D. ORIF (cm)	D. DIF. (m)
1	10	107.2614	2.963481E-02	10	2.134
2	10.00001	107.2614	.059624	10	2.134
3	10.00003	107.261	8.961306E-02	10	2.134
4	10.00008	107.2603	.119602	10	2.134
5	10.00017	107.2595	.1495906	10	2.134
6	10.0003	107.2586	.179579	10	2.134

Suma de Gastos de Orificios = .6435621 m³/s.

Suma de Areas de Orificios = 4.712389E-02 m².

Long.Sobrante del Difusor = 960 m.

5.3.- EJEMPLO.

Ahora describiremos cuatro ejemplos prácticos en los que utilizaremos al sistema desarrollado. Esto es con el objeto de probar su eficacia en la solución de algunas características de los emisores submarinos.

Las soluciones arrojadas por la computadora, serán desplegadas al final de este capítulo.

Los ejemplos están basados en casos reales que han sido tomados de algunos títulos de la bibliografía del presente trabajo.

EJEMPLO 1: este ejemplo se refiere al cálculo de la longitud de un emisor submarino, para asegurar que se cumpla la norma bacteriológica en la costa, por efecto de la difusión de los contaminantes en el mar y también por efecto del decaimiento de microorganismos en este medio.

Según el ejemplo expuesto en el artículo de Norman H. Brooks (Diffusion of Sewage Effluent in an Ocean - Current), de un emisor submarino construido para la ciudad de Sn. diego, se tienen las siguientes características físicas y de diseño:

- Q (diseño) = 200 millones de gal./día = $8.762 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Const. Decaimiento Microbiano = $k = .46/\text{hr}$.
- Long. de Difusor = $2(1800 \text{ ft}) = 2(548.64 \text{ m}) = 1097.28 \text{ m}$.
- Longitud del emisor = $12700 \text{ ft} = 3870.96 \text{ m}$.

Si nosotros suponemos:

- Vel. de Corriente Perpendicular a la Costa = 0.085 m/s .
- Concentración de Coliformes Después de la dilución Inicial por el Difusor = $1,000,000 \text{ M.D./100 ml}$.

Introduciendo al sistema, a la longitud del campo de contaminantes como la proyección de la longitud del difusor de Sn. Diego, a la constante de decaimiento microbiano del mismo proyecto y a los dos últimos datos, obtenemos una longitud del difusor submarino de 3900 m . Que es casi la misma longitud real del emisor de Sn. Diego.

En este caso se obtuvo un resultado muy cercano al valor

real, sin embargo este no podría considerarse como el definitivo en un proyecto real. No obstante se pueda observar que el resultado obtenido por esta parte del sistema, puede ser de gran ayuda para la estimación de la magnitud de la estructura en un diseño Preliminar.

Al final de este capítulo, Presentamos los resultados arrojados por el sistema en este caso.

EJEMPLO 2: en este ejemplo usaremos la parte del sistema que nos facilita la obtención de la concentración de microorganismos, después de un tiempo "t" de travesía debida al arrastre de las corrientes Prevalcientes.

Para este caso usaremos los mismos datos que en el ejemplo anterior, excepto que ahora requeriremos a la concentración de microorganismos que se obtiene después de 5 horas de viaje en el mar. Podemos observar en los resultados obtenidos por el ejemplo anterior, que la mancha de contaminantes tarda 12.7451 horas en alcanzar la costa, con la longitud de emisor que resulta del cálculo.

Así pues, ahora la concentración de microorganismos después de 5 horas de ser arrastrada por las corrientes del lugar, es de 66011.58 M.O./100 ml. (según la teoría de la difusión aplicada aquí), con un factor de dilución de 15.14884 (el factor de dilución se define como la relación entre la concentración inicial y la concentración final, después del arrastre, del contaminante de que se trate).

Los resultados se presentan al final de este capítulo.

EJEMPLO 3: ahora calcularemos la concentración de contaminantes conservativos, que resulta de la difusión de la mancha en el mar. Para esto consideraremos al mismo ancho inicial del campo de contaminantes que teníamos para los dos ejemplos anteriores, al mismo tiempo de arrastre del ejemplo anterior (5 horas), pero a una concentración inicial (la que se alcanza después de la dilución provocada por el difusor) de 400 p.p.m. de un contaminante conservativo, o que no decae con el tiempo (como podrían ser metales Pesados, detergentes etc.).

Podemos observar en los resultados presentados al final del capítulo, que el factor de dilución es mucho menor al del ejemplo anterior (para el mismo tiempo de arrastre). Esto se debe a que ahora no existe decaimiento del contaminante con respecto al tiempo, y por lo tanto la concentración final solo depende de la difusión de la mancha en el mar.

EJEMPLO 4: en este abordaremos al diseño hidráulico de la estructura difusora, tomando en cuenta los requerimientos y características deseadas que ya fueron expuestas en el capítulo correspondiente; como son Gasto uniforme a lo largo de la tubería del difusor, velocidad adecuada para evitar depósitos etc.

Para lograr nuestro cometido usaremos el caso real del emisor submarino de "Sand Island", el cual fue construido para desechos las aguas negras municipales del condado y ciudad de Honolulu, Hawaii. Este ejemplo aparece en el libro de "Mixing in Inland and Coastal Waters, cap.10.4" (ver bibliografía).

El ejemplo de referencia tiene las siguientes características:

- Gasto máximo de diseño = 8.85 m³/s.
- Longitud del difusor = 1030 m.
- Diámetro del emisor = 2.134 m = 84".
- Número de orificios = 282.
- Diámetros de orificios = de 7.62 a 8.97 cm.

El difusor es una continuación del emisor submarino y está dispuesto en un fondo plano y sin pendiente. La tubería del difusor tiene tres diámetros diferentes de 1.22 m., 1.676 m. y 2.134 m. (48".62" y 84" respectivamente), los cuales se disponen para evitar depósitos por velocidades bajas en este. Los diferentes diámetros de orificios son con el objeto de mantener uniforme el gasto de salida a través del difusor. Estas y otras características pueden ser observadas en la referencia antes mencionada o también en las gráficas del final del capítulo anterior.

Así las cosas, ahora introduciremos a nuestro sistema las características de diseño del ejemplo citado, como son el gasto de diseño, la longitud del difusor, el diámetro del emisor submarino y utilizaremos como el diámetro en el orificio 1 (último del difusor) al máximo de dicho ejemplo (8.97 cm.). Además escogeremos a la opción del difusor como una continuación del emisor submarino y le diremos al sistema que está dispuesto en un lecho marino plano y sin pendiente y que presenta bordes redondeados a la salida de cada orificio. También daremos una carga hidráulica deseada en el orificio 1 de 1.2 m. y una separación entre orificios de 3.55 m. El coeficiente de fricción de Hazen y Williams lo consideraremos igual a 100 solo para efectos del ejemplo, el cual representa el peor de los casos. Con lo que respecta a los pesos específicos del agua de desecho y del agua de mar, se han supuesto valores arbitrarios debido a que no afectan al cálculo final; ya que solo afectarían en el caso del cálculo de un difusor dispuesto

en un fondo accidentado y con pendiente. Todos estos valores pueden ser chequeados en las Pantallas y el reporte de resultados que se presentan al final del capítulo.

Con estos valores obtuvimos el reporte de resultados que se presenta al final, el cual fue el producto de varias iteraciones, en las que se variaron la carga hidráulica en el orificio 1 y la separación de orificios. Se dejó fijo al diámetro del primer orificio debido a que era un dato del ejemplo que se está presentando.

Si observamos al reporte citado, nos percataremos de que el número de orificios arrojados por el sistema, es aproximadamente el mismo que se tiene en la realidad en el emisor construido en Hawaii (No. orificios en el sistema 291). Los diámetros de difusor arrojados son 1.214, 1.474, 1.834 y 2.134 m., los cuales difieren de los del ejemplo debido a que no se tienen implementados en el sistema a los diámetros comerciales correspondientes; sin embargo con estos diámetros se aseguran velocidades adecuadas para evitar depósitos en la tubería. Con lo que respecta a los diámetros de orificios, el sistema calculó las siguientes variaciones: 5.97, 7.47, 7.97, 8.47 y 8.97 cm. La diferencia con el ejemplo real, es en el valor del diámetro inferior de orificios, lo cual se puede deber a las siguientes razones: a que se consideró un coeficiente de fricción diferente al del ejemplo real y/o a que la carga hidráulica estimada en el orificio 1 difiere de la real y/o a que en el sistema se puso un límite más estricto para considerar la uniformidad de gastos a través del difusor; ya que en el sistema no puede haber una variación mayor de 3 l/s, sin que haya un ajuste del diámetro de orificios para mantener la uniformidad del gasto.

Así pues podemos observar que el sistema trabaja bien y que lo único que le faltaría sería la implementación de los diámetros comerciales y el ajuste de los límites de variación del gasto en los orificios y de velocidad en la tubería para evitar depósitos, si es que esto último fuera necesario.

Ejemplo 1:

Ancho del Campo de Contaminantes a
la Salida del Difusor (en metros) = ? 1097.29

Velocidad de la Corriente Perpen-
dicular a la Costa a la Altura
del Difusor (m/s) = ? .085

Constante de Decaimiento Microbiano
en el Mar (1/hora) = ? .46

Concentraci"n de Coliformes en el
Campo de Contaminantes Despues de
Obtenerse la Diluci"n Inicial
Sobre el Difusor (M.O./100ml) = ? 1000000

LA LONGITUD TENTATIVA DEL EMISOR Y EL TIEMPO DE RECORRIDO
CON RESPECTO A LA NORMA BACTERIOLOGICA EN LA COSTA ES:

Long. (m) = 3900

Tiempo (hrs) = 12.7451

CONCENTRACION EN LA COSTA (en M.O./100 ml.):

Conc. = 936.0256

FACTOR DE DILUCION CON DECAIMIENTO MICROBIANO:

Dil. = 1068.347

LOS PARAMETROS INTRODUCIDOS FUERON:

Ancho Campo = 1097.28

Vel.de la Corriente = .085

Decaimiento de M.O. = .46

Conc. Inicial = 1000000

RETURN PARA CONTINUAR [?]

Ejemplo 2:

Ancho del Campo de Contaminantes a
la Salida del Difusor (en metros) = ? 1097.28

Tiempo al Trmino del cual se quiere
Conocer la Concentraci"n de Conta-
minantes no Conservativos (hrs.) = ? 5

Constante de Decaimiento Microbiano
en el Mar (1/hora) = ? .46

Concentraci"n de Coliformes en el
Campo de Contaminantes Despus de
Obtenerse la Diluci"n Inicial
Sobre el Difusor (M.O./100ml) = ? 1000000

LA CONCENTRACION CON DECAIMIEND MICROBIANO SERA:

Conc. (M.O./100 ml.) = 66011.68

FACTOR DE DILUCION CON DECAIMIENDO MICROBIANO:

Dil. = 15.14884 Al tiempo (hrs.) = 5

LOS PARAMETROS INTRODUCIDOS FUERON:

Ancho Campo = 1097.28 Tiempo de Recorrido = 5
Decaimiento de M.O. = .46 Conc. Inicial = 1000000

RETURN PARA CONTINUAR [?]

Ejemplo 3:

Ancho del Campo de Contaminantes a
la Salida del Difusor (en metros) = ? 1097.28

Tiempo al Trmino del Cual se Quie-
ra Conocer la Concentraci"n de Con-
taminantes Conservativos (hrs.) = ? 5

Concentraci"n de Contaminantes Con-
servativos Despues de Obtenerse la
Diluci"n Inicial a la Altura del
Difusor (p.p.m.) = ? 400

LA CONCENTRACION DE CONTAMINANTES CONSERVATIVOS ES:

Conc. (p.p.m.) = 263.365

FACTOR DE DILUCION DE LOS CONTAMINANTES CONSERVATIVOS

Dil. = 1.518805 Al tiempo (hrs.) = 5

LOS PARAMETROS INTRODUCIDOS FUERON:

Ancho Campo = 1097.28 Tiempo de Recorrido = 5

Conc. Inicial = 400

RETURN PARA CONTINUAR [?]

Ejemplo 4:

Longitud del Difusor (en metros) = ? 1030

Gasto de Diseño en Consideración
del Emisor Submarino (m^3/s) = ? 8.85

Carga Hidráulica Total en el último Orificio (orf.1) (en metros) = ? 1.2

Diámetro Emisor Submarino (mts.) = ? 2.134

Coeficiente de Hazen-Williams
Para el Calculo de Prdidas de
Carga por Fricción = ? 100

Peso Especifico del Fluido
Descargado (kgf/m^3) = ? 1000

Peso Especifico del Agua
de Mar (kgf/m^3) = ? 1100

Ejemplo #:

SISTEMA EN COMPUTADORA PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS
HIDRAULICOS DE DISEÑO DEL DIFUSOR DE UN EMISOR SUBMARINO

PARAMETROS INICIALES

EL DIFUSOR ES UNA CONTINUACION DEL EMISOR

$Q(\text{difusor}) = Q(\text{emisor}) = 8.250001$ Separacion Orif. = 3.55 m
 Long.(calculo difusor) = Long.(difusor) = 1030
 Diam.Emisor = 2.134 C.Hazen y W. = 100 P.Esp.Desecho = 1000
 P.Esp.Mar = 1100 FONDO MARINO PLANO Y SIN PENDIENTE

LOS RESULTADOS DE LA SIGUIENTE TABLA
ABARCAN A LA LONGITUD COMPLETA DEL DIFUSOR

ORF.	CARGA HIDR. (m)	GASTO EN FTO. (1/s)	VELOC. EN DIF. (m/s)	D. DRIF (cm)	D. DIF. (m)
1	1.2	29.89613	2.553111E-02	8.97	1.154001
2	1.200005	29.89619	5.411452E-02	8.97	1.154001
3	1.200023	29.89534	.0826971	8.97	1.154001
4	1.200063	29.89398	.1112784	8.97	1.154001
5	1.200133	29.89221	.139858	8.97	1.154001
6	1.20024	29.89012	.1684356	8.97	1.154001
7	1.20039	29.8878	.197011	8.97	1.154001
8	1.200591	29.88532	.225584	8.97	1.154001
9	1.200849	29.88279	.2541546	8.97	1.154001
10	1.201171	29.88026	.2827228	8.97	1.154001
11	1.201563	29.87784	.3112886	8.97	1.154001
12	1.202032	29.87558	.3398523	8.97	1.154001
13	1.202583	29.87358	.3684141	8.97	1.154001
14	1.203223	29.87191	.3969743	8.97	1.154001
15	1.203957	29.87063	.4255333	8.97	1.154001
16	1.204793	29.86983	.4540915	8.97	1.154001
17	1.205735	29.86958	.4826494	8.97	1.154001
18	1.206789	29.86995	.5112077	8.97	1.154001
19	1.207962	29.871	.539767	8.97	1.154001
20	1.209259	29.87282	.5683281	8.97	1.154001
21	1.210686	29.87548	.5968917	8.97	1.154001
22	1.212248	29.87904	.6254587	8.97	1.154001
23	1.213951	29.88357	.65403	8.97	1.154001
24	1.215801	29.88913	.6826067	8.97	1.154001
25	1.217803	29.8958	.7111898	8.97	1.154001
26	1.219964	29.90364	.7397803	8.97	1.154001
27	1.222287	29.91272	.7683795	8.97	1.154001
28	1.22478	29.9231	.7969886	8.97	1.154001
29	1.227447	29.93485	.825609	8.97	1.154001
30	1.230294	29.94803	.8542419	8.97	1.154001
31	1.233326	29.9627	.8828889	8.97	1.154001
32	1.236549	29.97893	.9115514	8.97	1.154001
33	1.239968	29.99677	.9402309	8.97	1.154001
34	1.243589	30.01629	.9689292	8.97	1.154001
35	1.247417	30.03755	.9976477	8.97	1.154001
36	1.251457	30.06061	1.026388	8.97	1.154001
37	1.255715	30.08552	1.055153	8.97	1.154001

Ejemplo 4 :

38	1.260197	30.11234	1.083943	8.97	1.154001
39	1.264908	30.14114	1.11276	8.97	1.154001
40	1.269853	30.17196	1.141607	8.97	1.154001
41	1.275038	30.20487	1.170486	8.97	1.154001
42	1.280468	30.23992	1.199398	8.97	1.154001
43	1.286148	30.27715	1.228346	8.97	1.154001
44	1.292085	30.31663	1.257331	8.97	1.154001
45	1.298284	30.35841	1.286356	8.97	1.154001
46	1.30475	30.40254	1.315424	8.97	1.154001
47	1.311489	30.44907	1.344536	8.97	1.154001
48	1.318507	30.49804	1.373695	8.97	1.154001
49	1.325809	30.54952	1.402903	8.97	1.154001
50	1.3334	30.60354	1.432162	8.97	1.154001
51	1.341287	30.66016	1.461476	8.97	1.154001
52	1.349475	30.71942	1.490847	8.97	1.154001
53	1.357971	30.78136	1.520276	8.97	1.154001
54	1.366779	30.84603	1.549768	8.97	1.154001
55	1.375905	30.91348	1.579324	8.97	1.154001
56	1.385357	30.98374	1.608947	8.97	1.154001
57	1.395139	31.05687	1.63864	8.97	1.154001
58	1.405257	31.1329	1.668406	8.97	1.154001
59	1.415718	31.21186	1.698247	8.97	1.154001
60	1.426529	31.29381	1.728167	8.97	1.154001
61	1.437694	31.37877	1.758168	8.97	1.154001
62	1.44922	31.46679	1.788253	8.97	1.154001
63	1.461114	31.5579	1.818425	8.97	1.154001
64	1.473381	31.65214	1.848687	8.97	1.154001
65	1.486029	31.74953	1.879043	8.97	1.154001
66	1.499064	31.85013	1.909494	8.97	1.154001
67	1.512492	31.95395	1.940045	8.97	1.154001
68	1.526321	32.06104	1.970698	8.97	1.154001
69	1.540556	32.17142	2.001457	8.97	1.154001
70	1.555206	32.28512	2.032324	8.97	1.154001
71	1.570276	32.40217	2.063304	8.97	1.154001
72	1.585773	32.52261	2.094398	8.97	1.154001
73	1.601706	32.64645	2.125611	8.97	1.154001
74	1.61808	32.77372	2.156946	8.97	1.154001
75	1.634904	29.33842	2.189496	8.47	1.154001
76	1.652135	29.46356	2.213166	8.47	1.154001
77	1.669779	29.59146	2.241458	8.47	1.154001
78	1.687843	29.72213	2.269875	8.47	1.154001
79	1.706333	29.85559	2.298419	8.47	1.154001
80	1.725255	29.99185	2.327094	8.47	1.154001
81	1.744616	30.13093	2.355902	8.47	1.154001
82	1.764423	30.27284	2.384846	8.47	1.154001
83	1.784682	30.41758	2.413927	8.47	1.154001
84	1.805401	30.56518	2.44315	8.47	1.154001
85	1.826586	30.71564	2.472517	8.47	1.154001
86	1.848245	30.86898	1.622317	8.47	1.434
87	1.855948	32.23113	1.642274	8.47	1.434
88	1.863828	32.28019	1.662261	8.47	1.434
89	1.871886	32.3305	1.682279	8.47	1.434
90	1.880125	32.38204	1.702329	8.47	1.434

Ejemplo 4:

91	1.888545	32.43483	1.722412	8.47	1.434
92	1.897152	32.4889	1.742528	8.47	1.434
93	1.905945	32.54423	1.762678	8.47	1.434
94	1.914926	32.60086	1.782864	8.47	1.434
95	1.924099	32.55878	1.803086	8.47	1.434
96	1.933466	32.718	1.823344	8.47	1.434
97	1.943028	32.77855	1.843639	8.47	1.434
98	1.952788	32.84042	1.863973	8.47	1.434
99	1.962748	29.13356	1.882012	7.970001	1.434
100	1.972887	29.19327	1.900088	7.970001	1.434
101	1.983206	29.25404	1.918201	7.970001	1.434
102	1.993709	29.31589	1.936352	7.970001	1.434
103	2.004396	29.3788	1.954543	7.970001	1.434
104	2.01527	29.4428	1.972773	7.970001	1.434
105	2.026332	29.50788	1.991044	7.970001	1.434
106	2.037584	29.57406	2.009355	7.970001	1.434
107	2.049029	29.64134	2.027708	7.970001	1.434
108	2.060668	29.70971	2.046104	7.970001	1.434
109	2.072502	29.77919	2.064542	7.970001	1.434
110	2.084535	29.84979	2.083024	7.970001	1.434
111	2.096768	29.92151	2.101551	7.970001	1.434
112	2.109203	29.99435	2.120122	7.970001	1.434
113	2.121842	30.06832	2.13874	7.970001	1.434
114	2.134687	30.14343	2.157404	7.970001	1.434
115	2.14774	30.21967	2.176115	7.970001	1.434
116	2.161003	30.29705	2.194874	7.970001	1.434
117	2.174479	30.37559	2.213681	7.970001	1.434
118	2.188169	30.45527	2.232538	7.970001	1.434
119	2.202076	30.53611	2.251445	7.970001	1.434
120	2.216201	30.61812	2.270403	7.970001	1.434
121	2.230547	30.70128	2.289413	7.970001	1.434
122	2.245116	30.78562	2.308474	7.970001	1.434
123	2.25991	30.87113	2.327589	7.970001	1.434
124	2.274932	30.95782	2.346757	7.970001	1.434
125	2.290184	31.0457	2.36598	7.970001	1.434
126	2.305667	31.13476	2.385257	7.970001	1.434
127	2.321385	31.22501	2.404591	7.970001	1.434
128	2.337339	31.31645	2.423981	7.970001	1.434
129	2.353531	31.40909	2.443429	7.970001	1.434
130	2.369965	31.50293	2.462935	7.970001	1.434
131	2.386643	31.59798	1.622111	7.970001	1.774
132	2.392647	32.61412	1.635306	7.970001	1.774
133	2.398742	32.64563	1.648514	7.970001	1.774
134	2.404929	32.67766	1.661734	7.970001	1.774
135	2.411208	32.71019	1.674968	7.970001	1.774
136	2.417579	32.74325	1.688216	7.970001	1.774
137	2.424044	32.77681	1.701476	7.970001	1.774
138	2.430603	32.8109	1.714751	7.970001	1.774
139	2.437258	32.84552	1.72804	7.970001	1.774
140	2.444008	32.88066	1.741342	7.970001	1.774
141	2.450854	28.91584	1.753041	7.47	1.774
142	2.457786	28.94894	1.764753	7.47	1.774
143	2.464804	28.98246	1.776479	7.47	1.774
144	2.471908	29.01638	1.788218	7.47	1.774

Ejemplo 4:

145	2.479099	29.05073	1.799972	7.47	1.774
146	2.486378	29.0855	1.811739	7.47	1.774
147	2.493745	29.12069	1.82352	7.47	1.774
148	2.501202	29.1563	1.835316	7.47	1.774
149	2.508747	29.19234	1.847127	7.47	1.774
150	2.516383	29.2288	1.858952	7.47	1.774
151	2.524109	29.2657	1.870793	7.47	1.774
152	2.531927	29.30303	1.882648	7.47	1.774
153	2.539837	29.34079	1.894519	7.47	1.774
154	2.547839	29.37898	1.906405	7.47	1.774
155	2.555934	29.41761	1.918306	7.47	1.774
156	2.564123	29.45667	1.930224	7.47	1.774
157	2.572406	29.49617	1.942158	7.47	1.774
158	2.580784	29.53611	1.954107	7.47	1.774
159	2.589258	29.5765	1.966073	7.47	1.774
160	2.597829	29.61733	1.978056	7.47	1.774
161	2.606496	29.6586	1.990055	7.47	1.774
162	2.61526	29.70032	2.002071	7.47	1.774
163	2.624123	29.74249	2.014104	7.47	1.774
164	2.633084	29.78511	2.026155	7.47	1.774
165	2.642145	29.82817	2.038223	7.47	1.774
166	2.651306	29.8717	2.050308	7.47	1.774
167	2.660568	29.91567	2.062411	7.47	1.774
168	2.669931	29.9601	2.074533	7.47	1.774
169	2.679396	30.00499	2.086672	7.47	1.774
170	2.688964	30.05033	2.09883	7.47	1.774
171	2.698636	30.09614	2.111006	7.47	1.774
172	2.708411	30.1424	2.123201	7.47	1.774
173	2.718291	30.18913	2.135415	7.47	1.774
174	2.728277	30.23632	2.147648	7.47	1.774
175	2.738368	30.28397	2.1599	7.47	1.774
176	2.748567	30.3321	2.172172	7.47	1.774
177	2.758872	30.38069	2.184463	7.47	1.774
178	2.769286	30.42974	2.196774	7.47	1.774
179	2.779809	30.47927	2.209106	7.47	1.774
180	2.790441	30.52927	2.221457	7.47	1.774
181	2.801184	30.57975	2.233829	7.47	1.774
182	2.812038	30.6307	2.246222	7.47	1.774
183	2.823003	30.68212	2.258635	7.47	1.774
184	2.83408	30.73401	2.271069	7.47	1.774
185	2.845271	30.78639	2.283525	7.47	1.774
186	2.856575	30.83925	2.296002	7.47	1.774
187	2.867994	30.89258	2.3085	7.47	1.774
188	2.879529	30.9464	2.32102	7.47	1.774
189	2.891179	31.00069	2.333562	7.47	1.774
190	2.902946	31.05548	2.346127	7.47	1.774
191	2.91483	31.11074	2.358714	7.47	1.774
192	2.926833	31.16649	2.371323	7.47	1.774
193	2.938955	31.22273	2.383955	7.47	1.774
194	2.951196	31.27946	2.39661	7.47	1.774
195	2.963558	31.33667	2.409288	7.47	1.774
196	2.976041	31.39438	2.42199	7.47	1.774
197	2.988646	31.45258	2.434715	7.47	1.774
198	3.001374	31.51127	2.447464	7.47	1.774

Ejemplo 4:

199	3.014226	31.57045	2.460236	7.47	1.774
200	3.027202	31.63013	2.473033	7.47	1.774
201	3.040303	31.69031	1.717885	7.47	2.134
202	3.045681	32.41	1.726947	7.47	2.134
203	3.051113	32.43334	1.736015	7.47	2.134
204	3.056597	32.45691	1.745089	7.47	2.134
205	3.062135	32.48071	1.75417	7.47	2.134
206	3.067726	32.50476	1.763258	7.47	2.134
207	3.07337	32.52904	1.772353	7.47	2.134
208	3.079069	32.55356	1.781455	7.47	2.134
209	3.084822	32.57831	1.790563	7.47	2.134
210	3.090629	32.60331	1.799679	7.47	2.134
211	3.096491	32.62855	1.808802	7.47	2.134
212	3.102409	32.65403	1.817931	7.47	2.134
213	3.108381	32.67975	1.827068	7.47	2.134
214	3.114409	32.70572	1.836212	7.47	2.134
215	3.120494	32.73193	1.845364	7.47	2.134
216	3.126634	32.75837	1.854523	7.47	2.134
217	3.132831	32.78507	1.863689	7.47	2.134
218	3.139085	32.81202	1.872863	7.47	2.134
219	3.145395	32.83921	1.882044	7.47	2.134
220	3.151764	32.86665	1.891234	7.47	2.134
221	3.158189	32.89434	1.900431	7.47	2.134
222	3.164673	28.66251	1.908444	6.97	2.134
223	3.171208	28.68785	1.916465	6.97	2.134
224	3.177793	28.71338	1.924493	6.97	2.134
225	3.184429	28.7391	1.932528	6.97	2.134
226	3.191117	28.765	1.940571	6.97	2.134
227	3.197856	28.7911	1.94862	6.97	2.134
228	3.204647	28.8174	1.956677	6.97	2.134
229	3.211491	28.84388	1.964742	6.97	2.134
230	3.218386	28.87056	1.972814	6.97	2.134
231	3.225334	28.89742	1.980893	6.97	2.134
232	3.232335	28.92449	1.98898	6.97	2.134
233	3.239388	28.95174	1.997075	6.97	2.134
234	3.246495	28.97919	2.005177	6.97	2.134
235	3.253655	29.00683	2.013287	6.97	2.134
236	3.260869	29.03467	2.021405	6.97	2.134
237	3.268137	29.06271	2.029531	6.97	2.134
238	3.275459	29.09093	2.037664	6.97	2.134
239	3.282836	29.11936	2.045806	6.97	2.134
240	3.290267	29.14798	2.053955	6.97	2.134
241	3.297753	29.1768	2.062112	6.97	2.134
242	3.305293	29.20581	2.070278	6.97	2.134
243	3.31289	29.23503	2.078452	6.97	2.134
244	3.320542	29.26444	2.086634	6.97	2.134
245	3.328249	29.29405	2.094824	6.97	2.134
246	3.336013	29.32386	2.103023	6.97	2.134
247	3.343833	29.35387	2.11123	6.97	2.134
248	3.351709	29.38407	2.119445	6.97	2.134
249	3.359643	29.41448	2.127669	6.97	2.134
250	3.367633	29.44509	2.135902	6.97	2.134
251	3.375681	29.4759	2.144143	6.97	2.134
252	3.383786	29.50691	2.152393	6.97	2.134

Ejemplo 4:

253	3.391949	29.53813	2.160652	6.97	2.134
254	3.40017	29.56954	2.168919	6.97	2.134
255	3.40845	29.60116	2.177195	6.97	2.134
256	3.416788	29.63298	2.18548	6.97	2.134
257	3.425184	29.665	2.193774	6.97	2.134
258	3.43364	29.69723	2.202077	6.97	2.134
259	3.442155	29.72967	2.21039	6.97	2.134
260	3.45073	29.7623	2.218711	6.97	2.134
261	3.459364	29.79514	2.227041	6.97	2.134
262	3.468059	29.82819	2.235381	6.97	2.134
263	3.476813	29.86144	2.24373	6.97	2.134
264	3.485629	29.8949	2.252088	6.97	2.134
265	3.494505	29.92856	2.260456	6.97	2.134
266	3.503443	29.96243	2.268833	6.97	2.134
267	3.512441	29.99651	2.277219	6.97	2.134
268	3.521502	30.0308	2.285616	6.97	2.134
269	3.530624	30.06529	2.294022	6.97	2.134
270	3.539808	30.09999	2.302437	6.97	2.134
271	3.549055	30.1349	2.310863	6.97	2.134
272	3.558365	30.17001	2.319298	6.97	2.134
273	3.567737	30.20534	2.327743	6.97	2.134
274	3.577173	30.24086	2.336198	6.97	2.134
275	3.586672	30.27663	2.344663	6.97	2.134
276	3.596235	30.31258	2.353138	6.97	2.134
277	3.605862	30.34875	2.361624	6.97	2.134
278	3.615554	30.38512	2.370118	6.97	2.134
279	3.62531	30.42171	2.378625	6.97	2.134
280	3.635131	30.45851	2.38714	6.97	2.134
281	3.645017	30.49552	2.395667	6.97	2.134
282	3.654968	30.53275	2.404203	6.97	2.134
283	3.664985	30.57019	2.41275	6.97	2.134
284	3.675069	30.60783	2.421308	6.97	2.134
285	3.685218	30.64569	2.429876	6.97	2.134
286	3.695434	30.68377	2.438455	6.97	2.134
287	3.705717	30.72206	2.447044	6.97	2.134
288	3.716067	30.76056	2.455645	6.97	2.134
289	3.726484	30.79927	2.464256	6.97	2.134
290	3.736969	30.83821	2.472878	6.97	2.134
291	3.747522	30.87736	2.481511	6.97	2.134

Suma de Gastos de Orificios = 8.875544 m³/s.

Suma de Áreas de Orificios = 1.434476 m².

Long. Sobrante del Difusor = .5024414 m.

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En general creo que los objetivos y las metas planteadas en un principio, han sido cumplidas plenamente. Esto debido a que la teoría de la difusión de los contaminantes en el mar, la teoría de la dilución inicial del agua de desecho y la teoría del diseño hidráulico del difusor, han sido expuestas con claridad, y sobre todo, se ha demostrado la eficiencia y factibilidad del uso de la computadora en el diseño de estas estructuras.

Debido al cumplimiento de los objetivos y las metas del trabajo, se puede concluir que la ayuda de las computadoras en el diseño de estas instalaciones, no solo es factible sino en gran medida necesario, debido a que se acortan tiempos en los cálculos de los componentes y se facilita enormemente el trabajo repetitivo de escritorio, que es una necesidad en el diseño de estas y otro tipo de estructuras en la ingeniería.

No obstante la computadora debe ser una herramienta fundamental para el futuro de la ingeniería y otras ciencias, la decisión final siempre estará a cargo del ser humano y muchas veces de esta dependerá el éxito o fracaso del diseño o actividad de que se trate. Por lo que no deberá pensarse en la computadora (al menos por ahora) como una solución mágica a todos nuestros problemas, sino solo como un aliado en la persecución de un fin específico.

A manera de recomendación y de acuerdo a lo anterior, se diría que antes de considerar la ejecución de una tarea por medio de la ayuda de una computadora, se deberá tener muy bien en cuenta la factibilidad de solución por este medio de aquella. Y sobre todo, si se justifica el uso de esta herramienta para tal fin. Sin embargo si una vez considerado lo anterior, aún se cree que la computadora puede ser una ayuda útil para nuestro objetivo, no se deberá dudar en utilizarla como soporte para la solución final.

8. - BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Albertson M.L., Dai Y.B., Jensen R.A. and Hunter Rouse
"Diffusion of Submerged Jets"; Transactions A.S.C.E. Vol.115
1950 page 639.
- 2.- Brooks Norman H.
"Diffusion of Sewage Effluent In an Ocean-Current"
Proceedings of the First International Conference on Waste
Disposal in the Marine Environment"
Berkeley California; page 246; July 1959.
- 3.- Burden R.L., Faires J.D., Reynolds A.C.
"Numerical Analysis"; Prindle, Weber and Schmidt; 1981.
- 4.- Carslaw H.S. and Jaeger J.C.
"Conduction of Heat in Solids"; Clarendon Press, Oxford 1959.
- 5.- Carslaw H.S.
"Introduction to the Mathematical Theory of the Conduction of
Heat in Solids"; New York Dover Pub. 1945; 2nd Edition.
- 6.- Godes A.I.
"Numerical Analysis for Computer Science"; North Holland, New
York 1978..
- 7.- Fair G.M., Geyer J.C. and Okun D.A.
"Water and Wastewater Engineering"
New York, John Wiley 1966; Vols.1 and 2
- 8.- Fisher H.B., List E.J., Koh R.C.Y., Imberger J. and Brooks
N.H.; "Mixing in Inland and Coastal Waters"
Academic Press, Inc. 1979.
- 9.- Gunnerson C.G.
"Sewage Disposal in Santa Monica Bay, California"
Journal of Sanitary Engineering Division, A.S.C.E. Vol.84, No.
SA1, February, 1958, paper 1534.
- 10.- Hume N.B., Bargman R.D., Gunnerson C.G. and Imel C.E.
"Operation of a 7-mile Digested Sludge Outfall"
Journal of The Sanitarian Engineering Division, Proceedings
A.S.C.E., paper 2089, July 1959.

- 11.- Koh R.C.Y. "Hydraulic Test of Discharge Ports"
W.M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources;
Technical Memorandum 73-4; California Institute of Technology,
Pasadena California, 1973.
- 12.- Kreyszig Erwin "Advanced Engineering Mathematics"
John Wiley 5o Edition 1983.
- 13.- Luthe R., Olivera A. y Schutz F.
"Métodos Numéricos"; Limusa, México 1978.
- 14.- Manguilis V.
"Handbook of Series for Scientists and Engineers"
Academic Press, New York, 1965.
- 15.- Mc.Nown J.S. "Mechanics of Mainfold Flow"
Transactions A.S.C.E., Vol.119, 1954, page 1103.
- 16.- Morton B.R., Taylor G.I. and Turner J.S.
"Turbulent Gravitational Convection from Maintained and
Instantaneous Sources"; Proceedings Roy. Soc. A., Vol.234, Jan-
March 1955, page 1.
- 17.- Munk W.A., Ewing G.C. and Revelle R.R.
"Diffusion in Bikini Lagoon"; Transactions Amer. Geophys.
Union, Vol.30, page 59-66.
- 18.- Okubo A.
"Some Especulations on Oceanic Diffusion Diagrams"; Rapp. P.-v.
Reun. Cons. Int. Explor. Mer. "167", pages 77-85.
- 19.- Rawn A.M., Bowerman F.R. and Brooks N.H.
"Diffusers For Disposal of Sewage in Sea Water"; Journal of the
Sanitary Engineering Division, Proceedings of the A.S.C.E.,
March 1960, paper 2424.
- 20.- Rawn A.M. and Palmer H.K.
"Pre-determining the Extent of a Sewage Field in Seawater";
Transactions A.S.C.E. Vol.94, 1930, page 1036.
- 21.- Robert A. Grace
"Marine Outfall Systems, Planning Design and Construction"
Prentice Hall Inc., Englewood New Jersey 07632 (1978).
- 22.- Schau H.C.
"Simple Model for Ocean Outfall Plumes"; Journal of The
Environmental Engineering Division, Proceedings of The
A.S.C.E., October 1978, page 1026.

23.- Sotelo Avila Gilberto "Hidráulica General"; Vol.1, Limusa 1980.

24.- Staff of the Bateman Manuscript Project.
"Higher Transcendental Functions"; Mc. Graw-Hill, New York, 1953, Vol.2.

25.- Tuma J.J. "Engineering Mathematics Handbook"; Mc Graw-Hill, 3th Edition, 1987.

APENDICE

En esta Parte del trabajo se desarrollara la solución a la ecuación diferencial (27), la cual está dada por la expresión

$$E_0 \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (27)$$

Resolviendo por medio del método de la transformada de Laplace, aplicamos esta a la ecuación anterior. Ayudándonos de la propiedad de la linealidad y de las transformadas conocidas de las derivadas, obtenemos a la ecuación (28) donde para efectos de simplificación se representa a la transformada de "fi" por medio de esta letra afectada por una tilde sobre ella

$$\frac{d^2 \bar{\phi}}{dy^2} - \frac{1}{E_0} (p\bar{\phi} - \phi_0(y)) = 0 \quad (28)$$

donde

$$\phi_0(y) = \lim_{t \rightarrow +0} \phi \quad (29)$$

$$L(\phi) = \bar{\phi} = \int_0^{\infty} e^{-pt} \phi \, dt \quad (30)$$

se puede observar que por medio de este artificio hemos podido eliminar a las derivadas parciales, dando como resultado una ecuación diferencial ordinaria, lineal, de segundo orden, de coeficientes variables y no homogénea.

Para efectos de simplificación en posteriores reducciones algebraicas adoptaremos a

$$R^2 = \frac{P}{E_0} \quad (30')$$

además debido a las condiciones iniciales adoptadas, la concentración del contaminante cuando $t \rightarrow 0$ es constante y es igual a " C_0 ". Con lo cual nuestra ecuación diferencial queda

$$\bar{\phi}'' - R^2 \bar{\phi} = - \frac{C_0}{E_0} \quad (31)$$

Debido a que la solución general de una ecuación diferencial lineal no homogénea, está dada por la suma de la solución general de la ecuación homogénea más una solución particular arbitraria, comenzaremos por obtener a la primera por medio de la ecuación característica de la ecuación diferencial, que está representada por

$$\lambda^2 - R^2 = 0 \quad (32)$$

cuyas raíces son

$$\lambda_{1,2} = \pm \sqrt{R^2} = \pm R \quad (33)$$

Debido a que la ecuación característica tiene dos raíces reales diferentes, se puede comprobar que la solución general de la ecuación diferencial homogénea estará dada por

$$\bar{\phi}_h = C_1 e^{Ry} + C_2 e^{-Ry} \quad (34)$$

Ahora Para encontrar la solución Particular arbitraria seguiremos el método de variación de Parametros, el cual considera que la solución particular está dada por

$$\bar{\phi}_p = u\bar{\phi}_{1h} + v\bar{\phi}_{2h} \quad (35)$$

donde "fi" con tilde subíndices "1,h" y "2,h" representan a las soluciones particulares de la ecuación homogénea, que resultan de las raíces de la ecuación característica.

Derivando con respecto a "y" obtenemos

$$\bar{\phi}_p' = u\bar{\phi}_{1h}' + u'\bar{\phi}_{1h} + v\bar{\phi}_{2h}' + v'\bar{\phi}_{2h} \quad (36)$$

ahora suponemos que

$$u'\bar{\phi}_{1h} + v'\bar{\phi}_{2h} = 0 \quad (37)$$

Por lo que la segunda derivada de la expresión (35) quedaría

$$\bar{\phi}_p'' = u\bar{\phi}_{1h}'' + u'\bar{\phi}_{1h}' + v\bar{\phi}_{2h}'' + v'\bar{\phi}_{2h}' \quad (38)$$

Sustituyendo (35) y (38) en (31) tenemos

$$u(\bar{\phi}_{1h}'' - R^2\bar{\phi}_{1h}) + v(\bar{\phi}_{2h}'' - R^2\bar{\phi}_{2h}) + u'\bar{\phi}_{1h}' + v'\bar{\phi}_{2h}' = -\frac{C_0}{E_0} \quad (39)$$

Debido a que "fi" con tilde subíndices "1,h" y "2,h" son soluciones de la ecuación diferencial homogénea, los términos entre paréntesis son cero. Por lo que (39) queda

$$u'\bar{\phi}_{1h}' + v'\bar{\phi}_{2h}' = -\frac{C_0}{E_0} \quad (40)$$

y con

$$u'\bar{\phi}_{1h}' + v'\bar{\phi}_{2h}' = 0 \quad (37)$$

tenemos un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, que puede ser resuelto algebraicamente. Integrando indefinidamente a las soluciones u' y v' se obtienen los siguientes resultados

$$u = - \frac{C_0}{2E_0} \frac{1}{R} \left(\frac{1}{-R} e^{-Ry} + C_1 \right) \quad (41)$$

$$v = \frac{C_0}{2E_0} \frac{1}{R} \left(\frac{1}{R} e^{Ry} + C_2 \right) \quad (42)$$

Sustituyendo (41) y (42) en (35) y reduciendo obtenemos

$$\bar{\phi} = \frac{C_0}{2E_0} \left[\frac{2}{R^2} - \frac{1}{R} \left(C_1 e^{Ry} - C_2 e^{-Ry} \right) \right] \quad (43)$$

Debido a que dejamos indeterminadas a las constantes de integración de (41) y (42) al sustituirlas en (35), se puede comprobar que la ecuación (43) es la solución general de la ecuación diferencial representada por (31).

Hasta ahora tenemos la solución general de la ecuación diferencial (31), la cual es resultado de aplicar la transformada de Laplace a nuestra ecuación diferencial original reducida (27). Para poder obtener la solución general de esta última es necesario aplicar la transformada inversa a (43).

Aplicando a cada sumando de la expresión (43) la operación descrita ayudándonos de la propiedad de la linealidad y de las tablas de transformadas de Laplace de los libros de Carslaw and Jaeger (apéndice 5) y de Kraisszig (ver bibliografía), se obtiene la solución a la ecuación (27) dada por

$$\phi = C_0 + \frac{C_0}{2\sqrt{\pi E_0 t'}} C_2 e^{-y^2/4E_0 t'} - \frac{C_0}{2E_0} C_1 L^{-1}\left\{\frac{e^{-Ry}}{R}\right\} \quad (44)$$

La igualdad (44) es la solución general de la ecuación diferencial (27). Para poder obtener la solución particular a nuestro problema, tendríamos que deducir los valores de C_1 y C_2 de acuerdo a las condiciones de frontera de nuestro caso.

La solución que presenta Norman H. Brooks en la referencia (1) es

$$\phi(x', y) = \frac{C_0}{2\sqrt{\pi E_0 t'}} \int_{-b/2}^{b/2} e^{-(y-y')^2/4E_0 t'} dy' \quad (45)$$

Donde: $t' = x'/u$

Un modo sencillo de llegar a esta solución es el siguiente.

Supóngase que el movimiento de una molécula indicadora o partícula está constituido por una serie de pasos aleatorios. Si bien es cierto que en la realidad el movimiento se lleva a cabo en tres dimensiones, no se pierde nada importante si lo consideramos unidimensional. También asumiremos que cada paso tiene la misma longitud Δy (con lo cual estamos representando al incremento de y) que se alcanza con un incremento de tiempo Δt ; pero sea cual fuere la dirección del paso, hacia adelante o hacia atrás, es completamente aleatorio y con igual probabilidad. Dicho esto parecería que esta molécula no iría a ningún lado, sin embargo debido a que su movimiento está determinado por las colisiones con otras moléculas, las cuales se cuentan por trillones en un centímetro cúbico de agua, algunas veces la partícula se habrá movido hacia adelante y otras hacia atrás.

Por medio del teorema del límite central de la Probabilidad puede verse que en el límite de muchos Pasos, la Probabilidad de que la Partícula en cuestión esté entre $m/\Delta y$, $(m+1)/\Delta y$ se aproxima a la distribución normal con media cero y varianza igual con $t'(\Delta y)^2/\Delta t'$ donde el cociente $(\Delta y)^2/\Delta t'$ es constante cuando $t' \rightarrow 0$. Si designamos a este cociente con $2E_0$ entonces la probabilidad de que la Partícula se encuentre entre los puntos y , $y+dy$ esta dada por

$$p(x', y) dy = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-y^2/2\sigma^2} dy \quad (46)$$

$$p(x', y) dy = \frac{1}{2\sqrt{\pi E_0 t'}} e^{-y^2/4E_0 t'} \quad (47)$$

Ahora si un conjunto de Partículas comienza su vagabundeo en el origen al tiempo cero, la concentración en el punto "y" sobre el eje transversal a la dirección de la corriente al tiempo t' diferente de cero, será proporcional a la Probabilidad de cualquiera de ellas que se encuentre en el vecindario de la estación. En otras Palabras

$$\phi_y(x', y) = \frac{M}{2\sqrt{\pi E_0 t'}} e^{-y^2/4E_0 t'} \quad (48)$$

Sabemos que la concentración es masa por unidad de volumen. Con lo que se tiene la siguiente expresión,

$$C = \frac{M}{\Delta x \Delta y \Delta z} \quad (48')$$

debido a que lo que nos interesa es la difusión lateral en la dirección del eje "y" tenemos que "(inc)x = 1", "(inc)z = 1". Tomando en cuenta que para nuestras condiciones iniciales la concentración es constante e igual a "Co", que para cualquier "y" en valor absoluto mayor que b/2 la concentración es cero y por último considerando que el incremento en "y" es muy pequeño, tenemos que la concentración a lo largo de todo el eje en consideración puede ser obtenida a través de la expresión

$$\phi(x', y) = \frac{C_0}{2\sqrt{\pi E_0 t'}} \int_{-b/2}^{b/2} e^{-y'^2/4E_0 t'} dy' \quad (49)$$

Por último haciendo un cambio de variable por

$$y = y' - y$$

llegamos a la expresión

$$\phi(x', y) = \frac{C_0}{2\sqrt{\pi E_0 t'}} \int_{-b/2}^{b/2} e^{-(y-y')^2/4E_0 t'} dy' \quad (50)$$

la cual es exactamente igual a la solución (45) y representa a

la distribución de concentraciones a lo largo del eje "y", la cual tiene la forma de la campana de Gauss con media igual con cero y varianza como se indicó en párrafos anteriores. De hecho esta expresión se la conoce como la distribución Gausseana de concentraciones y cuando la masa es igual a la unidad representa a la distribución normal.

No obstante ya tenemos la solución de la ecuación diferencial (27), aun no conocemos a la función $f(x)$ que nos indica como varía el coeficiente de difusión turbulento con la distancia ($E = E_0 f(x)$). Esto se debe a que esta función depende de la escala o ancho del campo de contaminantes, que puede ser definida en términos de la distribución de concentraciones en la dirección "y".

Inicialmente ($x=0$) sabemos que la escala "L" es igual al largo del difusor "b". Para encontrar el valor de "L" para otros valores de "x" aguas abajo de la fuente, definimos a

$$L = 2\sqrt{3} \sigma \quad (51)$$

donde "sigma" es la desviación estandar de la función de distribución de concentraciones en una estación dada sobre el eje "x".

Esta expresión está fundamentada en el hecho de que para una distribución Gausseana, una dispersión igual a la de (51) representa aproximadamente el 95% del área total bajo la curva o sea la masa total del contaminante en alguna estación del eje "x".

Sabemos que la varianza está dada por la expresión

$$\sigma^2 = \frac{M_2}{M_0} - \mu^2 \quad (52)$$

donde M_0 y M_2 son los momentos cero y segundo respectivamente de la distribución Probabilidades y " μ " la media. Sabemos que para nuestro caso, debido a que se trata de la distribución normal afectada por la masa del contaminante, la media es igual con cero y el momento cero es igual a la unidad. Por lo que la varianza será igual al segundo momento, el cual esta definido por

$$\sigma^2 = M_2 = \int_{-\infty}^{\infty} y^2 f(y) dy \quad (53)$$

donde $f(y)$ es la distribución normal de probabilidades. Para poder introducir a nuestra función de distribución de concentraciones, sabemos que

$$\phi(x', y) = M f(y) \quad (54)$$

donde la masa esta dada por " $C_0 b$ " debido a las condiciones iniciales. De donde se obtiene que

$$\sigma^2 = \frac{1}{C_0 b} \int_{-\infty}^{\infty} y^2 \phi(x', y) dy \quad (55)$$

La función $f(x)$ que veniamos buscando puede ser obtenida de la ecuación diferencial ordinaria siguiente,

$$\frac{dx'}{dx} = \frac{E}{E_0} = f(x) \quad (56)$$

de acuerdo con los cambios de variable que hicimos en un principio.

Si escogemos a la ley de los "4/3", dada por la expresión (14), como la que rige la variación del coeficiente turbulento para la difusión, entonces tenemos la ecuación diferencial

$$\frac{dx'}{dx} = \left(\frac{L}{b} \right)^{4/3} \quad (57)$$

Sustituyendo (51) y (55) en (57) se obtiene

$$\frac{dx'}{dx} = \left[\frac{12}{C_0 b^3} \int_{-\infty}^{\infty} y^2 \phi(x', y) dy \right]^{2/3} \quad (58)$$

Sustituyendo (50) en la ecuación anterior e integrando se obtiene la ecuación diferencial cuya solución nos da la función buscada. Así se puede comprobar que la solución de (58) está dada por

$$\frac{x'}{b} = \frac{1}{2\beta} \left[\left(1 + \frac{2}{3} \beta \frac{x}{b} \right)^3 - 1 \right] \quad (59)$$

donde

$$\beta = \frac{12 E_0}{u b}$$

Debido a que lo que nos interesa es la concentración máxima del contaminante para una estación dada sobre el eje "x", consideraremos a "y" = 0 en (50); ya que la concentración buscada se encuentra sobre el eje "x", al centro de nuestra distribución de concentraciones. Ahora con el objeto de dejar terminada nuestra solución, vamos a resolver la integral de la expresión citada por medio del cambio de variable

$$v = \frac{y'}{\sqrt{4E_0} \frac{x'}{u}} \quad (60)$$

$$dv = \frac{dy'}{\sqrt{4E_0} \frac{x'}{u}} \quad (61)$$

De (59) sustituyendo el valor de "Beta" fuera del paréntesis tenemos

$$x' = \frac{b^2 u}{24 E_0} \left[\left(1 + \frac{2}{3} \beta \frac{x}{b} \right)^3 - 1 \right] \quad (62)$$

Sustituyendo (62) en (60) nos queda la expresión (63).

$$v = y' \sqrt{\frac{b^2}{8} \left[\left(1 + \frac{2}{3} \beta \frac{x}{b} \right)^3 - 1 \right]} \quad (83)$$

Ahora obteniendo los límites de la integral y considerando sólo a la mitad de esta, o sea de cero a "b/2", tenemos que la nueva variable al sustituir el límite superior de la integral toma la forma de

$$v(b/2) = \sqrt{\frac{3/2}{\left(1 + \frac{2}{3} \beta \frac{x}{b} \right)^3 - 1}} \quad (84)$$

Así pues la solución (50) toma la forma

$$\frac{\phi}{2} = \frac{C_0}{\sqrt{\pi}} \int_0^{v(b/2)} e^{-v^2} dv \quad (85)$$

Sabemos que la función error estándar esta definida por

$$\operatorname{erf} z = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-v^2} dv \quad (86)$$

por lo que la expresión (65) queda

$$\phi_{\max}(x) = C_0 \operatorname{erf} \frac{\sqrt{3/2}}{\left(1 + \frac{2}{3} \beta \frac{x}{b}\right)^3 - 1} \quad (67)$$

que es la solución a nuestro problema para encontrar la concentración máxima en alguna estación sobre el eje "x".

SIMBOLOGIA

Capítulo 4:

- x : Vector de Posición de las partículas del contaminante.
- τ : Variable del tiempo.
- T : Variable del tiempo.
- t : Tiempo.
- u : Vector velocidad de una corriente marina.
- q : Flujo de masa.
- q : Vector flujo de masa.
- D : Coeficiente de difusión molecular.
- C : Concentración del contaminante o soluto en difusión.
- x : Dirección perpendicular a la fuente lineal.
- y : Dirección paralela a la fuente lineal.
- z : Dirección de la profundidad.
- V : Volumen del contaminante.
- E : Coeficiente de difusión o difusividad turbulenta.
- L : Escala o tamaño de la mancha de contaminantes.
- k : Constante de decaimiento de microorganismos en el mar.
- ϕ : Concentración del contaminante o soluto en difusión sin considerar al decaimiento microbiano.
- $\bar{\phi}$: Transformada de Laplace de " ϕ ".
- E₀: Coeficiente de difusión o difusividad turbulenta cuando $x = 0$.
- C₀: Concentración del contaminante o soluto en difusión cuando $t \rightarrow +0$.

p : Coeficiente del tiempo en la definición de la transformada de Laplace.

Probabilidad.

λ : Variable de la ecuación característica de una ecuación diferencial homogénea.

u : Componente de la velocidad "u" en x.

Variable en la solución de la ecuación diferencial por variación de parámetros.

v : Componente de la velocidad "u" en y.

Variable en la solución de la ecuación diferencial por variación de parámetros.

w : Componente de la velocidad en z.

b : Longitud del difusor o fuente lineal.

σ^2 : Varianza de la distribución de concentraciones.

M : Masa liberada del contaminante.

M_0, M_2 : Momentos cero y segundo de la distribución de concentraciones.

μ : Media de la distribución de concentraciones.

Capítulo 5, 5.1:

ρ : Densidad del fluente o fluido descargado.

μ : Flujo de masa específico o flujo volumen.

w : Velocidad del chorro promediada con respecto al tiempo.

A : Área transversal del chorro o "jet".

m : Flujo momentum específico.

β_f : Flujo flotante específico.

$\Delta\rho$: Diferencia en densidades entre el fluido circundante y el del chorro.

g : Aceleración de la gravedad.

g' : Aceleración efectiva de la gravedad.

B : Flujo flotante específico inicial.

Q : Flujo volumen inicial (gasto inicial).

M : Flujo momentum específico inicial.

D : Diámetro del chorro.

W : Velocidad media del chorro.

ρ_a : Densidad del cuerpo receptor a través de la profundidad de la descarga.

ρ_o : Densidad del cuerpo receptor a la altura de la descarga.

z : Dirección de la profundidad en el caso de un análisis tridimensional.

y : Dirección de la profundidad en el caso de un análisis bidimensional.

$\varepsilon(z)$: Anomalia o variación de la densidad del cuerpo receptor.

ε' : Gradiente de densidades ($d \varepsilon(z) / dz$).

w_m : Velocidad vertical promediada con respecto al tiempo de la pluma ascendente.

d : Distancia desde la descarga para el análisis dimensional de la pluma.

ν : Viscosidad cinemática del fluido descargado.

C_{av} : Concentración promedio en la pluma.

C_0 : Concentración inicial de la descarga.

q : Flujo volumen para la pluma plana (gasto unitario).

S : Dilución media de la pluma.

h : Espesor del campo de contaminantes.

b : Ancho del campo de contaminantes perpendicular a la dirección de la corriente.

u : Rapidez o velocidad de la corriente.

S_{av} : Dilución promedio en el campo de contaminantes.

Q_0 : Gasto o descarga desde el difusor.

y_b : Coordenada a la base del campo de contaminantes.

y_{max} : Coordenada a la cima del campo de contaminantes.

S_0 : Dilución calculada a la cima de la pluma sin considerar el efecto de bloqueo por el campo de contaminantes.

L : Longitud del difusor.

q : Rapidez de descarga al campo de contaminantes.

Capítulo 5, 5.2:

Q_p : Gasto en cada puerto.

C_p : Coeficiente de gasto.

A_p : Area del puerto.

H : Carga hidráulica total.

g : Aceleración de la gravedad.

v_d : Velocidad en el difusor.

v_j : Velocidad del "jet" o chorro.

Zh: Sumatoria de pérdidas de energía entre el difusor y el ambiente al que se descarga.

x_{en} : Factor de pérdidas por entrada a la extensión del puerto.

x_l : Factor de pérdidas por cambio de dirección en el codo de la extensión.

x_c : Factor de pérdidas por la contracción en el tubo de la extensión.

f_r : Coeficiente de fricción en la fórmula de Darcy-Weisbach.

L_r : Longitud de la extensión del puerto.

D_r : Diámetro de la extensión del puerto.

v_r : Velocidad en la extensión del puerto.

v_p : Velocidad en el puerto.

A_c : Area transversal contraída de la vena líquida o chorro.

D_p : Diámetro del puerto.

C_c : Coeficiente de contracción.

L_c : Longitud de la contracción en el tubo de la extensión.

v : Velocidad en el difusor aguas abajo de la extensión.

Procedimiento de Cálculo Hidráulico:

Δv_n : Incremento de velocidad debido a la descarga desde el n'esimo puerto.

- v_n : Velocidad en el difusor entre los puertos n y n+1.
- h_n : Diferencia en la carga de presiones entre el interior y el exterior del difusor.
- H_n : Carga hidráulica total en el puerto n'esimo.
- q_n : Gasto en el puerto n'esimo.
- d_n : Diámetro del puerto n'esimo.
- D : Diámetro del difusor.
- a_n : Area del puerto n'esimo.
- H_{fn} : Pérdidas por fricción entre el puerto n+1 y n.
- f : Factor de fricción en la fórmula de Darcy-Weisbach.
- L_n : Distancia entre los puertos n y n+1.
- Δz_n : Cambio de elevación entre los puertos n y n+1.
- $\Delta S/S$: Diferencia relativa en peso específico entre el fluido que se descarga y el ambiente.

```

100 ; LONGITUD DE DIFUSOR C/R A LA DIFUSION CON DECAIMIENTO MICROBIANO
300 ;
400 SCREEN 0:COLOR 7,1:CLS
500 ITER=0
600 PAR=1:ANCO$="":NANCO=0:LOCATE 4,51:PRINT" "
800 ITER=ITER+1
900 IF ITER>5 THEN 11900
1000 LOCATE 3,15:PRINT"Ancho del Campo de Contaminantes a"
1100 LOCATE 4,15:PRINT"la Salida del Difusor (en metros) = "
1200 LOCATE 4,52:INPUT ANCO$
1400 L=0:L=LEN(ANCO$):IF L=0 THEN 8500
1500 CERO=0
1600 FOR CR=1 TO L
1700 IZQ$="":IZQ%=MID$(ANCO$,CR,1)
1800 GOSUB 23000
1900 NEXT CR
2100 IF CERO=0 THEN 10600
2200 NANCO=VAL(ANCO$)
2300 ITER=0
2400 PAR=2:VELU$="":NVELU=0:LOCATE 9,51:PRINT" "
2600 ITER=ITER+1
2700 IF ITER>5 THEN 11900
2800 LOCATE 7,15:PRINT"Velocidad de la Corriente Perpen-"
2900 LOCATE 8,15:PRINT"dicular a la Costa a la Altura" = "
3000 LOCATE 9,15:PRINT"del Difusor (m/s)
3100 LOCATE 9,52:INPUT VELU$
3300 L=0:L=LEN(VELU$):IF L=0 THEN 8500 ELSE END
3400 CERO=0
3500 FOR CR=1 TO L
3600 IZQ$="":IZQ%=MID$(VELU$,CR,1)
3700 GOSUB 23000
3800 NEXT CR
4000 IF CERO=0 THEN 10600
4100 NVELU=VAL(VELU$)
4200 ITER=0
4300 PAR=3:KD$="":NKD=0:LOCATE 13,51:PRINT" "
4500 ITER=ITER+1
4600 IF ITER>5 THEN 11900
4700 LOCATE 12,15:PRINT"Constante de Decaimiento Microbiano"
4800 LOCATE 13,15:PRINT"en el Mar (1/hora) = "
4900 LOCATE 13,52:INPUT KD$
5100 L=0:L=LEN(KD$):IF L=0 THEN 8500
5200 CERO=0
5300 FOR CR=1 TO L
5400 IZQ$="":IZQ%=MID$(KD$,CR,1)
5500 GOSUB 23000
5600 NEXT CR
5800 IF CERO=0 THEN 10600
5900 NKD=VAL(KD$)
6000 ITER=0
6100 PAR=4:CON1$="":NCON1=0:LOCATE 19,51:PRINT" "
6300 ITER=ITER+1
6400 IF ITER>5 THEN 11900
6500 LOCATE 16,15:PRINT"Concentración de Coliformes en el"
6600 LOCATE 17,15:PRINT"Campo de Contaminantes Despues de"
6700 LOCATE 18,15:PRINT"Obtenerse la Dilución Inicial"
6800 LOCATE 19,15:PRINT"Sobre el Difusor (M.O./100ml) = "
6900 LOCATE 19,52:INPUT CON1$
7100 L=0:L=LEN(CON1$):IF L=0 THEN 8500
7200 CERO=0
7300 FOR CR=1 TO L

```

```

7500 GOSUB 23000
7600 NEXT CR
7800 IF CERO=0 THEN 10600
7900 NCON1=VAL(CON1$)
8000 COLOR 1,7:LOCATE 23,18:PRINT"! ESPERE UNOS SEGUNDOS POR FAVOR !"
8100 COLOR 7,1
8200 GOTO 13500
8500 BEEP:T1=0:CR=0:COLOR 1,7
8600 FOR T1=1 TO 20
8700 LOCATE 23,18:PRINT"! DEBE PONER ALGUN NUMERO PARA CONTINUAR! "
8800 NEXT T1
8900 COLOR 7,1
9000 LOCATE 23,18:PRINT" "
9100 GOTO 12900
9200 BEEP:T1=0:CR=0:COLOR 1,7
9300 FOR T1=1 TO 20
9400 LOCATE 23,18:PRINT" !SOLO SON VALIDOS VALORES NUMERICOS! "
9500 NEXT T1
9600 COLOR 7,1
9700 LOCATE 23,18:PRINT" "
9800 GOTO 12900
9900 BEEP:T1=0:CR=0:COLOR 1,7
10000 FOR T1=1 TO 20
10100 LOCATE 23,18:PRINT" !NO SE ADMITEN NUMEROS NEGATIVOS! "
10200 NEXT T1
10300 COLOR 7,1
10400 LOCATE 23,18:PRINT" "
10500 GOTO 12900
10600 BEEP:T1=0:CR=0:COLOR 1,7
10700 FOR T1=1 TO 20
10800 LOCATE 23,18:PRINT" !EL VALOR DEL CAMPO NO PUEDE SER CERO! "
10900 NEXT T1
11000 COLOR 7,1
11100 LOCATE 23,18:PRINT" "
11200 GOTO 12900
11300 BEEP:T1=0:COLOR 1,7
11400 FOR T1=1 TO 20
11500 LOCATE 23,15:PRINT"! HUBO UN ERROR EN LOS DATOS, INTRODUZCA DE NUEVO!"
11600 NEXT T1
11700 COLOR 7,1
11800 GOTO 400
11900 CLEAR:BEEP:COLOR 1,7
12000 FOR T1=1 TO 15
12100 LOCATE 23,10:PRINT"! SOLO TIENE 5 OPORTUNIDADES PARA INTRODUCIR EL VALOR
CORRECTO!"
12200 NEXT T1
12300 BEEP:T1=0
12400 FOR T1=1 TO 15
12500 LOCATE 23,10:PRINT" !COMIENZE DE NUEVO A INTRODUCIR LOS PARAMETROS!"
12600 NEXT T1
12700 COLOR 7,1
12800 PAR=1:CLS
12900 IF PAR=1 THEN 600
13000 IF PAR=2 THEN 2400
13100 IF PAR=3 THEN 4300
13200 IF PAR=4 THEN 6100
13500 DIL1=0:NANCM=0:EO=0:X=0:TI=0:RA=0:TRS=0:MTP=0:DILX=0:SUST=0:NCONB=0
13600 DIL1=NCON1/1000:NANCM=100*NANCO
13700 EO=.01*(NANCM^(4/3))
13800 FOR LN=500 TO 10^7 STEP 1000
13900 X=LN:T1=X/NVELU
14000 RA=SQR((3/2)/(((1+(8*EO*TI/NANCM^2))^3)-1))
14100 GOSUB 20700
14200 TRS=T1/3600

```

```

14500 IF MTP>88 THEN 11300
14600 DILX=EXP(MTP)/ERF
14700 SUST=DIL1-DILX
14800 IF SUST<10 THEN LN=10^7
14900 NEXT LN
15100 DIF=0:RES=0:X1=0
15200 NCONB=NCON1/DILX
15300 DIF=1000-NCONB
15400 IF DIF<100 THEN 20300
15500 FOR RES=100 TO 10^7 STEP 100
15600 X1=X-RES:T1=X1/NVELU
15700 RA=SGR((3/2)/(((1+(8*E0*T1/NANCM^2))^3)-1))
15800 GOSUB 20700
15900 TRS=T1/3600
16000 DILX=EXP(NKD*TRS)/ERF
16100 NCONB=NCON1/DILX
16200 DIF=1000-NCONB
16300 IF DIF<100 THEN RES=10^7
16400 NEXT RES
16500 CLS
16600 LOCATE 1,12:PRINT"LA LONGITUD TENTATIVA DEL EMISOR Y EL TIEMPO DE RECORRID
0"
16700 LOCATE 2,13:PRINT"CON RESPECTO A LA NORMA BACTERIOLOGICA EN LA COSTA ES:"
16800 LOCATE 4,14:PRINT"Long. (m) = ";X1," Tiempo (hrs)= ";TRS
16900 LOCATE 7,17:PRINT"CONCENTRACION EN LA COSTA (en M.G./100 ml.):"
17000 LOCATE 9,32:PRINT"Conc. = ";NCONB
17100 LOCATE 12,17:PRINT"FACTOR DE DILUCION CON DECAIMIENTO MICROBIANO:"
17200 LOCATE 14,32:PRINT"Dil. = ";DILX
17300 LOCATE 17,23:PRINT"LOS PARAMETROS INTRODUCIDOS FUERON:"
17400 LOCATE 19,12:PRINT"Ancho Campo = ";NANCO," Vel.de la Corriente = ";NVELU
17500 LOCATE 21,12:PRINT"Decaimiento de M.G. = ";NKD,"Conc. Inicial = ";NCON1
17600 COLOR 1,7:LOCATE 23,2:PRINT"
RETURN PARA CONTINUAR
"
17700 LOCATE 23,49:PRINT" [ ] "
17800 RT$="":LOCATE 23,51:INPUT RT$
17900 COLOR 7,1:CLS:LOCATE 6,24:PRINT"MENU PARA CONTINUAR CON EL SISTEMA"
18000 LOCATE 10,24:PRINT"(1).- INTRODUCIR NUEVOS PARAMETROS."
18100 LOCATE 15,24:PRINT"(2).- MENU ANTERIOR."
18200 COLOR 1,7
18300 LOCATE 23,2:PRINT"
INTRODUZCA SU C
PCION "
18400 LOCATE 23,66:PRINT"[ ] "
18500 OPC1$="":LOCATE 23,67:INPUT OPC1$
18600 COLOR 7,1
18800 L=0:L=LEN(OPC1$):IF L=0 THEN 19700
19000 IF L>1 THEN 19700
19200 LT=0:LT=ASC(OPC1$):IF LT<49 OR LT>50 THEN 19700
19300 IF LT=49 THEN 400
19400 IF LT=50 THEN RUN "MENDF1.BAS"
19500 END
19700 BEEP:T1=0:COLOR 1,7
19800 FOR T1=0 TO 20
19900 LOCATE 22,45:PRINT"Solo son validos 1 y 2"
20000 NEXT T1
20100 COLOR 7,1:LOCATE 22,45:PRINT"
"
20200 COLOR 1,7:GOTO 18400
20300 X1=X:GOTO 16500
20700 PI=3.1415926554#:N=4:ERF=0:FER=0:SUM=0:EL=0:FACTD=0:FACT=0:ENT=0:DEC=0:ENL
20800 FOR I1=0 TO N
20900 IF I1=0 THEN 22600
21000 LFAC=0
21100 FOR I2=0 TO I1-1
21200 EL=LOG(I1-I2)
21300 LFAC=LFAC+EL
21400 NEXT I2

```

```
21500 FACTD=EXP(LFAC)
21700 ENT=INT(FACTD)
21800 DEC=FACTD-ENT
21900 IF DEC<=.55 THEN FACT=ENT ELSE FACT=ENT+1
22000 FER= $(-1)^{I1} * (RA^{(2*I1+1)}) / (FACT * (2*I1+1))$ 
22100 SUM=SUM+FER
22200 NEXT I1
22300 ERF=(2/SQR(P1))*SUM
22400 RETURN
22600 FACT=1:GOTO 22000
23000 LT=0:LT=ASC(I2Q#)
23200 IF LT=45 AND CR=1 THEN 9900
23400 CE1=0:CE1=VAL(I2Q#)
23500 CERO=CERO+CE1
23700 IF LT<46 OR LT>57 THEN 9200
23800 IF LT=47 THEN 9200
23900 RETURN
```

```

100 : "DIFUSION CON DECAIMIENTO MICROBIANO"
300
400 SCREEN 0:COLOR 7,1:CLS
500 ITER=0
600 PAR=1:ANCO$="":NANCO=0:LOCATE 4,51:PRINT" "
800 ITER=ITER+1
900 IF ITER>5 THEN 11900
1000 LOCATE 3,15:PRINT"Ancho del Campo de Contaminantes a"
1100 LOCATE 4,15:PRINT"la Salida del Difusor (en metros) = "
1200 LOCATE 4,52:INPUT ANCO$
1400 L=0:L=LEN(ANCO$):IF L=0 THEN 8500
1500 CERO=0
1600 FOR CR=1 TO L
1700 IZQ$="":IZQ%=MID$(ANCO$,CR,1)
1800 GOSUB 20500
1900 NEXT CR
2100 IF CERO=0 THEN 10600
2200 NANCO=VAL(ANCO$)
2300 ITER=0
2400 PAR=2:T11$="":TRS=0:LOCATE 9,51:PRINT" "
2600 ITER=ITER+1
2700 IF ITER>5 THEN 11900
2800 LOCATE 7,15:PRINT"Tiempo al Trmino del cual se quiere"
2900 LOCATE 8,15:PRINT"Conocer la Concentracion de Conta-"
3000 LOCATE 9,15:PRINT"minantes no Conservativos (hrs.) = "
3100 LOCATE 9,52:INPUT T11$
3300 L=0:L=LEN(T11$):IF L=0 THEN 8500
3400 CERO=0
3500 FOR CR=1 TO L
3600 IZQ$="":IZQ%=MID$(T11$,CR,1)
3700 GOSUB 20500
3800 NEXT CR
4000 IF CERO=0 THEN 10600
4100 TRS=VAL(T11$)
4200 ITER=0
4300 PAR=3:KD$="":NKD=0:LOCATE 13,51:PRINT" "
4500 ITER=ITER+1
4600 IF ITER>5 THEN 11900
4700 LOCATE 12,15:PRINT"Constante de Decaimiento Microbiano"
4800 LOCATE 13,15:PRINT"en el Mar (1/hora) = "
4900 LOCATE 13,52:INPUT KD$
5100 L=0:L=LEN(KD$):IF L=0 THEN 8500
5200 CERO=0
5300 FOR CR=1 TO L
5400 IZQ$="":IZQ%=MID$(KD$,CR,1)
5500 GOSUB 20500
5600 NEXT CR
5800 IF CERO=0 THEN 10600
5900 NKD=VAL(KD$)
6000 ITER=0
6100 PAR=4:CON1$="":NCON1=0:LOCATE 19,51:PRINT" "
6300 ITER=ITER+1
6400 IF ITER>5 THEN 11900
6500 LOCATE 16,15:PRINT"Concentraci3n de Coliformes en el"
6600 LOCATE 17,15:PRINT"Campo de Contaminantes Despus de"
6700 LOCATE 18,15:PRINT"Obtenerse la Diluci3n Inicial"
6800 LOCATE 19,15:PRINT"Sobre el Difusor (M.O./100ml) = "
6900 LOCATE 19,52:INPUT CON1$
7100 L=0:L=LEN(CON1$):IF L=0 THEN 8500
7200 CERO=0
7300 FOR CR=1 TO L
7400 IZQ$="":IZQ%=MID$(CON1$,CR,1)

```

```

7600 NEXT CR
7800 IF CERO=0 THEN 10600
7900 NCON1=VAL(CON1#)
8000 COLOR 1,7:LOCATE 23,18:PRINT"! ESPERE UNOS SEGUNDOS POR FAVOR !"
8100 COLOR 7,1
8200 GOTO 13500
8500 BEEP:T1=0:CR=0:COLOR 1,7
8600 FOR T1=1 TO 20
8700 LOCATE 23,18:PRINT"! DEBE PONER ALGUN NUMERO PARA CONTINUAR! "
8800 NEXT T1
8900 COLOR 7,1
9000 LOCATE 23,18:PRINT" "
9100 GOTO 12900
9200 BEEP:T1=0:CR=0:COLOR 1,7
9300 FOR T1=1 TO 20
9400 LOCATE 23,18:PRINT" !SOLO SON VALIDOS VALORES NUMERICOS! "
9500 NEXT T1
9600 COLOR 7,1
9700 LOCATE 23,18:PRINT" "
9800 GOTO 12900
9900 BEEP:T1=0:CR=0:COLOR 1,7
10000 FOR T1=1 TO 20
10100 LOCATE 23,18:PRINT" !NO SE ADMITEN NUMEROS NEGATIVOS! "
10200 NEXT T1
10300 COLOR 7,1
10400 LOCATE 23,18:PRINT" "
10500 GOTO 12900
10600 BEEP:T1=0:CR=0:COLOR 1,7
10700 FOR T1=1 TO 20
10800 LOCATE 23,18:PRINT" !EL VALOR DEL CAMPO NO PUEDE SER CERO! "
10900 NEXT T1
11000 COLOR 7,1
11100 LOCATE 23,18:PRINT" "
11200 GOTO 12900
11300 BEEP:T1=0:COLOR 1,7
11400 FOR T1=1 TO 20
11500 LOCATE 23,15:PRINT"!HUBO UN ERROR EN LOS DATOS, INTRODUZCA DE NUEVO!"
11600 NEXT T1
11700 COLOR 7,1
11800 GOTO 400
11900 CLEAR:BEEP:COLOR 1,7
12000 FOR T1=1 TO 15
12100 LOCATE 23,10:PRINT"!SOLO TIENE 5 OPORTUNIDADES PARA INTRODUCIR EL VALOR
CORRECTO!"
12200 NEXT T1
12300 BEEP:T1=0
12400 FOR T1=1 TO 15
12500 LOCATE 23,10:PRINT" !COMIENCIE DE NUEVO A INTRODUCIR LOS PARAMETROS
"
12600 NEXT T1
12700 COLOR 7,1
12800 PAR=1:CLS
12900 IF PAR=1 THEN 600
13000 IF PAR=2 THEN 2400
13100 IF PAR=3 THEN 4300
13200 IF PAR=4 THEN 6100
13500 NANCM=0:EO=0:T1=0:RA=0:MTP=0:DILX=0:NCONB=0
13600 NANCM=100*NANCO:TI=3600*TRS
13700 EO=.01*(NANCM^(4/3))
13800 RA=SGR(((3/2)/(((1+(8*EO*T1/NANCM^2))^3)-1))
13900 GOSUB 16200
14000 MTP=NKD*TRS
14200 IF MTP>88 THEN 11300
14300 DILX=EXP(MTP)/ERF

```

```

14300 CLS
14600 LOCATE 3,17:PRINT"LA CONCENTRACION CON DECAIMIENO MICROBIANO SERA:"
14700 LOCATE 5,25:PRINT"Conc. (M.O./100 ml.) = ";INCONB
14800 LOCATE 9,18:PRINT"FACTOR DE DILUCION CON DECAIMIENTO MICROBIANO:"
14900 LOCATE 11,17:PRINT"Dil. = ";DILX,"Al tiempo (hrs.) = ";TRS
15000 LOCATE 16,23:PRINT"LOS PARAMETROS INTRODUCIDOS FUERON:"
15100 LOCATE 18,12:PRINT"Ancho Campo = ";NANCO," Tiempo de Recorrido = ";TRS
15200 LOCATE 19,12:PRINT"Decaimiento de M.O. = ";NKD,"Conc. Inicial = ";INCON1
15300 COLOR 1,7:LOCATE 23,2:PRINT"
RETURN PARA CONTINUAR
"
15400 LOCATE 23,49:PRINT" [ ] "
15500 RT#="":LOCATE 23,51:INPUT RT#
15600 COLOR 7,1:CLS:LOCATE 6,24:PRINT"MENU PARA CONTINUAR CON EL SISTEMA"
15700 LOCATE 10,24:PRINT"(1).- INTRODUCIR NUEVOS PARAMETROS."
15800 LOCATE 15,24:PRINT"(2).- MENU ANTERIOR."
15900 COLOR 1,7
16000 LOCATE 23,2:PRINT"
INTRODUZCA SU C
PCION "
16100 LOCATE 23,66:PRINT"[ ] "
16200 OPC1#="":LOCATE 23,67:INPUT OPC1#
16300 COLOR 7,1
16500 L=0:L=LEN(OPC1#):IF L=0 THEN 17500
16700 IF L>1 THEN 17500
16900 LT=0:LT=ASC(OPC1#):IF LT<49 OR LT>50 THEN 17500
17100 IF LT=49 THEN 400
17200 IF LT=50 THEN RUN "MENDEF2.BAS"
17300 END
17500 BEEP:T1=0:COLOR 1,7
17600 FOR T1=0 TO 20
17700 LOCATE 22,45:PRINT"Solo son validos 1 y 2"
17800 NEXT T1
17900 COLOR 7,1:LOCATE 22,45:PRINT"
"
18000 COLOR 1,7:GOTO 16100
18400 P1=3.1415926554#:N=4:ERF=0:FER=0:SUM=0:EL=0:FACTD=0:FACT=0:ENT=0:DEC=0
18500 FOR I1=0 TO N
18600 IF I1=0 THEN 20300
18700 LFAC=0
18800 FOR I2=0 TO I1-1
18900 EL=LOG(I1-I2)
19000 LFAC=LFAC+EL
19100 NEXT I2
19200 FACTD=EXP(LFAC)
19400 ENT=INT(FACTD)
19500 DEC=FACTD-ENT
19600 IF DEC<=.55 THEN FACT=ENT ELSE FACT=ENT+1
19700 FER=((-1)^I1)*(RA^(2*I1+1))/(FACT*(2*I1+1))
19800 SUM=SUM+FER
19900 NEXT I1
20000 ERF=(2/SQR(P1))*SUM:END
20100 RETURN
20300 FACT=1:GOTO 19700
20500 SUBRRUTINA PARA VALIDACION DE CAMPOS
20700 LT=0:LT=ASC(IZQ#)
20900 IF LT=45 AND CR=1 THEN 9900
21100 CE1=0:CE1=VAL(IZQ#)
21200 CER0=CER0+CE1
21400 IF LT<46 OR LT>57 THEN 9200
21500 IF LT=47 THEN 9200
21600 RETURN

```

```

100 : "DIFUSION DE CONTAMINANTES CONSERVATIVOS"
300 :
400 SCREEN 0:COLOR 7,1:CLS
500 ITER=0
600 PAR=1:ANCO$="":NANCO=0:LOCATE 5,51:PRINT " "
800 ITER=ITER+1
900 IF ITER>5 THEN 10100
1000 LOCATE 4,15:PRINT"Ancho del Campo de Contaminantes a"
1100 LOCATE 5,15:PRINT"la Salida del Difusor (en metros) = "
1200 LOCATE 5,52:INPUT ANCO$
1400 L=0:L=LEN(ANCO$):IF L=0 THEN 6700
1500 CERO=0
1600 FOR CR=1 TO L
1700 IZQ$="":IZQ$=MID$(ANCO$,CR,1)
1800 GOSUB 18300
1900 NEXT CR
2100 IF CERO=0 THEN 8800
2200 NANCO=VAL(ANCO$)
2300 ITER=0
2400 PAR=2:T11$="":TRS=0:LOCATE 12,51:PRINT " "
2600 ITER=ITER+1
2700 IF ITER>5 THEN 10100
2800 LOCATE 10,15:PRINT"Tiempo al Trmino del Cual se Quiere"
2900 LOCATE 11,15:PRINT"re Conocer la Concentraci3n de Con-"
3000 LOCATE 12,15:PRINT"taminantes Conservativos (hrs.) = "
3100 LOCATE 12,52:INPUT T11$
3300 L=0:L=LEN(T11$):IF L=0 THEN 6700
3400 CERO=0
3500 FOR CR=1 TO L
3600 IZQ$="":IZQ$=MID$(T11$,CR,1)
3700 GOSUB 18300
3800 NEXT CR
4000 IF CERO=0 THEN 8800
4100 TRS=VAL(T11$)
4200 ITER=0
4300 PAR=4:CON1$="":NCON1=0:LOCATE 20,51:PRINT " "
4500 ITER=ITER+1
4600 IF ITER>5 THEN 10100
4700 LOCATE 17,15:PRINT"Concentraci3n de Contaminantes Con-"
4800 LOCATE 18,15:PRINT"servativos Despus de Obtenerse la"
4900 LOCATE 19,15:PRINT"Diluci3n Inicial a la Altura del"
5000 LOCATE 20,15:PRINT"Difusor (p.p.m.) = "
5100 LOCATE 20,52:INPUT CON1$
5300 L=0:L=LEN(CON1$):IF L=0 THEN 6700
5400 CERO=0
5500 FOR CR=1 TO L
5600 IZQ$="":IZQ$=MID$(CON1$,CR,1)
5700 GOSUB 18300
5800 NEXT CR
6000 IF CERO=0 THEN 8800
6100 NCON1=VAL(CON1$)
6200 COLOR 1,7:LOCATE 23,18:PRINT"! ESPERE UNOS SEGUNDOS POR FAVOR! "
6300 COLOR 7,1
6400 GOTO 11600
6700 BEEP:T1=0:CR=0:COLOR 1,7
6800 FOR T1=1 TO 20
6900 LOCATE 23,18:PRINT"!DEBE PONER ALGUN NUMERO PARA CONTINUAR! "
7000 NEXT T1
7100 COLOR 7,1
7200 LOCATE 23,18:PRINT " "
7300 GOTO 11100

```

```

7500 FOR T1=1 TO 20
7600 LOCATE 23,18:PRINT" !SOLO SON VALIDOS VALORES NUMERICOS! "
7700 NEXT T1
7800 COLOR 7,1
7900 LOCATE 23,18:PRINT" "
8000 GOTO 11100
8100 BEEP:T1=0:CR=0:COLOR 1,7
8200 FOR T1=1 TO 20
8300 LOCATE 23,18:PRINT" !NO SE ADMITEN NUMEROS NEGATIVOS! "
8400 NEXT T1
8500 COLOR 7,1
8600 LOCATE 23,18:PRINT" "
8700 GOTO 11100
8800 BEEP:T1=0:CR=0:COLOR 1,7
8900 FOR T1=1 TO 20
9000 LOCATE 23,18:PRINT" !EL VALOR DEL CAMPO NO PUEDE SER CERO! "
9100 NEXT T1
9200 COLOR 7,1
9300 LOCATE 23,18:PRINT" "
9400 GOTO 11100
9500 BEEP:T1=0:COLOR 1,7
9600 FOR T1=1 TO 20
9700 LOCATE 23,15:PRINT"!HUBO UN ERROR EN LOS DATOS, INTRODUZCA DE NUEVO!"
9800 NEXT T1
9900 COLOR 7,1
10000 GOTO 400
10100 CLEAR:BEEP:COLOR 1,7
10200 FOR T1=1 TO 15
10300 LOCATE 23,10:PRINT"!SOLO TIENE 5 OPORTUNIDADES PARA INTRODUCIR EL VALOR
CORRECTO!"
10400 NEXT T1
10500 BEEP:T1=0
10600 FOR T1=1 TO 15
10700 LOCATE 23,10:PRINT" !COMIENZE DE NUEVO A INTRODUCIR LOS PARAMETROS."
"
10800 NEXT T1
10900 COLOR 7,1
11000 PAR=1:CLS
11100 IF PAR=1 THEN 600
11200 IF PAR=2 THEN 2400
11300 IF PAR=4 THEN 4300
11600 NANCM=0:E0=0:TI=0:RA=0:DILX=0:NCONB=0
11700 NANCM=100*NANCO:TI=3600*TRS
11800 E0=.01*(NANCM^(4/3))
11900 RA=SQR((3/2)/(((1+(8*E0*TI/NANCM^2))^3)-1))
12000 GOSUB 16000
12100 DILX=1/ERF
12200 NCONB=NCON1/DILX
12300 CLS
12400 LOCATE 3,15:PRINT"LA CONCENTRACION DE CONTAMINANTES CONSERVATIVOS ES:"
12500 LOCATE 5,28:PRINT"Conc. (P.P.m.) = ";NCONB
12600 LOCATE 9,13:PRINT"FACTOR DE DILUCION DE LOS CONTAMINANTES CONSERVATIVOS"
12700 LOCATE 11,17:PRINT"Dil. = ";DILX,"Al tiempo (hrs.) = ";TRS
12800 LOCATE 16,23:PRINT"LOS PARAMETROS INTRODUCIDOS FUERON:"
12900 LOCATE 18,12:PRINT"Ancho Campo = ";NANCO," Tiempo de Recorrido = ";TRS
13000 LOCATE 20,28:PRINT"Conc. Inicial = ";NCON1
13100 COLOR 1,7:LOCATE 23,2:PRINT" RETURN PARA CONTINUAR"
"
13200 LOCATE 23,49:PRINT" [ ] "
13300 RT#="" :LOCATE 23,51:INPUT RT#
13400 COLOR 7,1:CLS:LOCATE 6,24:PRINT"MENU PARA CONTINUAR CON EL SISTEMA"
13500 LOCATE 10,24:PRINT"(1).- INTRODUCIR NUEVOS PARAMETROS."
13600 LOCATE 15,24:PRINT"(2).- MENU ANTERIOR."
13700 COLOR 1,7
13800 LOCATE 23,2:PRINT" INTRODUCZA SU C

```

```

PL10N
13900 LOCATE 23,66:PRINT" ] "
14000 OPC1$="":LOCATE 23,67:INPUT OPC1$
14100 COLOR 7,1
14300 L=0:L=LEN(OPC1$):IF L=0 THEN 15300
14500 IF L>1 THEN 15300
14700 LT=0:LT=ASC(OPC1$):IF LT<49 OR LT>50 THEN 15300
14900 IF LT=49 THEN 400
15000 IF LT=50 THEN RUN "MENDF2.BAS"
15100 END
15300 BEEP:T1=0:COLOR 1,7
15400 FOR T1=0 TO 20
15500 LOCATE 22,45:PRINT"Solo son validos 1 y 2"
15600 NEXT T1
15700 COLOR 7,1:LOCATE 22,45:PRINT" "
15800 COLOR 1,7:GOTO 13900
16200 PI=3.1415926554#:N=4:ERF=0:FER=0:SUM=0:EL=0:FACTD=0:FACT=0:ENT=0:DEC=0
16300 FOR I1=0 TO N
16400 IF I1=0 THEN 18100
16500 LFAC=0
16600 FOR I2=0 TO I1-1
16700 EL=LOG(1-I2)
16800 LFAC=LFAC+EL
16900 NEXT I2
17000 FACTD=EXP(LFAC)
17200 ENT=INT(FACTD)
17300 DEC=FACTD-ENT
17400 IF DEC<=.55 THEN FACT=ENT ELSE FACT=ENT+1
17500 FER=((-1)I1*(RA(2*I1+1))/(FACT*(2*I1+1)))
17600 SUM=SUM+FER
17700 NEXT I1
17800 ERF=(2/SQR(PI))*SUM
17900 RETURN
18100 FACT=1:GOTO 17500
18300 SUBRRUTINA PARA VALIDACION DE CAMPOS
18500 LT=0:LT=ASC(I2Q#)
18700 IF LT=45 AND CR=1 THEN 8100
18900 CE1=0:CE1=VAL(I2Q#)
19000 CERO=CERO+CE1
19200 IF LT<46 OR LT>57 THEN 7400
19300 IF LT=47 THEN 7400 ELSE RUN "PRESENT.BAS"
19400 RETURN

```

```

100 "CALCULO HIRAUICO DEL DIFUSOR EN UN EMISOR SUBMARINO"
300
500 KEY OFF:SCREEN 0:COLOR 7,1:CLS
600 ITER=0
700 PAR=1:LD$="":NLD1=0:LOCATE 2,50:PRINT " "
900 ITER=ITER+1:IF ITER>5 THEN 36400
1000 LOCATE 2,15:PRINT"Longitud del Difusor (en metros) = "
1100 LOCATE 2,51:INPUT LD$
1200 NVAL$="":NVAL$=LD$
1300 GOSUB 44300
1400 NLD1=VAL(LD$)
1500 ITER=0
1600 PAR=2:QD$="":NQD1=0:LOCATE 5,50:PRINT " "
1800 ITER=ITER+1:IF ITER>5 THEN 36400
1900 LOCATE 4,15:PRINT"Gasto de Diseño en Consideración"
2000 LOCATE 5,15:PRINT"del Emisor Submarino (m3/s) = "
2100 LOCATE 5,51:INPUT QD$
2200 NVAL$="":NVAL$=QD$
2300 GOSUB 44300
2400 NQD1=VAL(QD$)
2500 PAR1=0
2600 ITER=0
2700 PAR=3:H1$="":NH1=0:LOCATE 8,50:PRINT " "
2900 ITER=ITER+1:IF ITER>5 THEN 36400
3000 LOCATE 7,15:PRINT"Carga Hidraulica Total en el últi-"
3100 LOCATE 8,15:PRINT"mo Orificio (orf.1) (en metros) = "
3200 LOCATE 8,51:INPUT H1$
3300 NVAL$="":NVAL$=H1$
3400 GOSUB 44300
3500 NH1=VAL(H1$)
3600 IF PAR1=3 THEN 12300
3700 ITER=0
3800 PAR=4:DT$="":NDT=0:LOCATE 10,50:PRINT " "
4000 ITER=ITER+1:IF ITER>5 THEN 36400
4100 LOCATE 10,15:PRINT"Diametro Emisor Submarino (mts.) = "
4200 LOCATE 10,51:INPUT DT$
4300 NVAL$="":NVAL$=DT$
4400 GOSUB 44300
4500 NDT=VAL(DT$)
4600 ITER=0
4700 PAR=5:CW$="":NCW=0:LOCATE 14,50:PRINT " "
4900 ITER=ITER+1:IF ITER>5 THEN 36400
5000 LOCATE 12,15:PRINT"Coeficiente de Hazen-Williams"
5100 LOCATE 13,15:PRINT"para el Calculo de Perdidas de"
5200 LOCATE 14,15:PRINT"Carga por Fricción = "
5300 LOCATE 14,51:INPUT CW$
5400 NVAL$="":NVAL$=CW$
5500 GOSUB 44300
5600 NCW=VAL(CW$)
5700 ITER=0
5800 PAR=6:FWA$="":NFWA=0:LOCATE 17,50:PRINT " "
6000 ITER=ITER+1:IF ITER>5 THEN 36400
6100 LOCATE 16,15:PRINT"Peso Especifico del Fluido"
6200 LOCATE 17,15:PRINT"Descargado (Kg/m3) = "
6300 LOCATE 17,51:INPUT FWA$
6400 NVAL$="":NVAL$=FWA$
6500 GOSUB 44300
6600 NFWA=VAL(FWA$)
6700 ITER=0
6800 PAR=7:FWM$="":NFWM=0:LOCATE 20,50:PRINT " "
7000 ITER=ITER+1:IF ITER>5 THEN 36400

```

```

7100 LOCATE 19,15:PRINT"Peso Especifico del Agua"
7200 LOCATE 20,15:PRINT"de Mar (Kg/m^3) = "
7300 LOCATE 20,51:INPUT PWM$
7400 NVAL$="":NVAL$=PWM$
7500 GOSUB 44300
7600 NPWM=VAL(PWM$)
7700 ITER=0
7800 CLS:LOCATE 7,21:PRINT"ESCOJA UNA DE LAS SIGUIENTES OPCIONES"
7900 LOCATE 10,11:PRINT"(1).- El Final de la Tuberia del Emisor está Bifurcada."
8000 LOCATE 12,11:PRINT"(2).- El Difusor es una Continuación de la Tuberia del E
misor."
8100 LOCATE 15,31:PRINT"OPCION = "
8200 PAR=13:OPC2$="":LOCATE 15,40:PRINT" "
8400 ITER=ITER+1:IF ITER>5 THEN 36400
8500 LOCATE 15,41:INPUT OPC2$
8700 L=0:L=LEN(OPC2$):IF L=0 THEN 34600
8900 IF L>1 THEN 34600
9100 LT=0:LT=ASC(OPC2$):IF LT<49 OR LT>50 THEN 34600
9300 IF LT=49 THEN 29300
9400 IF LT=50 THEN 29400
9500 CLS:LOCATE 8,12:PRINT"& La Entrada a cada Orificio Tiene Bordes Redondeados
?"
9600 PAR=8:RED$="":LOCATE 9,50:PRINT" "
9700 LOCATE 9,25:PRINT"( s/S = sí; n/N = no ) : "
9800 LOCATE 9,51:INPUT RED$
10000 L=0:L=LEN(RED$):IF L=0 THEN 31500
10100 IF L>1 THEN 34000
10300 FLG$="":LT=0:LT=ASC(RED$)
10400 IF LT=162 THEN 28600
10500 IF LT=78 OR LT=110 THEN 28700 ELSE 34000
10600 LOCATE 14,13:PRINT"& Se va a Disponer el Difusor en un Lecho Marino Plano"
10700 LOCATE 15,15:PRINT"y Horizontal ? . O sea con z = 0 (C.de Posición)"
10800 PAR=9:PLN$="":LOCATE 16,50:PRINT" "
10900 LOCATE 16,25:PRINT"( s/S = sí; n/N = no ) : "
11000 LOCATE 16,51:INPUT PLN$
11200 L=0:L=LEN(PLN$):IF L=0 THEN 31500
11300 IF L>1 THEN 34000
11500 LT=0:LT=ASC(PLN$)
11600 IF LT=161 THEN 35800
11700 IF LT=78 OR LT=110 THEN 35800 ELSE 34000
11900 PI=0:V1=0:CV1=0:CD1=0:A1=0:Q1=0:D1=0
12000 PI=3.1415926554#:V1=4*NQD/(PI*(NDT^2)):CV1=(V1^2)/(2*9.810001)
12100 IF FLG$="1" THEN CD1=.975*((1-(CV1/NH1))^(3/8))
12200 IF FLG$="2" THEN CD1=.63-(.58*(CV1/NH1))
12300 CLS
12400 IF PAR1=3 THEN 29100
12500 ITER=0
12600 LOCATE 6,15:PRINT"Introduzca el diámetro del Primer"
12700 LOCATE 7,15:PRINT"orificio, de acuerdo a 'Ea ≤ 0.6A', "
12800 LOCATE 8,15:PRINT"que quiere decir que la suma de las"
12900 LOCATE 9,15:PRINT"áreas de los orificios será menor"
13000 LOCATE 10,15:PRINT"al 60% del área del difusor (en cm.) = "
13100 PAR=10:DO$="":NDD=0:NDD1=0:LOCATE 10,54:PRINT" "
13300 ITER=ITER+1:IF ITER>5 THEN 36400
13400 LOCATE 10,55:INPUT DO$
13500 NVAL$="":NVAL$=DO$
13600 GOSUB 44300
13700 NDD=VAL(DO$):NDD1=NDD/100
13800 IF PAR1=1 OR PAR1=3 THEN 15000
13900 IF PAR1=2 THEN 28900
14000 ITER=0
14100 LOCATE 14,15:PRINT"Introduzca la separación entre ori-"
14200 LOCATE 15,15:PRINT"ficios que puede obtenerse (metros) ="
14300 PAR=11:SE$="":NSE=0:LOCATE 15,54:PRINT" "
14500 ITER=ITER+1:IF ITER>5 THEN 36400
LOCATE 15,55:INPUT SE$

```

```

14700 NVAL$="":NVAL$=SE$
14800 GOSUB 44300
14900 NSE=VAL(SE$)
15000 CLS:COLOR 1,7:LOCATE 12,24:PRINT"ESPERE UNOS SEGUNDOS POR FAVOR"
15100 COLOR 7,1
15300 A1=PI*(NDO1^2)/4:Q1=CD1*A1*(SQR(2*9.810001*NH1))
15400 QA1=Q1:CDA1=CD1
15500 D1=NDT*V1=4*Q1/(PI*(D1^2)):VA1=V1:IF V1<=.025 THEN GOSUB 46300
15600 CV1=V1^2/(2*9.810001)
15700 IF FLG$="1" THEN CD1=.975*((1-(CV1/NH1))^(3/8))
15800 IF FLG$="2" THEN CD1=.63-(.58*(CV1/NH1))
15900 Q1=CD1*A1*(SQR(2*9.810001*NH1))
16100 I2=0:I3=0:HFIN=0:HFN=0:CDN=0:CVN=0:VIN=0:DIN=0:SE1N=0:AOR=0:QINC=0:INVE=0:
ATU=0:A6TU=0:A3TU=0:SNSE=0:INLD=0:INQP=0:VEM1=0
16200 ATU=PI*(NDT^2)/4:A6TU=.6*ATU:A3TU=.3*ATU:VEM1=NQD/ATU
16300 VEL(1)=V1:QP(1)=Q1:HN(1)=NH1:DIO(1)=NDO1:DIA(1)=D1:SE1N=NSE/.3048:SAOR=A1:
SQP=Q1
16400 FOR I2=1 TO 2
16500 ' CHECANDO QUE "I2" NO SOBREPASE A LA DEFINICION DE VECTORES CON "DIM"
16600 IF I2=1500 THEN 38900
16700 VIN=VEL(I2)/.3048:DIN=DIA(I2)/.3048
16800 HFIN=3.02*((VIN/NCW)^1.85)*(SE1N/(DIN^1.17))
16900 HFN=HFIN*.3048
17000 HN(I2+1)=HN(I2)+HFN
17100 CVN=(VEL(I2)^2)/(2*9.810001)
17200 IF FLG$="1" THEN CDN=.975*((1-(CVN/HN(I2+1)))^(3/8))
17300 IF FLG$="2" THEN CDN=.63-(.58*(CVN/HN(I2+1)))
17400 DIO(I2+1)=DIO(I2)
17500 AOR=PI*(DIO(I2+1)^2)/4
17600 QP(I2+1)=CDN*AOR*(SQR(2*9.810001*HN(I2+1)))
17800 QINC=QP(I2+1)-QP(1):IF QINC>.003 THEN GOSUB 47300
17900 DIA(I2+1)=DIA(I2)
18000 INVE=4*QP(I2+1)/(PI*(DIA(I2+1)^2))
18100 VEL(I2+1)=VEL(I2)+INVE
18300 SQP=SQP+QP(I2+1)
18400 IF VEL(I2+1)>=VEM1 THEN GOSUB 48500
18600 SAOR=SAOR+AOR
18700 IF SAOR>A6TU THEN 39600
18900 SNSE=SNSE+NSE:INLD=NLD-SNSE:INQP=NQD-SQP
19000 IF SNSE>NLD THEN 41200
19200 IF INQP<=0 AND INLD>=2 THEN 41900
19400 IF INDP<=-.1 THEN 42600
19600 I3=I2:IF INQP<=0 AND INLD<2 THEN I2=10^7
19700 NEXT I2
19900 IF SAOR<A3TU THEN 40300
20000 CLS:LOCATE 8,15:PRINT"La única manera en que se podrán ver los resultados"
20100 LOCATE 9,18:PRINT"es por medio de su despliegue en la impresora"
20200 LOCATE 11,23:PRINT"¿ QUIERE IMPRIMIR LOS RESULTADOS ?"
20300 PAR=14:MP$="":LOCATE 12,51:PRINT" "
20400 LOCATE 12,26:PRINT"( s/S = sí; n/N = no ) : "
20500 LOCATE 12,52:INPUT MP$
20700 L=0:L=LEN(MP$):IF L=0 THEN 31500
20800 IF L>1 THEN 34000
20900 LT=0:LT=ASC(MP$)
21000 IF LT=165 THEN 21200
21100 IF LT=78 OR LT=110 THEN 21500 ELSE 34000
21200 LOCATE 14,15:PRINT"; ASEGURESE DE QUE LA IMPRESORA ESTE ENCENDIDA !"
21300 LOCATE 15,24:INPUT"( Return para Continuar ) : ";RET$
21400 LOCATE 17,28:PRINT"; IMPRESION EN PROCESO !";GOTO 22500
21500 PAR=15:MP1$="":LOCATE 14,61:PRINT" "
21600 LOCATE 14,18:PRINT"¿ ESTA SEGURO ? ( s/S = sí; n/N = no ) : "
21700 LOCATE 14,62:INPUT MP1$
21900 L=0:L=LEN(MP1$):IF L=0 THEN 31500
22000 IF L>1 THEN 34000
22100 LT=0:LT=ASC(MP1$)
22200 IF LT=87 OR LT=115 THEN 22500

```

```

22300 IF LT=78 OR LT=110 THEN 20000 ELSE 34000
22500 VAER=0:WIDTH "LPT1:",80
22700 PAR=16:VAER=ERR:ON ERROR GOTO 35200
22800 LPRINT TAB(14);"SISTEMA EN COMPUTADORA PARA DETERMINAR LOS PARAMETROS"
22900 LPRINT TAB(13);"HIDRAULICOS DE DISEÑO DEL DIFUSOR DE UN EMISOR SUBMARINO"
23000 LPRINT
23100 LPRINT
23200 LPRINT TAB(30);"PARAMETROS INICIALES"
23300 LPRINT
23400 IF OPC2#="1" THEN 29600
23500 IF OPC2#="2" THEN 30400
23600 LPRINT
23700 LPRINT TAB(15);" CARGA ";SFC(4);" GASTO EN ";SFC(4);" VELOC.EN ";SFC(4);
;"D.DRIF";SFC(4);"D.DIF."
23800 LPRINT TAB(6);" DRF. ";SFC(4);" HIDR.(m) ";SFC(4);"PTO. (1/s)";SFC(4);"DIF.
(m/s)";SFC(4);" (cm) ";SFC(4);" (m) "
23900 LPRINT TAB(5);"-----"
"
24000 I3=0:LQP=0:CDO=0:PAR1=4:CNT1=0
24100 FOR I3=1 TO 10^7
24200 LQP=QP(I3)*1000:CDO=DIO(I3)*100
24300 LPRINT TAB(6);I3:TAB(14);HN(I3);TAB(28);LQP:TAB(42);VEL(I3);TAB(56);CDO:
TAB(66);DIA(I3)
24400 IF I3=37 AND PAR1=4 THEN 28100
24500 CNT1=CNT1+1
24600 IF CNT1=54 AND PAR1=5 THEN 28300
24700 IF DIA(I3+1)=0 THEN I3=10^7
24800 NEXT I3
24900 LPRINT:LPRINT
25000 LPRINT TAB(24);"Suma de Gastos de Orificios = ";SQP;" m^3/s."
25100 LPRINT
25200 LPRINT TAB(24);"Suma de Areas de Orificios = ";SAOR;" m^2."
25300 LPRINT
25400 LPRINT TAB(24);"Long.Sobrante del Difusor = ";INLD;" m."
25500 CLS:LOCATE 6,24:PRINT"MENU PARA CONTINUAR CON EL SISTEMA"
25600 LOCATE 10,24:PRINT"(1).- INTRODUCIR NUEVOS PARAMETROS."
25700 LOCATE 15,24:PRINT"(2).- MENU PRINCIPAL."
25800 COLOR 1,7
25900 LOCATE 23,2:PRINT" INTRODUZCA SU C
PCION "
26000 LOCATE 23,66:PRINT"[ ] "
26100 OPC1#="":LOCATE 23,67:INPUT OPC1#
26200 COLOR 7,1
26400 L=0:L=LEN(OPC1#):IF L=0 THEN 27300
26500 MANEJO DE MAS DE UN CARACTER
26600 IF L>1 THEN 27300
26800 LT=0:LT=ASC(OPC1#):IF LT<49 OR LT>50 THEN 27300
26900 IF LT=49 THEN 27100
27000 IF LT=50 THEN RUN "MENPRINC.BAS"
27100 CLEAR:GOTO 400
27300 BEEP:COLOR 1,7:T1=0
27400 FOR T1=0 TO 20
27500 LOCATE 22,45:PRINT"Solo son validos 1 y 2"
27600 NEXT T1
27700 COLOR 7,1:LOCATE 22,45:PRINT" "
27800 COLOR 1,7:GOTO 26000
28100 LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:
LPRINT
28200 PAR1=5:CNT1=0:GOTO 24500
28300 LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:
LPRINT
28400 PAR1=5:CNT1=0:GOTO 24700
28500 VIENE DE 10400 Y 10500 RESPECTIVAMENTE
28600 FLG#="1":GOTO 10600
28700 FLG#="2":GOTO 10600

```

```

29100 LOCATE 12,36:PRINT"(valor anterior) = ",DD;GOTO 12300
29300 NQD=NQD1/2;NLD=NLD1/2;GOTO 9500
29400 NQD=NQD1;NLD=NLD1;GOTO 9500
29600 LPRINT TAB(20);"EL DIFUSOR ES UNA BIFURCACION DEL EMISOR"
29700 LPRINT TAB(9);"Q(difusor) = Q(emisor) / 2 = ";NQD;SPC(3);"Separacion Drif.=
";NSE;"m"
29800 LPRINT TAB(15);"Long.(calculo difusor) = Long.(difusor) / 2 = ";NLD
29900 LPRINT TAB(9);"Diam.Emisor = ";NDT;SPC(3);"C.Hazen y W.= ";NCW;SPC(3);"F.E
sp.Desecho = ";NPWA
30000 LPRINT TAB(13);"F.Esp.Mar = ";NFWM;SPC(3);"FONDO MARINO PLANO Y SIN PENDIE
NTE"
30100 LPRINT
30200 LPRINT TAB(12);"LOS RESULTADOS DE LA SIGUIENTE TABLA ABARCAN A LA MITAD"
30300 LPRINT TAB(10);"DE LA LONGITUD DEL DIFUSOR Y SON APLICABLES A LA OTRA MIT
D":GOTO 23600
30400 LPRINT TAB(19);"EL DIFUSOR ES UNA CONTINUACION DEL EMISOR"
30500 LPRINT TAB(10);"Q(difusor) = Q(emisor) = ";NQD;SPC(3);"Separacion Drif.=
";NSE;"m"
30600 LPRINT TAB(16);"Long.(calculo difusor) = Long.(difusor) = ";NLD
30700 LPRINT TAB(9);"Diam.Emisor = ";NDT;SPC(3);"C.Hazen y W.= ";NCW;SPC(3);"F.E
sp.Desecho = ";NPWA
30800 LPRINT TAB(13);"F.Esp.Mar = ";NFWM;SPC(3);"FONDO MARINO PLANO Y SIN PENDIE
NTE"
30900 LPRINT
31000 LPRINT TAB(22);"LOS RESULTADOS DE LA SIGUIENTE TABLA"
31100 LPRINT TAB(19);"ABARCAN A LA LONGITUD COMPLETA DEL DIFUSOR":GOTO 23600
31500 BEEP:T1=0:COLOR 1,7
31600 FOR T1=1 TO 15
31700 LOCATE 23,18:PRINT" ! DEBE TECLEAR ALGO PARA CONTINUAR ! "
31800 NEXT T1
31900 COLOR 7,1:LOCATE 23,18:PRINT" "
32000 GOTO 37300
32100 BEEP:T1=0:COLOR 1,7
32200 LPRINT
32300 FOR T1=1 TO 15
32400 LOCATE 23,18:PRINT" ! SOLO SON VALIDOS VALORES NUMERICOS ! "
32500 NEXT T1
32600 COLOR 7,1:LOCATE 23,18:PRINT" "
32700 GOTO 37300
32800 BEEP:T1=0:COLOR 1,7
32900 FOR T1=1 TO 15
33000 LOCATE 23,18:PRINT" ! NO SE ADMITEN NUMEROS NEGATIVOS ! "
33100 NEXT T1
33200 COLOR 7,1:LOCATE 23,18:PRINT" "
33300 GOTO 37300
33400 BEEP:T1=0:COLOR 1,7
33500 FOR T1=1 TO 15
33600 LOCATE 23,18:PRINT" ! EL VALOR DEL CAMPO NO PUEDE SER CERO ! "
33700 NEXT T1
33800 COLOR 7,1:LOCATE 23,18:PRINT" "
33900 GOTO 37300
34000 BEEP:T1=0:COLOR 1,7
34100 FOR T1=1 TO 15
34200 LOCATE 23,18:PRINT" ! SOLO PUEDE SER s/5 o n/N ! "
34300 NEXT T1
34400 COLOR 7,1:LOCATE 23,18:PRINT" "
34500 GOTO 37300
34600 BEEP:T1=0:COLOR 1,7
34700 FOR T1=1 TO 15
34800 LOCATE 23,18:PRINT" ! SOLO PUEDE SER 1 o 2 ! "
34900 NEXT T1
35000 COLOR 7,1:LOCATE 23,18:PRINT" "
35100 GOTO 37300
35200 BEEP:T1=0:COLOR 1,7
35300 FOR T1=1 TO 30
35400 LOCATE 23,18:PRINT" ! PUEDE SER LA UNDECENA ! "

```

```

35500 NEXT T1
35600 COLOR 7,1:LOCATE 23,18:PRINT"
35700 GOTO 37300
35800 BEEP:T1=0:COLOR 1,7
35900 FOR T1=1 TO 30
36000 LOCATE 23,18:PRINT" ! OPCION NO DISPONIBLE POR AHORA !
36100 NEXT T1
36200 COLOR 7,1:LOCATE 23,18:PRINT"
36300 GOTO 37300
36400 CLEAR:BEEP:COLOR 1,7
36500 FOR T1=1 TO 15
36600 LOCATE 23,6:PRINT"! SOLO TIENE 5 OPORTUNIDADES PARA INTRODUCIR EL VALOR
CORRECTO !"
36700 NEXT T1
36800 BEEP:T1=0
36900 FOR T1=1 TO 15
37000 LOCATE 23,6:PRINT" ! COMIENZE DE NUEVO A INTRODUCIR LOS PARAMETROS !"
37100 NEXT T1
37200 PAR=12:COLOR 7,1:CLS
37300 IF PAR=1 THEN 700
37400 IF PAR=2 THEN 1600
37500 IF PAR=3 THEN 2700
37600 IF PAR=4 THEN 3800
37700 IF PAR=5 THEN 4700
37800 IF PAR=6 THEN 5800
37900 IF PAR=7 THEN 6800
38000 IF PAR=8 THEN 9600
38100 IF PAR=9 THEN 10800
38200 IF PAR=10 THEN 13100
38300 IF PAR=11 THEN 14300
38400 IF PAR=12 THEN 400
38500 IF PAR=13 THEN 8200
38600 IF PAR=14 THEN 20300
38700 IF PAR=15 THEN 21500
38800 IF PAR=16 THEN 20000
38900 CLS:BEEP:COLOR 1,7:T1=0:KOS=0
39000 LOCATE 12,6:PRINT"EL NUMERO DE ORIFICIOS HA SOBREPASADO LA CAPACIDAD DE MEMORIA
ASIGNADA"
39100 LOCATE 13,20:PRINT"!REVISE SUS DATOS Y VUELVA A INTENTARLO!"
39200 FOR T1=0 TO 1500
39300 KOS=KOS+1
39400 NEXT T1
39500 COLOR 7,1:GOTO 25500
39600 CLS:BEEP:COLOR 1,7:T1=0:KOS=0:PAR1=1
39700 LOCATE 12,3:PRINT"LA SUMA DE LAS AREAS DE LOS ORIFICIOS RESULTO SER MAYOR
QUE EL 60% DEL AREA"
39800 LOCATE 13,9:PRINT"DEL DIFUSOR. !REDUZCA EL DIAMETRO DE ORIFICIOS ADECUADAMENTE!"
39900 FOR T1=0 TO 1500
40000 KOS=KOS+1
40100 NEXT T1
40200 COLOR 7,1:CLS:LOCATE 12,36:PRINT"(valor anterior) = ";D0#:GOTO 12500
40300 CLS:BEEP:COLOR 1,7:T1=0:KOS=0:PAR1=3
40400 LOCATE 12,3:PRINT"LA SUMA DE LAS AREAS DE LOS ORIFICIOS RESULTO SER MENOR
QUE EL 30% DEL AREA"
40500 LOCATE 13,4:PRINT"DEL DIFUSOR. ESTO PUEDE DEBERSE A QUE AL CARGA HIDRAULICA
A ESTIMADA EN 1"
40600 LOCATE 14,4:PRINT"ES DEMACIADO GRANDE, O A QUE EL DIAMETRO DEL PRIMER ORIFICIO
ES PEQUEÑO"
40700 LOCATE 15,5:PRINT"! DISMINUYA LA CARGA EN 1 y/o AUMENTE EL DIAMETRO DEL
PUERTO 1 !"
40800 FOR T1=0 TO 3000
40900 KOS=KOS+1
41000 NEXT T1

```

```

41200 CLS:BEEP:COLOR 1,7:T1=0:KOS=0
41300 LOCATE 12,5:PRINT"HA SIDO SOBREPASADA LA LONGITUD DEL DIFUSOR Y AUN NO TER
MINA EL CALCULO"
41400 LOCATE 13,13:PRINT"!DISMINUYA LA SEPARACION ENTRE ORIFICIOS ADECUADAMENTE
"
41500 FOR T1=0 TO 1500
41600   KOS=KOS+1
41700 NEXT T1
41800 COLOR 7,1:CLS:LOCATE 17,36:PRINT"(valor anterior) = ";SE$:GOTO 14000
41900 CLS:BEEP:COLOR 1,7:T1=0:KOS=0
42000 LOCATE 12,8:PRINT"SE TERMINO EL CALCULO Y AUN SOBTRAN ";INLD;" METROS PARA
IGUALAR A LA"
42100 LOCATE 13,10:PRINT"LONGITUD DEL DIFUSOR. !AUMENTE LA SEPARACION ENTRE ORIF
ICIOS!"
42200 FOR T1=0 TO 1500
42300   KOS=KOS+1
42400 NEXT T1
42500 COLOR 7,1:CLS:LOCATE 17,36:PRINT"(valor anterior) = ";SE$:GOTO 14000
42600 CLS:BEEP:COLOR 1,7:T1=0:KOS=0:PAR1=2
42700 LOCATE 12,10:PRINT"HA SIDO SOBREPASADO EL GASTO DE DISEÑO EN MAS DE 100
(1/s)"
42800 LOCATE 13,4:PRINT"!DISMINUYA EL DIAMETRO DE ORIFICIOS Y LA SEPARACION DE E
STOS ADECUADAMENTE!"
42900 FOR T1=0 TO 1500
43000   KOS=KOS+1
43100 NEXT T1
43200 COLOR 7,1:CLS:LOCATE 12,36:PRINT"(valor anterior) = ";DO$:GOTO 12500
43300 CLS:BEEP:COLOR 1,7:T1=0:KOS=0:PAR1=1
43400 LOCATE 12,10:PRINT"EL DIAMETRO DE ORIFICIO HA SIDO REDUCIDO HASTA MENOS DE
5 mm."
43500 LOCATE 13,13:PRINT"!AUMENTE ADECUADAMENTE EL DIAMETRO DEL PRIMER ORIFICIO
"
43600 FOR T1=0 TO 1500
43700   KOS=KOS+1
43800 NEXT T1
43900 COLOR 7,1:CLS:LOCATE 12,36:PRINT"(valor anterior) = ";DO$:GOTO 12500
44300 L=0:L=LEN(NVAL$):IF L=0 THEN 31500
44400 CERO=0
44500 FOR CR=1 TO L
44600   IZQ$="":IZQ$=MID$(NVAL$,CR,1)
44700   LT=0:LT=ASC(IZQ$)
44900   IF LT=45 AND CR=1 THEN 32800
45000     MANEJO DE VALORES NO NUMERICOS
45100   IF LT<46 OR LT>57 THEN 32100
45200   IF LT=47 THEN 32100
45400   CE1=0:CE1=VAL(IZQ$)
45500   CERO=CERO+CE1
45600 NEXT CR
45800 IF CERO=0 THEN 33400
45900 RETURN
46300 DR1=0:I1=0:CT1=0:D1=0
46400 FOR I1=1 TO 10^6
46500   CT1=CT1+.02:DR1=NDT+CT1
46600   V1=4*Q1/(PI*(DR1^2)):D1=DR1
46700   IF V1>.025 THEN I1=10^6
46800 NEXT I1
46900 RETURN 15600
47300 I1=0:AOR=0
47400 FOR I1=1 TO 10^6
47500   D10(I2+1)=D10(I2+1)-.005
47600   IF D10(I2+1)<=.005 THEN 43300
47700   AOR=PI*(D10(I2+1)^2)/4
47800   QF(I2+1)=CDN*AOR*(SQR(2*9.810001*HN(I2+1)))
47900   IF QF(I2+1)<=QF(1) THEN I1=10^6
48000 NEXT I1

```

```
48100 RETURN 17900
48500 I1=0:ATD=0:HVEMI=0:HVEMI=VEMI/1.5
48600 FOR I1=1 TO 10^6
48700   DIA(I2+1)=DIA(I2+1)+.02
48800   IF DIA(I2+1)>NDT THEN 49500
48900   IF DIA(I2+1)=NDT THEN I1=10^6
49000   ATD=PI*(DIA(I2+1)^2)/4
49100   VEL(I2+1)=SQF/ATD
49200   IF VEL(I2+1)<HVEMI THEN I1=10^6
49300 NEXT I1
49400 RETURN 18500
49500 DIA(I2+1)=NDT:I1=10^6:GOTO 49000
```