

Determinación de la dispersión de las aguas residuales vertidas al mar a través de un emisario submarino de 1500 metros en el Puerto de Chicama

Carlos Sebastián⁽¹⁾ csebastian@ipen.gob.pe; Gerardo Maghella⁽¹⁾ gmaghella@ipen.gob.pe;
Enoc Mamani⁽¹⁾ emamani@ipen.gob.pe; José Maguiña⁽¹⁾ jmaguiña@ipen.gob.pe;
Jorge Condori⁽¹⁾ jcondori@ipen.gob.pe

(1) IPEN, Dirección General de Seguridad Radiológica. Dirección de Aplicaciones
Av. Canadá 1470, Lima-41, Perú

Resumen

El presente estudio tuvo como finalidad la determinación de dispersión de las aguas residuales vertidas al mar, en el radio de influencia del emisario submarino de 1500 metros que descarga las aguas residuales del procesamiento de harina de pescado en el Puerto de Chicama, al norte del Perú.

1. Introducción

Una vez que las aguas residuales se descargan en el mar y se alcanza el equilibrio de densidad, la mezcla efluente – agua de mar empezará a dispersarse bajo la influencia de la difusión turbulenta a medida de la “pluma” es transportada por las corrientes. Este proceso resulta en un alargamiento del campo de agua residual y un incremento en la dilución del efluente, que se denomina dilución progresiva.

La dilución progresiva del campo de agua residual se puede modelar matemáticamente si se conocen las características de la mezcla en un área determinada y las mediciones con trazadores colorantes y radiactivas son muy utilizadas para determinar los coeficientes de dispersión de las aguas residuales contaminantes, con la ayuda de ecuaciones que permiten modelar la dilución progresiva.

Para llevar a cabo el presente estudio de dispersión, se estableció una ecuación diferencial parcial para dicha dispersión y soluciones generales para el caso de 2 dimensiones. Así se determinaron las formas y características de las curvas de dispersión del trazador así como la rapidez de disminución de los picos de concentración del trazador inyectado. Toda esta información sirvió para calcular los parámetros de dispersión que determinan la rapidez y el desplazamiento de los contaminantes.

2. Principios Teóricos

Análisis Bidimensional

Se consideran las ecuaciones derivadas de la solución de la ecuación diferencial que explica la dispersión en dos dimensiones, para obtener:

$$\sigma_x = \sqrt{2D_x t} \quad (1)$$

$$\sigma_y = \sqrt{2D_y t} \quad (2)$$

Las ecuaciones 1 y 2 muestran la variación de las desviaciones estándar en las direcciones longitudinal y transversal de la pluma contaminante, en función del tiempo. Por interacción del área total de difusión de un trazador, la masa total de trazador se obtiene mediante la utilización de la constante cinética K, de acuerdo a la ecuación 3.

$$M = K_{xy} 4\pi (D_x D_y)^{1/2} \quad (3)$$

$$y \quad K_{xy} = \frac{M}{4\pi (D_x D_y)^{1/2}} \quad (4)$$

La concentración máxima de trazador en el punto de simetría es igual a:

$$C_{\text{máx}} = \frac{M}{2\pi \sigma_x \sigma_y} \quad (5)$$

El modelo considera que para cada área de isoconcentración, hay una correspondiente elipsoide con eje mayor y menor iguales a a y b .

$$\log\left(\frac{C_{\text{máx}}}{C}\right)^2 = \frac{x'^2}{\sigma_x^2} + \frac{y'^2}{\sigma_y^2} \quad (6)$$

$$\text{Como } \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (7)$$

$$a^2 = \sigma_x^2 \ln\left(\frac{C_{\text{máx}}}{C}\right)^2 \quad (8)$$

$$b^2 = \sigma_y^2 \ln\left(\frac{C_{\text{máx}}}{C}\right)^2 \quad (9)$$

y como el área de una elipse es igual a πab :

$$A = \pi \sigma_x \sigma_y \ln\left(\frac{C_{\text{máx}}}{C}\right)^2 \quad (10)$$

Los coeficientes de dispersión se calculan a partir de la ecuación:

$$D_x = \frac{\sigma_x^2}{2t} \quad D_y = \frac{\sigma_y^2}{2t} \quad (11)$$

Igualmente, considerando la cantidad de trazador inyectado, se tendrá en cuenta que:

$$D_x D_y = \left(\frac{M}{C_{\text{máx}}} \cdot \frac{1}{2\pi}\right)^2 \frac{1}{2t} \quad (12)$$

y si hay información adicional sobre la relación entre σ_x y σ_y , D_x y D_y se puede obtener considerando que:

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_y} = \frac{a}{b} \quad (13)$$

si las relaciones medias de los ejes mayor y menor de las elipses de concentración son medibles, se puede estimar la relación entre D_x y D_y .

3. Desarrollo Experimental

Dado que se realizaron dos campañas, es factible hacer una comparación de los resultados obtenidos en la primera campaña y en la segunda, considerando que en el primer caso se inyectó al inicio del emisario, en la misma Planta de procesamiento de la harina de pescado, mediante un sistema de bombeo, mientras que en la segunda

campaña la inyección se realizó en el mar a 4 metros de profundidad en el punto en el que descargaba el emisario ampliado.

Para ambos casos, se inyectó una mezcla de trazador radiactivo (680 y 800 mCi de I-131 con ácido oleico para simular la fase oleosa, respectivamente, proporcionado por la Planta de producción de Radioisótopos), y de un trazador orgánico (4 Kg. Y 3 Kg. de rodamina B, respectivamente). El monitoreo de la pluma creciente del trazador se realizó hasta unos 2,5 Km. contados a partir del punto de inyección (a través de contajes de radiación o concentración radiactiva, proporcional a la concentración del colorante mezclado con el radioisótopo) y el procesamiento de la información obtenida con las ecuaciones derivadas de la aplicación del modelo que explica la dilución progresiva.

En ambas campañas se emplearon dos embarcaciones: una de 12 toneladas en la que se instalaron las sondas, con el sistema de adquisición de datos y el personal del IPEN, y otra más pequeña (4 toneladas), para facilitar la inyección de trazador.

El monitoreo del trazador se realizó en forma continua, utilizando tres sondas de detección de radiación gamma. Se obtuvieron registros de contaje de radiación en cuentas por segundo (cps), en las tres sondas o detectores instalados. Para cada sonda de detección se obtuvieron registros y se identificaron los valores máximos de dichos registros, los que sirvieron para determinar los parámetros del transporte. Estos valores máximos y los datos restantes del monitoreo sirvieron para perfilar las curvas isorradas o de isoconcentración, las que se muestran en la gráfica.

Combinando las ecuaciones 5, 8 y 9 con la ecuación 11:

$$C_{\text{máx}} = \frac{M}{(4\pi t) \sqrt{D_x D_y}} \quad (14)$$

siendo M la masa inyectada de trazador por unidad de longitud. La masa inyectada se puede reemplazar por la actividad del trazador radiactivo (A), tendríamos:

$$C_{\text{máx}} = \frac{A}{(4\pi t) \sqrt{D_x D_y}} \quad (15)$$

, que es la ecuación que se empleó en nuestros cálculos para la concentración radiactiva máxima en el pico de la pluma trazadora.

Por otro lado, combinando las ecuaciones 11 y 13, se obtiene:

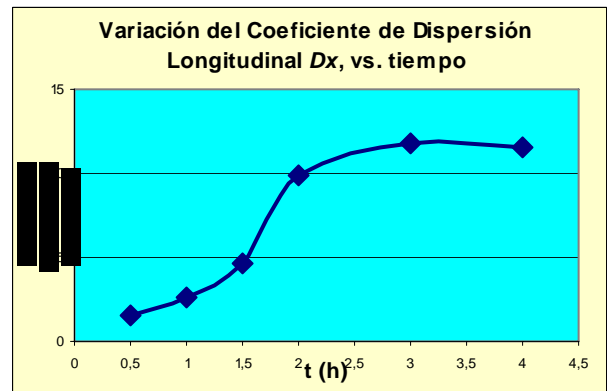
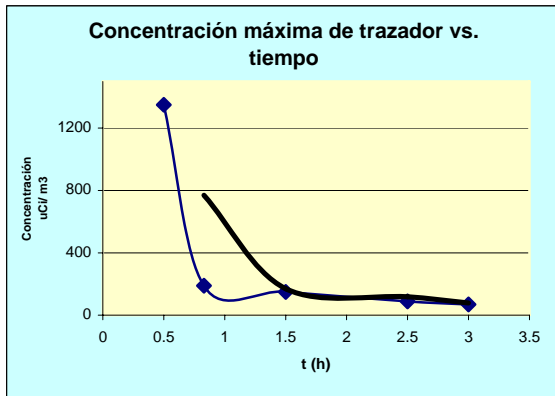
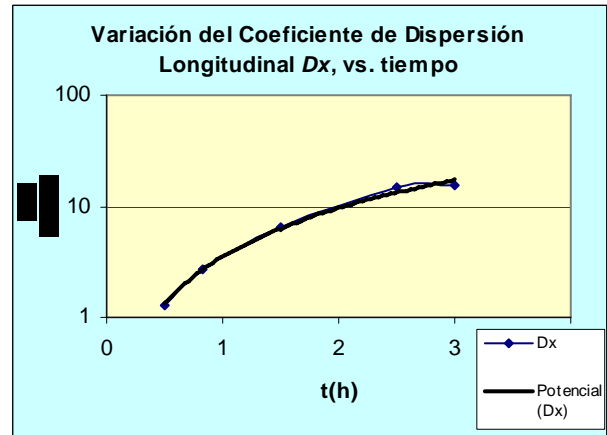
$$\frac{a}{b} = \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \quad (16)$$

y entonces tendremos:

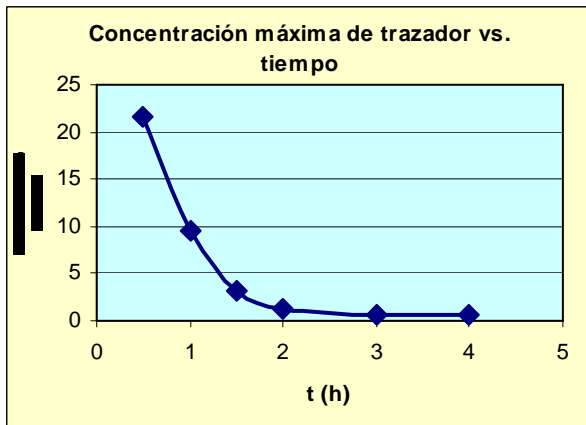
$$\frac{a^2}{b^2} = \frac{D_x}{D_y} \quad (17)$$

Estas tres últimas ecuaciones se utilizaron conjuntamente con la ecuación 15, para construir las figuras 1 a 4 que se aprecian a continuación.

ecuación que da una idea del volumen total dispersado en función del tiempo, tal como se observa en las Figura 5.



Figuras 3 y 4. Variación del Coeficiente de Dispersión Dx, en función del tiempo.



Figuras 1 y 2. Curva de concentración máxima de trazador en función del tiempo, 1ra. y 2da. Campañas.

Considerando la ecuación de la superficie de un elipsoide, se obtiene también:

$$A = \pi \sigma_x \sigma_y \ln \left(\frac{C_{\text{máx}}}{C} \right)^2 \quad (18)$$

Factores de dilución debido al difusor

Considerando que el difusor del emisario submarino, contribuye a mejorar las condiciones para una dispersión más efectiva, podemos aplicar la siguiente ecuación:

$$F_d = 10^{(t-t_0)m} \quad (19)$$

En donde:

- F_d = Factor de Dilución
- t_0 = tiempo base, hr.
- t = tiempo en el instante considerado
- $m = 4/3$, para el caso de un Coeficiente de Difusión variando de acuerdo a la Ley de los Cuatro –Tercios.

Tabla 1. Estimación de los Factores de Dilución, 1ra. y 2da. Campañas.

t_0 (h)	t (h)	$t - t_0$ (h)	F_d
0.17	0.50	0.33	3
0.17	0.83	0.67	8
0.17	1.50	1.33	60
0.17	2.50	2.33	1288
0.17	3.00	2.83	5934

t_0 (h)	t (h)	$t - t_0$ (h)	F_d
0.0	0.5	0.5	4.6
0.0	1.0	1.0	21.5
0.0	1.5	1.5	100
0.0	2.0	2.0	464.2
0.0	3.0	3.0	10000
0.0	4.0	4.0	215443

4. Análisis

En la 2da. Campaña se ha confirmado una mejora significativa, tanto a nivel de los coeficientes de dispersión como a nivel de desplazamiento del campo de agua residual; esta vez simulado desde el punto previsto de descarga del nuevo emisario. Los coeficientes de dispersión resultan mejorados con respecto a las mediciones de la primera campaña y las curvas de isoconcentración del desplazamiento de la pluma trazador conjuntamente con las mejoras operativas que tendría el nuevo difusor, confirman que se dan las condiciones para lograr una dilución muy grande de las descargas, sin comprometer al medio ambiente y a la población. La forma de esta pluma es muy similar a la que fue obtenida en la campaña anterior, dado que nuevamente predomina la dispersión longitudinal sobre la transversal. Esta característica se comprueba visualmente durante el barrido de la pluma, así como también en los cálculos y en el mapa de desplazamiento que se anexa.

5. Conclusión

La orientación promedio de la pluma trazadora desde el punto de descarga del emisario fue el Norte, con un ligero viraje de algunos grados en la dirección oeste después de cinco horas de mediciones, lo

que demuestra que no existe peligro de contaminación de las descargas hacia la zona costera.

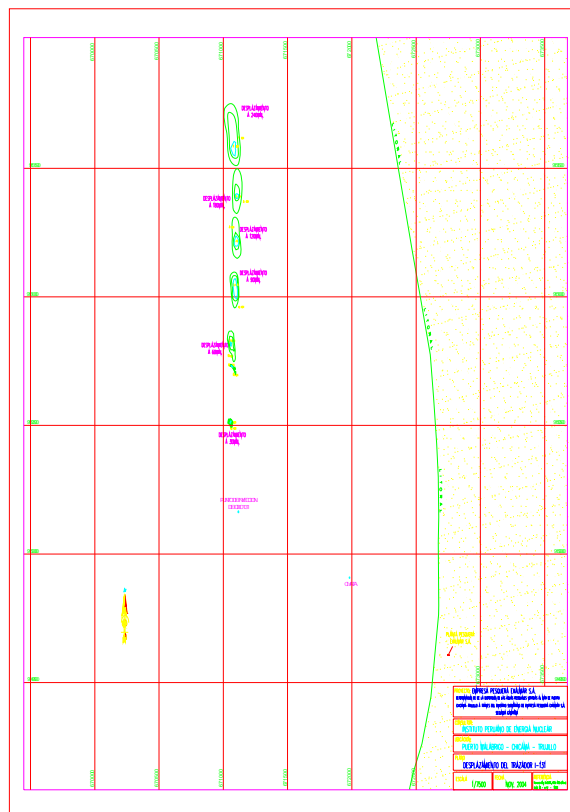


Figura 5. Desplazamiento del trazador.

Referencias

- 1) Instituto Peruano de Energía Nuclear. Determinación de la Dispersión de las Aguas Residuales Vertidas al Mar de Puerto Chicama - Trujillo a través del Emisario Submarino de la Empresa Pesquera Exalmar S.A.(2004).
- 2) Instituto Geográfico Nacional. Plano de Chocope, Perú 1055 (16-e). J 631 Edición 2 – IGN, actualizado en 1998.