

# ESTUDIOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES VERTIDOS EN EL MAR DE CHIMBOTE

Sebastián C.<sup>(1)</sup> [csebastian@ipen.gob.pe](mailto:csebastian@ipen.gob.pe), Maghella G.<sup>(1)</sup> [gmaghella@ipen.gob.pe](mailto:gmaghella@ipen.gob.pe),  
Mamani E.<sup>(1)</sup> [emamani@ipen.gob.pe](mailto:emamani@ipen.gob.pe), Maguiña J.<sup>(1)</sup> [jmaguiña@ipen.gob.pe](mailto:jmaguiña@ipen.gob.pe)

(1) Dirección de Aplicaciones – IPEN / Lima - Perú

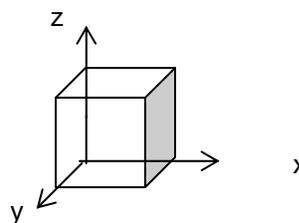
## RESUMEN

El reporte incluye los estudios de los fenómenos de dispersión de contaminantes en el radio de influencia del futuro emisario submarino para la ciudad de Chimbote (a 5 km de la Bahía), en tres diferentes condiciones de marea (alta, media y baja), utilizando dos tipos de trazadores; un trazador colorante fluorescente (Rodamina B) y un trazador radiactivo (I-131), mezclados homogéneamente a fin de determinar las características de la pluma trazadora durante su desplazamiento luego de ser inyectada en un punto predeterminado, teniendo en cuenta la descarga propuesta para el futuro emisario. 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 coeficientes de dispersión que predeterminan la dispersión de los contaminantes vertidos a través del emisario, en las tres condiciones de marea establecidas.

## 1. CONTENIDO

La determinación experimental in-situ de los coeficientes de dispersión longitudinal ( $D_x$ ), transversal ( $D_y$ ) y vertical ( $D_z$ ), en aguas superficiales es generalmente realizada a través del empleo de trazadores radiactivos y fluorescentes. La gran dilución experimentada por el trazador en este tipo de aplicación unida a la alta sensibilidad de detección y al relativo bajo "background" (concentración natural del trazador), son los factores determinantes en el empleo casi exclusivo de trazadores artificiales, tanto colorantes fluorescentes como radioisotópicos, en los países desarrollados. Tal premisa se basa en la distribución espacial que

se origina a partir de un cubo elemental como en el mostrado en la figura 1.



Cuando las aguas residuales se descargan en aguas superficiales, estuarios o en el mar y se alcanza el equilibrio de densidad, la mezcla efluente-agua empieza a dispersarse bajo la influencia de la difusión a medida que la "nube" es transportada por las corrientes. Este proceso resulta en un alargamiento del campo de agua residual y un incremento en la dilución del efluente denominada dilución progresiva.

Para llevar a cabo los estudios de dispersión, se establece una ecuación diferencial parcial para dicha dispersión:

$$-D_x \left[ \frac{\partial C}{\partial x} \right]_{x=0} dy \cdot dz \cdot dt$$

y soluciones generales para el caso de 1, 2 y 3 dimensiones

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

Las determinaciones prácticas de los coeficientes de dispersión se pueden hacer por un análisis de varianza de la concentración,  $\sigma_i = \sqrt{2D_i t}$ , en cada una de las correspondientes direcciones. Asimismo, considerando que la concentración máxima en el caso

tridimensional está en el centro de la masa de trazador se tiene:

$$C_{\text{máx}} = \frac{M}{(2\pi)^{3/2}(\sigma_x\sigma_y\sigma_z)}$$

Los datos para la difusión lateral, longitudinal, y transversal desde el centro de masa del trazador se deben obtener simultáneamente. La dirección de los ejes del volumen elipsoidal debe ser compatible con líneas de isoconcentración. Teniendo en cuenta el elipsoide de isoconcentración con ejes a, b, c:

$$\frac{x'^2}{a^2} + \frac{y'^2}{b^2} + \frac{z'^2}{c^2} = 1$$

se obtiene:

$$V = \frac{2}{3}\pi abc = \frac{2\pi}{3}\sigma_x\sigma_y\sigma_z \left[ \ln\left(\frac{C_{\text{máx}}}{C}\right)^2 \right]^{3/2}$$

Con estas ecuaciones, se determinan 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.

Los trabajos de campo, realizados en tres campañas, involucraron la inyección de una cantidad trazadora (mezcla de un colorante y un radioisótopo) en la zona propuesta para la descarga del futuro emisario, el monitoreo de la pluma creciente del trazador hasta unos 2,5 km contados a partir del punto de inyección (a través de contajes de radiación o concentración radiactiva, que son proporcionales 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 todas las campañas se utilizó un bote de 13 pies y 3 toneladas, el cual sirvió para la inyección de trazador y transporte de algunos equipos y materiales empleados. Cada medición se inició con la inyección de 5 kg de colorante mezclados y homogenizados con aproximadamente 600 mCi de Iodo - 131 como radiotrazador y con agua de mar hasta completar un volumen de 40 litros en un recipiente adecuado. La inyección del trazador se realizó regando una franja de aproximadamente 5 m, en el lugar determinado

(próximo al punto de descarga del emisario propuesto), en las tres condiciones de medición.

El monitoreo del trazador se realizó en forma continua y según los sentidos longitudinal, transversal\* y vertical de la pluma o nube dispersa de trazador, utilizando tres sondas de detección de radiación gamma. Se obtuvieron registros de contaje de radiación en cuentas por segundo (cps), las mismas que guardan relación con la concentración radiactiva detectada. Para cada sonda de detección se obtienen registros y se identifican los valores máximos de dichos registros, los que sirvieron para determinar los coeficientes de dispersión. Estos valores y los datos restantes del monitoreo sirvieron para perfilar las curvas isorradadas o de isoconcentración.\* El barrido transversal se efectuó realizando hasta 6 pasadas perpendiculares al eje longitudinal de la nube trazadora, a fin de encontrar puntos que permitiesen construir mejor las curvas de isoradiactividad o de isoconcentración de colorante.

Las curvas de isoconcentración obtenidos por monitoreo de la nube trazadora para las tres campañas de medición de la dispersión, se ilustran en los mapas de desplazamiento.

Para la primera campaña, se observó que la nube se orientó, como la primera, hacia el noroeste. Después de casi dos horas la nube se partió y fue dividiéndose en porciones más difíciles de identificar.

En la segunda campaña, la nube se orientó hacia el noroeste avanzando más o menos paralelamente a la costa. Después de una hora, fue ampliándose, con una buena dispersión transversal y longitudinal.

Para la tercera campaña, se observó que la nube avanzó hacia la costa, al punto denominado Isla Blanca, predominando la dispersión longitudinal.

En lo que respecta a la determinación de los Coeficientes de Dispersión, se observa que en los tres casos de marea estudiada predomina la dispersión longitudinal y esta sobre la vertical. La dispersión longitudinal tiende a disminuir ligeramente a medida que aumenta la marea, mientras que la dispersión transversal aumenta un poco más. En todos los casos la dispersión vertical es muy baja, por lo que el estudio se podría ajustar también en un modelo bidimensional.

Los valores de los coeficientes de dispersión tienden a disminuir con el tiempo en todos los casos.

En cuanto a los Factores de Dilución debido a la acción del futuro difusor, se observan valores confiables, aspecto que contribuirá a lograr una dispersión más efectiva cuando entre en operación el emisario submarino.

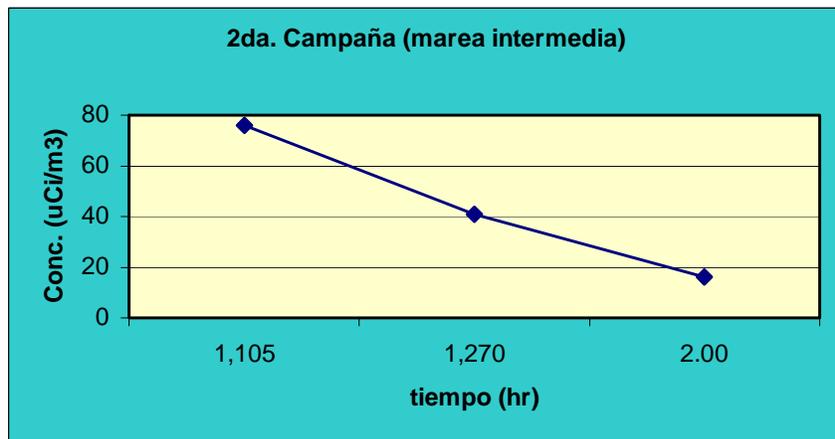
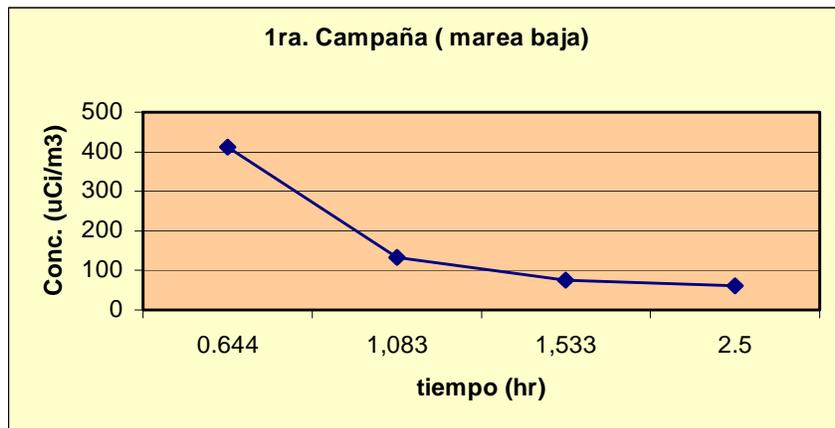
La utilidad de las derivaciones matemáticas utilizadas en este estudio, ha quedado demostrada con resultados lógicos y confiables, tanto para los coeficientes de dispersión como para las curvas de isoconcentración del desplazamiento de la nube trazadora, en las tres condiciones de marea estudiadas.

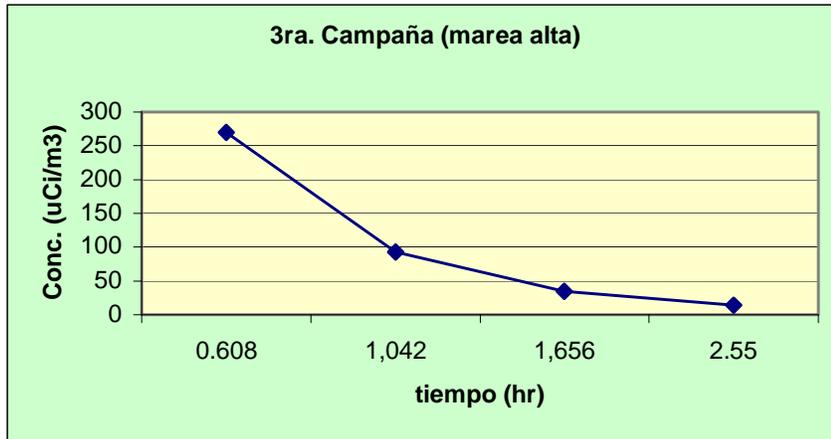
En las tres condiciones de marea estudiadas, la nube de trazador no se acerca a la zona de captura de mariscos sino por el contrario se desplaza hacia el noroeste en los casos de marea intermedia y de marea baja. En el caso

de marea alta, la nube de trazador tiene un desplazamiento diferente ya que se orienta hacia la costa de la bahía, encontrándose con la "Isla Blanca" donde se estanca y presenta una dilución progresiva.

Teniendo en cuenta el punto de descarga propuesto para el futuro emisario, no hay riesgo de contaminación de la zona de captura de mariscos en las tres condiciones de marea estudiadas.

Los resultados obtenidos como respuesta al seguimiento de la "nube trazadora" permitieron obtener los coeficientes de dispersión  $D_x$ ,  $D_y$  y  $D_z$ , que establecieron las correlaciones de dispersión y difusión de los contaminantes que serían vertidos a través de un emisario, en tres condiciones de marea establecidas, resaltándose el hecho que ante la eventual operación de dicho emisario, la "nube" contaminante no afectaría al ecosistema.





## 2. REFERENCIAS

- [1] Roldao, Joao S.F.; Goretkin, Guilherme. "Calibracao de Modelos matematicos Aplicaveis ao Simulacro do Transporte e Dispersao em Aguas Costeiras. Uso de Tracadores Fluorescentes".
- [2] Menegassi, J. et al. "Previsao da Poluicao devida ao Futuro emisorio Cloacal da Cidade de Porto Alegre". – Departamento Energia Nuclear – UFRJ - 1973
- [3] Salas, H. "Emisarios Submarinos, Enfoque General, Conceptos Básicos de Diseño",- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente (CEPIS), Lima - 1994
- [4] Diachisin, Alex. "Dye Dispersion Studies" – Journal of the sanitary Engineering Division.- Proceedings of the American Society of Civil Engineers.
- [5] Brown and Caldwell Consulting Engineers. "Preliminary design and marine Survey". Journal of Marine Environment.