

CONCEPTOS GENERALES SOBRE EMISARIOS SUBMARINOS Y SUS EFECTOS

Luis M. Murillo B.¹

RESUMEN

Se presentan algunos conceptos fundamentales del emisario submarino, su función y características del diseño. Se aplican los conceptos al emisario submarino de la ciudad de Limón en la costa caribeña de Costa Rica. Se hace énfasis en el peligro latente de que parte de los desechos lleguen a la dársena del muelle de Limón actualmente en desarrollo arruinando el potencial turístico del atracadero y las playas cercanas.

SUMMARY

Basic concepts of submarine outfalls are presented. Concepts are applied to the outfall planned for Limón on the Caribbean coast of Costa Rica. Risks of possible lack of dilution and the potential for spreading of the effluent to nearby dock and tropical beaches are discussed.

Introducción

En general los emisarios submarinos se construyen porque se quiere desechar residuos al mar de forma que no se afecte grandemente la calidad del agua y las actividades humanas en general. Es decir, se ha de evitar la contaminación irreversible y dañina. El concepto básico más importante es el de la **dilución local**. Es decir, el grado de mezcla rápido y turbulento entre las aguas negras descargadas a profundidad y el agua marina. Esto ocurre cerca del punto de descarga, a una escala comparable con la profundidad y depende de los factores físicos que interactúan como las corrientes, las olas, los vientos, la turbulencia, la temperatura, el tipo de descarga, su densidad, su velocidad de salida etc, etc.

Luego de la dilución o mezclado local, las aguas se dispersan regionalmente transportadas por las corrientes, las olas y los vientos y llegan, aún más diluidas, a las costas y atracaderos cercanos. Evitar la contaminación significa bajar suficientemente esta concentración final de los desechos.

Para estimar el grado de contaminación resultante de todos estos complejos fenómenos en un sitio particular, en la "Ingeniería del Mar" o "Ingeniería Oceánica" se desarrollan **modelos matemáticos** y se hacen **cálculos dispersivos**. El objetivo seguido aquí es introducir al lector interesado a estos procedimientos modernos de ingeniería ambiental marina y a su evaluación cuantitativa aunque, obviamente, la correcta aplicación depende de la fibra moral y del verdadero compromiso con el ambiente que se asuma y no de consideraciones políticas o personalistas. En algunos países europeos y norteamericanos estos procedimientos de modelaje y cómputo ingenieril son ciertamente obligatorios para la obtención de los permisos de cons-

trucción y existen controles continuos que verifican y, de ser necesario, calibran los resultados reales. Compañías enteras se ocupan de estos estudios de Ingeniería Oceánica y existen métodos cada vez más capaces que reproducen efectos turbulentos con mayor precisión y exactitud.

En centroamérica esta parte de la ingeniería costera, como especialidad de la ingeniería oceánica, se encuentra en desarrollo y el autor espera despertar el interés por el tema desde un punto de vista técnico-profesional y científico.

La Zona de Mezclado Local y el Emisario

El agua sucia, que se quiere descargar al mar, se transporta por las cañerías de la ciudad colectándola, tratándola y desechándola al mar mediante un emisario, en un sitio escogido para causar el **mínimo efecto** en el medio. La tubería submarina, de descarga final al mar, se llama **emisario submarino** y consta de un tubo de descarga, que no es necesariamente recto ni horizontal y de un difusor.

El agua descargada tiene su propia velocidad y densidad. El agua marina también. Sin embargo, el agua descargada generalmente es más liviana que el agua del mar y se mezcla con ella absorbiéndola en la nube de descarga local (Ver Figura No. 1) que sale del difusor y se dispersa localmente entre el fondo y la superficie del mar. Estos procesos, que ocurren en la inmediata vecindad del difusor, se llaman **dilución local**. El fluido sale del difusor del emisario por uno o varios orificios y se propaga vertical y horizontalmente en forma de un jet que crece en volumen debido al arrastre de agua marina absorbida por efectos similares a la ósmosis (*entrainment*).

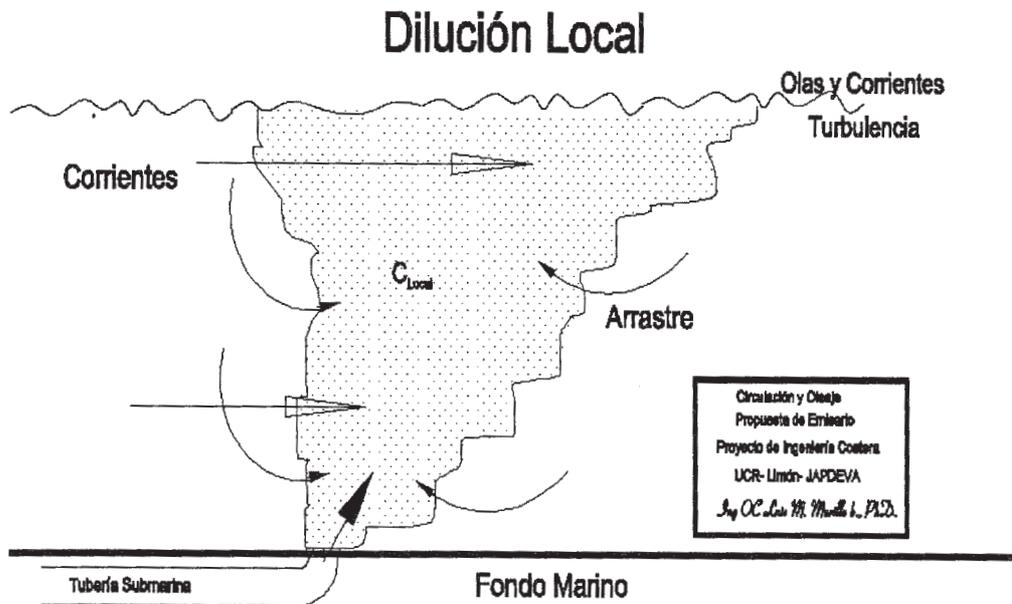


Fig. 1. Dilución local del Emisario.

Esta dilución local (C_{local}) se puede modelar con procedimientos matemáticos y dimensionales verificados mediante experimentos de laboratorio como lo hizo Roberts en 1989 en varios artículos técnicos de avanzada (Roberts *et al.*, 1989 I, II y III). Recientemente Murillo (1998) tomó estos procedimientos de cálculo en su forma pura y matemática y los aplicó al emisario de Limón mediante el desarrollo de un modelo matemático interactivo y gráfico para calcular la dilución local, con la ayuda de la computadora personal. Se desarrolló un modelo matemático de la dilución local que corre en la computadora y mediante interfaces gráficas se presentan los resultados de los cómputos de forma gráfica e inmediata en la pantalla. Si se conocen las características físicas del emisario y de la zona, se pueden estimar de esta forma los parámetros de la dilución local. El más importante es el grado de dilución o mezcla de las aguas descargadas. Una sección del modelo computa las ca-

racterísticas hidráulicas de la tubería y del emisario, otra computa el valor de la dilución neta. Para estas predicciones se requiere de datos como diámetro, volumen, material del tubo, fricción, detalle del canal, topografía submarina y tipo de fijación submarina, (Ver cálculos tentativos en artículo técnico, Murillo, 1998). De forma obvia se requiere conocer el diámetro de las salidas, la velocidad, los espacios entre los salientes, la longitud de los tubos verticales (raisers...) y su diámetro.

La dilución requerida en la dársena y en todas las zonas vecinas de 10 metros o menos es, según la Agencia de Protección Americana (EPA, Baumgartner, D.J.; Frick, W.E.; Roberts, P.J.W; 1994), al menos de 100 a 1, al menos la mitad del tiempo, con el conteo de culeiformes no excediendo 70 en 100 ml más del 10 por ciento del tiempo.

Los parámetros ambientales de la descarga y a la salida de las aguas que se desagüen en el difusor, deben ser conocidos

cuantitativamente también, como por ejemplo, niveles de BOD en 30 días (5 días), suspendidos totales etc. Todo esto asumiendo que no haya tóxicos (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, etc..) que, en la zona de Limón, es una hipótesis probable. Las grasas no deben exceder 10 mg/l el 50 % del tiempo, y jamás el límite de 15 mg/l. Particulados y flotantes no deben exceder 2 mg/l secos, suspendidos no más del 60 mg/l, y la turbidez no superar 50 Jks. El PH debe estar entre 6 y 9 todo el tiempo (Grace R., 1978; Wood, Y.R.; Bell, R.G.; 1993).

Para estas evaluaciones técnicas, que se deben hacer para el sitio del emisario, se requiere conocer la densidad del agua marina en partes por mil o la salinidad y temperatura en superficie y fondo, las dimensiones del difusor (largo, diámetro etc), corrientes máximas y mínimas hacia el sur y el norte, ángulo relativo al difusor etc. Para las predicciones se requieren los valores de descarga que son los valores que rigen al inicio del tubo de descarga luego del tratamiento primario ejecutado.

Estudios de Hidrodinámica Ambiental

Las olas, las mareas y los niveles extraordinarios del mar son muy importantes en las evaluaciones del modelo de computo de la dilución local y es por esto que en el artículo de Murillo 1998 se desarrollaron procedimientos semiautomáticos para estos cálculos (Ver artículos de Murillo 1983-1998). Aspectos de niveles del mar extraordinarios (Storm Surge), que pueden ocurrir en los años de operación del emisario, deben ser estimados de acuerdo a procedimientos válidos y técnicos y no los personales y políticos (SPM, CERC 1984, Wiegel 1964). No tiene

ningún sentido construir una facilidad tan costosa como esta a ojo y antojo de buen cubero para que falle en la primera tormenta marina y es sabido (Murillo 1997(i)) que a la zona de Limón llegan comúnmente olas mayores de 3 m que pueden llegar, según estimados iniciales del autor, en casos extremos a 5 o 7 metros. Las evaluaciones de fuerzas sobre la cobertura (roca, cascajo) de la tubería que, generalmente, cuando hay olas grandes, debe ser enterrada, se estiman con procedimientos de ingeniería oceánica apropiados y validados experimentalmente. En el caso de Limón, Murillo 1998, usando análisis dimensionales y experimentales del Cuerpo de Ingenieros Costeros Norteamericano o CERC, estimó que se hace necesario usar cascajo pesado ($1/2$ ton) para darle estabilidad a la tubería que debe ir necesariamente enterrada a una profundidad apropiada dadas las olas normalmente posibles en la zona de Limón.

Los estudios de olas, y sus efectos en el emisario, son muy importantes pues estudios (Muellenhoff y Slotta, 1971) demuestran que estas pueden dañar la tubería mal puesta. Además, durante los estudios de maestría del autor, y por conversaciones con el entonces profesor guía, director de Ingeniería Oceánica y regente del Laboratorio de Investigaciones Hidráulicas de la Universidad Estatal de Oregón, Dr. Larry Slotta, se sabe que una tubería vibra a frecuencias dobles y resuena con el oleaje incidente que la puede dañar grave e irreversiblemente.

En el modelo desarrollado para Limón por el autor, se computan los niveles del agua horariamente, cada quince días, mediante cálculos armónicos para planificar las operaciones navales y se usan procedimientos de ingeniería costera válidos y probados experimentalmente

en el ambiente norteamericano e internacional, para estimar las olas mayores o extremas que pueden llegar a la zona de Limón en el futuro. Se manufacturan a su vez unas tablas anuales de las alturas de la marea. Estas tablas contienen las

horas y las alturas de las mareas en centímetros y con fechas precisas (error de 10 min). El modelo puede también hacer predicciones sobre las olas máximas posibles a ocurrir en el futuro en las diferentes épocas del año.

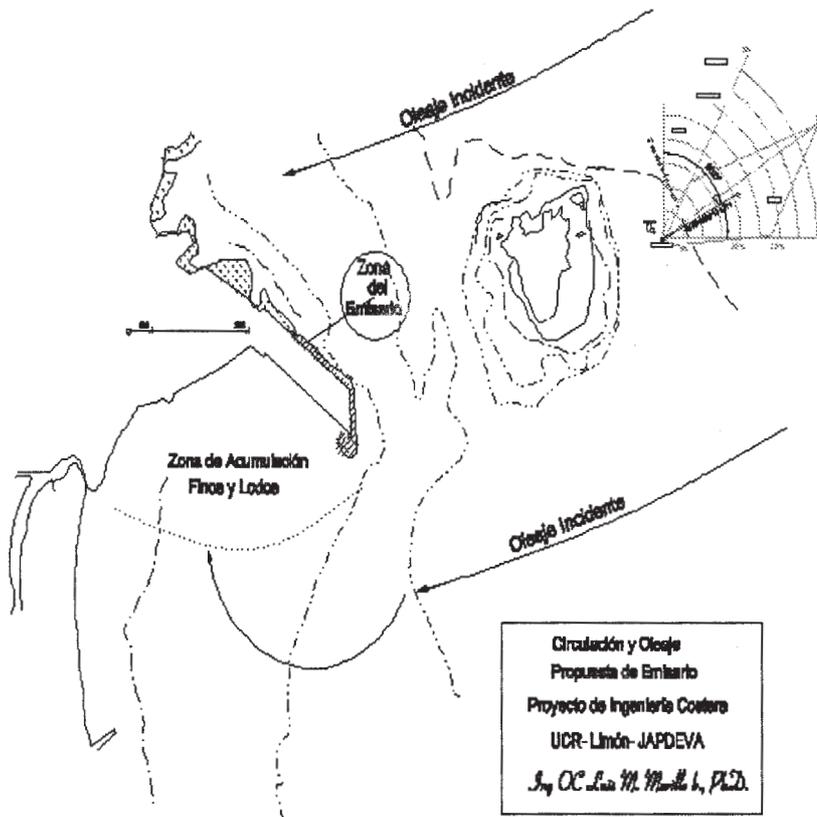


Fig. 2. Condiciones generales del sitio del Emisario Propuesto Dilución Local del Emisario.

Estado General del Sitio

El sitio escogido (ver Figura No. 2) posee características propias con olas dominantes provenientes del noroeste y las corrientes dominantes casi paralelas a los perfiles del fondo. La corriente más importante y dominante fluye hacia el sudeste

te con velocidades que rara vez alcanzan el nudo (55 cm/s). Sin embargo, a pesar de esta baja magnitud, las corrientes poseen vorticidad variable debido al cambio de dirección y a efectos topográficos y geostroficados. La corriente hacia el norte se desarrolla parcialmente y es más débil que la corriente dominante hacia el sudeste.

Sin embargo las dos corrientes cambiantes en el tiempo configuran un **vórtice temporalmente inestable** que tiende a acumular los lodos finos y en suspensión en la zona parcialmente protegida de la dársena de Limón. Este vórtice tenderá a depositar residuos flotantes, como los producidos por el emisario propuesto en la dársena con los consabidos malos olores e impedimentos al turismo e higiene ambiental. Sin embargo, el grado de contaminación final puede ser menor y deberá estudiarse con modelos y predicciones cuantitativas de ingeniería oceánica algún día.

Términos de Ingeniería Costera y Naval:

Dársena:

Zona de maniobra, entrada, amarre, carga, volteo y otras operaciones navales típicas de un puerto comercial. Esta comprende el área de ingreso y atraque y generalmente es una zona protegida de las olas y con corrientes débiles. La dársena debe tener una profundidad o calado apropiado para los barcos que se espera servir en el puerto.

Vórtice:

Es un sistema de corrientes que giran de tal forma que un barco expuesto al vórtice tiende a rotar con la corriente y durante el ciclo de marea. Los vórtices pueden ser positivos si rotan en el sentido contrario a la rotación de las agujas del reloj (vistas desde arriba) o negativos si rotan en el sentido opuesto. Los vórtices son importantes para definir zonas de sedimentación o erosión y las zonas de acumulación y movimiento de los afluentes contaminantes.

Nota

1. PhD en Ocean Engineering, Univ. de Rhode Island 1992. M Sc. Coastal Engineering and Physical Oceanography. Oregon State Univ. 1982.

Bibliografía

- Baumgartner, D.J.; Frick, W.E.; Roberts, P.J.W.; 1994: *Dilution Models for Effluent Discharges*. EPA, Newport, Oregon.
- Grace R., A.; 1978: *“Marine Outfall Systems: Planning, Design and Construction”*, Prentice-Hall, Inc, N.J., 599 pl.
- Murillo B., L.M., 1983: *“Un modelo para el régimen de intercambio dispersivo del Estero de Puntarenas”*. *Tec. en Marcha*. Vol. VI(2). Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- 1993: *Un modelo para predecir mezclado en estuarios estratificados: Ingeniería*, UCR, Vol. 2 (1), 1992
- 1997: *Ondas Estacionarias en el Pacífico Tico y sus Aplicaciones a la Ingeniería de Costas. Tec. en Marcha*. Vol 13(1).
- 1997a: Informe Final sobre el tema: *“Estudios Oceanográficos, Climáticos y Náuticos a Fin de Determinar la Viabilidad de Construcción de una Nueva Terminal Portuaria en el Puerto de Moín”*. N. 6, RECOPE, 117 pl, Proyecto Cooperativo UCR-RECOPE para evaluar resultados de las Mediciones Oceánicas hechas por Svasek en Moín, Marzo 1996.
- 1997b: *Distribuciones y Extremos de Oleaje*. Reporte N. 5, RECOPE, 30 pl, Proyecto Cooperativo UCR-RECOPE para evaluar resultados de las Mediciones Oceánicas hechas por Svasek en Moín, Marzo 1996.
- 1997c: Análisis de Resultados presentados en adendum 23/10/1997 al Reporte Final: *“Estudios Oceanográficos, Climáticos y Náuticos a Fin de Determinar la Viabilidad de Construcción de una Nueva Terminal Portuaria en el Puerto de Moín”*. Reporte N. 4, RECOPE, 28 pl, Proyecto Cooperativo

- UCR-RECOPE para evaluar las Mediciones Oceánicas de Svasek en Moín, Marzo 1996.
- 1997d: *Análisis de Resultados Complementarios Presentados en el Reporte Final con Métodos de Análisis de Oleaje Mediante Métodos Espectrales*. Reporte N. 3, RECOPE, 97 pl, Proyecto Cooperativo UCR-RECOPE para evaluar resultados de las Mediciones Oceánicas hechas por Svasek en Moín, Marzo 1996.
- 1997e: *Playas, Corrientes, Refracción, Difracción y Distribuciones de Oleaje Medido*. Reporte N. 2, RECOPE, 30 pl, Proyecto Cooperativo UCR-RECOPE para evaluar las Mediciones Oceánicas hechas por Svasek en Moín, Marzo 1996.
- 1997f: Análisis de Resultados del Proyecto: *"Harbour Extension Study Port of Moín"*. Reporte N. 1, RECOPE, 33 pl, Proyecto Cooperativo UCR-RECOPE para evaluar las Mediciones Oceánicas hechas por Svasek en Moín, Marzo 1996.
- 1997g: Reporte del Estado del Mar: *Olas, Mareas y Corrientes*. Puerto Nacional de Puntarenas, Costa Rica. Reporte No. 6 y Final. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, División de Obras Portuarias y Fluviales MOPT, Instituto de Puertos del Pacífico INCOP y la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica. 48 pl. Octubre 1997.
- Murillo L.M.,1998: *Calculando Dispersión Local para el Emisario Submarino de Limón, Costa Rica*. Tecnología en Marcha, ITCR (en publicación).
- Roberts, P.J.W., 1979: *Line Plume and Ocean Outfall Dispersion*. *J.Hyd. Div. ASCE* 105 No. HY5 May.
- Roberts, P.J.W., Snyder, W.H., Baumgartner, D.J., 1989: *Ocean Outfalls I. "Submerged Waste Field Formation"*. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 115, Jan.
- Roberts, P.J.W., Snyder, W.H., Baumgartner, D.J., 1989: *Ocean Outfalls II. "Spatial Evolution of Submerged Waste Field"*. *Jou. of Hyd. Engin. ASCE* 115, Jan.
- Roberts, P.J.W., Snyder, W.H., Baumgartner, D.J., 1989: *Ocean Outfalls III. "Effect of Diffuser Design on Submerged Waste Field"*. *Jou. of Hyd. Engin. ASCE* 115, Jan.
- Muellenhoff W.,P.; Slotta L., S., 1971: *Investigation of the Forces on Submerged Cylinder Due to Surface Water Waves*. 58-IEEE 71 Eng.. in the Ocean Environment Conference.
- SPM,1984: *Shore Protection Manual* (Manual de Protección y Diseño de Estructuras Costeras). Vols. I y II, Centro de Investigaciones de Ingeniería Costera, Coastal Engineering Research Center, CERC, Vicksburg, Mississippi, USACE.
- Wiegel R., L., 1964: *Oceanographical Engineering*. Prentice Hall, INC., N.J., 532 pl.
- Wood, Y.R.; Bell, R.G.; (1993): *Ocean Disposal of Waste Water*. *Advances Series in Ocean Engineering*, Vol. 8, World Scientific, Salem (USA).