SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA
XII CONGRESO CHILENO

Sociedad Chilena
de Ingeniería Hidráulica

Instituto Nacional
de Hidráulica - Chile

2

INFLUENCIA DE LA MAREA EN EL RIO BIO BIO

VICTOR AROS A. (1)
MARIA CRISTINA BRAVO B. (2)

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia que tiene la marea en río Bío Bío, para esto se recurrió al método implícito originalmente implementado computacionalmente para el estudio de crecidas. Este estudio se realizó considerando el tramo del río comprendido entre las secciones determinadas por el «Puente Viejo» (aguas arriba), y la «Barrera» (aguas abajo) ubicada en la desembocadura del río Bío Bío, longitud que comprenden aproximadamente los últimos 10 Km. del cauce. Para el estudio de la influencia de la marea en el río Bío Bío, se consideraron como condición de borde aguas arriba un caudal constante, y como condición de borde aguas abajo la cota oscilante de la marea teniendo como hipótesis que en la sección de aguas abajo se produce escurrimiento crítico cuando no hay influencia de ésta. Los resultados arrojados determinan que no habría influencia importante en la variación de las cotas del río debido a la marea más allá de los 2.5 Km aguas arriba de la sección de la barrera en la desembocadura.

1 Ingeniero Civil. Profesor Titular Universidad de Concepción
2 Ingeniero Civil .Universidad de Concepción

INTRODUCCION

La marea oceánica se origina en la fuerza gravitacional que ejercen la Luna y el Sol sobre la Tierra, las distintas posiciones que ocupan estos astros en el espacio, más las condiciones topográficas de la localidad costera donde se estudia esta influencia determinan el régimen de mareas que afectará a este lugar, y de como éste repercutirá en el río que desemboca al oceáno en esta zona. Puede intuirse fácilmente que en el caso de los ríos que desembocan en el mar, el flujo puede verse afectado por la acción de la marea en su desembocadura, la magnitud de esta alteración tanto en el sentido de la variabilidad de sus cotas debidas al fenómeno marino como a la alteración bioquímica de sus aguas es foco de interés para la Ingeniería Hidráulica. En este trabajo se estudio en una primera parte la variabilidad que se produce en las cotas de agua en la parte afectada por la marea, además de determinar hasta donde aguas arriba, desde una sección determinada en la desembocadura, se hace presente esta influencia.

Para estudiar el problema anteriormente planteado se recurre a las ecuaciones de flujo impermanente. Para esto se determinan tramos en el cauce del río donde se podrá plantear una ecuación de conservación de masa y una ecuación dinámica, de esta manera se construye un sistema de ecuaciones que será complementado con dos condiciones de borde, una aguas arriba y otra aguas abajo que será la condición oscilante del agua debida a la marea.

ECUACIONES DE FLUJO IMPERMANENTE

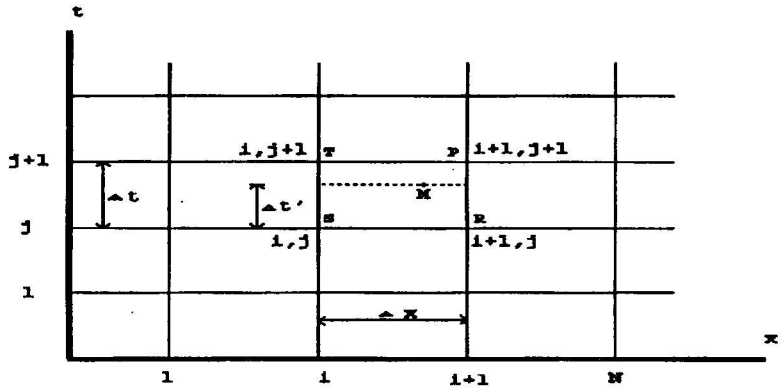
1) Ecuación de conservación de masa para un canal rectangular de ancho unitario.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q' = 0 \qquad (1)$$

2) Ecuación dinámica para flujo inestable.

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{V}{A}q' = g\,S_0 - g\,S_f - g\frac{\partial y}{\partial x} \qquad (2)$$

Considerando una malla rectangular no uniforme en el plano x-t, como se muestra en la ilustración 1. Las distancias a lo largo del tiempo representadas por las abcisas y el tiempo representado por las ordenadas.



Ilustr.1: Malla de puntos en el plano x-t

Las derivadas parciales en el punto de M, de una función α, en que α es la variable Q y A o V con respecto a x y t pueden ser expresadas como:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t}(M) = \frac{1}{\Delta t}\left(\frac{\alpha(P) + \alpha(T)}{2} - \frac{\alpha(R) + \alpha(S)}{2}\right) \qquad (3)$$

en que: $\frac{\Delta t'}{\Delta t} = \theta$ es el factor gravitante

El modelo de simulación numérica se obtiene cuando la derivada parcial de Q, A, etc. en la ecuación diferencial parcial son reemplazadas por la equivalente en diferencias finitas para $\theta = 1$, en tal caso se está en presencia de un método estable pudiendo ser fácilmente manejado para problemas de flujo inestable pasando por todos los rangos, es decir, de rápidamente a lentamente variado, no presentando problemas en fenómenos transientes.

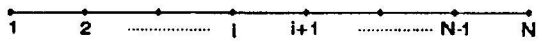
Finalmente las ecuaciones (1) y (2) expresadas en diferencias finitas (5)

$$Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1} + \frac{\Delta x_i}{\Delta t_j}\frac{1}{2}\left((A_{i+1}^{j+1} + A_i^{j+1}) - (A_{i+1}^{j} + A_i^{j})\right) - q(x,t)\,\Delta x_i = 0$$

$$\frac{1}{2}\left(Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j\right) + \left(\frac{(Q_{i+1}^{j+1})^2}{A_{i+1}^{j+1}} - \frac{(Q_i^{j+1})^2}{A_i^{j+1}}\right)\frac{\Delta t_j}{\Delta x_i} +$$

$$\frac{g}{2}\frac{\Delta t_j}{\Delta x_i}\left(H_{i+1}^{j+1} - H_i^{j+1}\right)\left(A_{i+1}^{j+1} + A_i^{j+1}\right) +$$

$$\frac{g}{4}\left(S_{f_i}^{j+1} + S_{f_{i+1}}^{j+1}\right)\Delta t_j\left(A_{i+1}^{j+1} + A_i^{j+1}\right) = 0$$



Ilustr.2: Esquema de las secciones en el cauce.

Si cada punto en la línea representada en la ilustración 2. esquematiza una sección determinada del cauce, en cada tramo intermedio podemos plantear una ecuacion de conservación de masa y una ecuación dinámica, luego si tenemos N secciones previamente determinadas tendremos, 2(n-1) ecuaciones propuestas, analizando las ecuaciones (5) y (6) se tiene que las incógnitas son **h** y **Q** de cada sección en el instante j+1, luego se tienen 2N incógnitas, para completar el sistema de ecuaciones que resuelve el problema se agregan las ecuaciones correspondientes a las condiciones de borde de aguas arriba y aguas abajo de la situación en estudio.

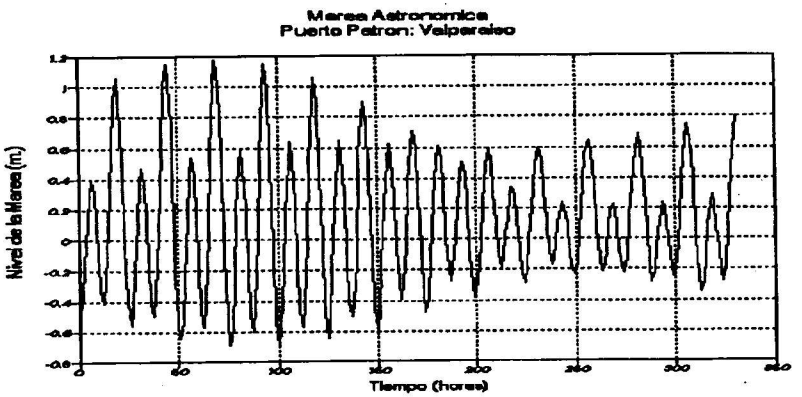
CONDICIONES DE BORDE

Para la condición de aguas arriba se asume un caudal constante, se consideran dos situaciones: (i) Un caudal medio mensual de los meses de Junio, Julio y Agosto de 1650 m³/s y (ii) Un caudal mínimo de 200 m³/s.

Para la condición de aguas abajo se hace la siguiente consideración: Se asume que cuando el río no esta afectado por la marea en la sección de aguas abajo, es decir, en ese momento el nivel de la marea es menor al nivel del río en esa sección, el nivel que alcanza el río es el de altura crítica, se supone esto debido a las condiciones topográficas y batimétricas que determinan la morfología de la desembocadura de este río. Luego para la condición de borde de aguas abajo se tiene un registro de mareas pronosticadas acotado inferiormente por la altura crítica del río para el caudal de estudio.

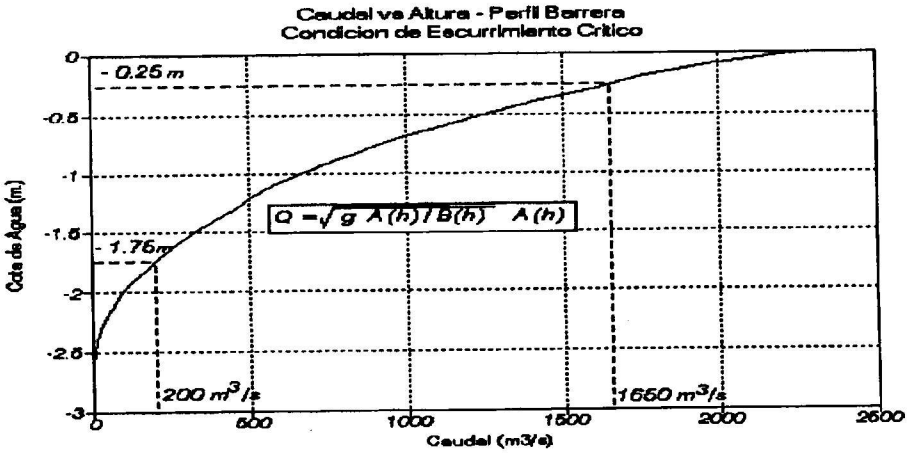
DATOS

1.- Registro de marea considerado:



Ilustr.3 Registro de marea pronosticada, utilizando como puerto patrón Valparaíso.

2.- Altura Critica:



Ilustr.4 Función de altura crítica Q vs h.

En la ilustración 4 puede verse que la altura crítica para un caudal de 200 m³/s corresponde a una cota de -1.15 m. y para 1650 m³/s la cota asociada es -0.25 m., (cotas IGM), luego, en el caso del caudal mínimo se tiene que siempre el nivel del río estará influenciado por la marea ya que el valor mínimo que ésta registra en la zona está entre -0.6 y -0.8 m., valores que están por encima de la altura crítica para este caudal, en el caso del caudal medio mensual de 1650 m³/s donde la altura crítica corresponde a una cota de -0.25 m. se dará el caso que durante algunas bajamares el río no recibirá la influencia de la marea.

ALGORITMO DE SOLUCION

El sistema de ecuaciones es resuelto a través del método de Newton Rapson.

El sistema a resolver se presenta en forma matricial:

$$
\begin{bmatrix}
\frac{\partial UB}{\partial Q_1} & \frac{\partial UB}{\partial h_1} & & & & & & & & & & & & \\
\frac{\partial C_1}{\partial Q_1} & \frac{\partial C_1}{\partial h_1} & \frac{\partial C_1}{\partial Q_2} & \frac{\partial C_1}{\partial h_2} & & & & & & & & & & \\
\frac{\partial M_1}{\partial Q_1} & \frac{\partial M_1}{\partial h_1} & \frac{\partial M_1}{\partial Q_2} & \frac{\partial M_1}{\partial h_2} & & & & & & & & & & \\
 & & \frac{\partial C_2}{\partial Q_2} & \frac{\partial C_2}{\partial h_2} & \frac{\partial C_2}{\partial Q_3} & \frac{\partial C_2}{\partial h_3} & & & & & & & & \\
 & & \frac{\partial M_2}{\partial Q_2} & \frac{\partial M_2}{\partial h_2} & \frac{\partial M_2}{\partial Q_3} & \frac{\partial M_2}{\partial h_3} & & & & & & & & \\
 & & & & \frac{\partial C_3}{\partial Q_3} & \frac{\partial C_3}{\partial h_3} & \frac{\partial C_3}{\partial Q_4} & \frac{\partial C_3}{\partial h_4} & & & & & & \\
 & & & & \frac{\partial M_2}{\partial Q_3} & \frac{\partial M_2}{\partial h_3} & \frac{\partial M_2}{\partial Q_4} & \frac{\partial M_2}{\partial h_4} & & & & & & \\
 & & & & & & \frac{\partial C_4}{\partial Q_4} & \frac{\partial C_4}{\partial h_4} & \frac{\partial C_4}{\partial Q_5} & \frac{\partial C_4}{\partial h_5} & & & & \\
 & & & & & & \frac{\partial M_4}{\partial Q_4} & \frac{\partial M_4}{\partial h_4} & \frac{\partial M_4}{\partial Q_5} & \frac{\partial M_4}{\partial h_5} & & & & \\
 & & & & & & & & \frac{\partial C_5}{\partial Q_5} & \frac{\partial C_5}{\partial h_5} & \frac{\partial C_5}{\partial Q_6} & \frac{\partial C_5}{\partial h_6} & & \\
 & & & & & & & & \frac{\partial M_5}{\partial Q_5} & \frac{\partial M_5}{\partial h_5} & \frac{\partial M_5}{\partial Q_6} & \frac{\partial M_5}{\partial h_6} & & \\
 & & & & & & & & & & \frac{\partial C_6}{\partial Q_6} & \frac{\partial C_6}{\partial h_6} & \frac{\partial C_6}{\partial Q_4} & \frac{\partial C_6}{\partial h_4} \\
 & & & & & & & & & & \frac{\partial M_6}{\partial Q_6} & \frac{\partial M_6}{\partial h_6} & \frac{\partial M_6}{\partial Q_7} & \frac{\partial M_6}{\partial h_7} \\
 & & & & & & & & & & & & \frac{\partial DB}{\partial Q_7} & \frac{\partial DB}{\partial h_7}
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix} dQ_1 \\ dh_1 \\ dQ_2 \\ dh_2 \\ dQ_3 \\ dh_3 \\ dQ_4 \\ dh_4 \\ dQ_5 \\ dh_5 \\ dQ_6 \\ dh_6 \\ dQ_7 \\ dh_7 \end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix} -RUB \\ -RC_1 \\ -RM_1 \\ -RC_2 \\ -RM_2 \\ -RC_3 \\ -RM_3 \\ -RC_4 \\ -RM_4 \\ -RC_5 \\ -RM_5 \\ -RC_6 \\ -RM_6 \\ -RDB \end{bmatrix}
$$

CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

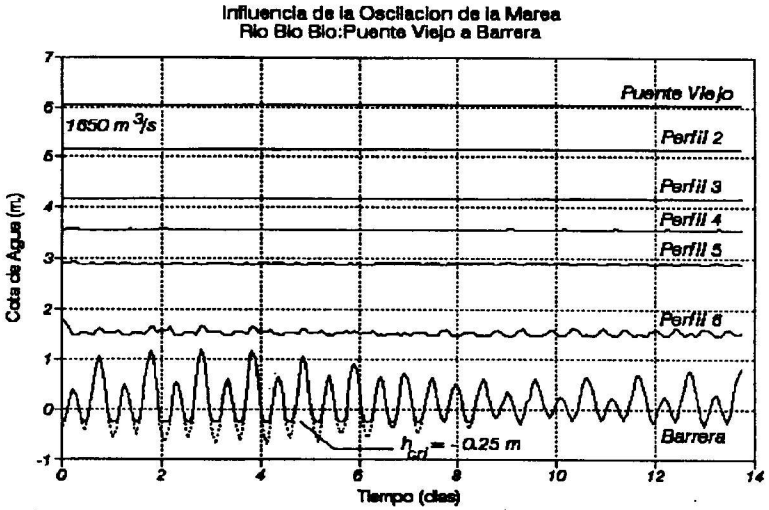
El tramo del río considerado se presenta en la ilustración 3 así como también los tramos en que se dividió el cauce.

Perfil	Denominación	Distancia al Pte. Viejo
1	Río Bio Bio en Pte. viejo	0
2	Río Bio Bio en Pte. Ferroviario	1600
3	Río Bio Bio en Pte. Nuevo	2950
4	Río Bio Bio sector Cerro Verde	3900
5	Río Bio Bio sector Los Huertos	5100
6	Río Bio Bio sector Peñuelas	7450
7	Río Bio Bio en Barrera Desembocadura	9850

RESULTADOS: INFLUENCIA DE LA MAREA EN LA DESEMBOCADURA DEL BIO BIO

a) Influencia de la marea para un caudal medio mensual de 1650 m³/s

Al ingresar el registro de mareas al problema se le está imponiendo al método la siguiente condición: en algún momento la altura en el perfil de la barrera estará determinada por la altura de la marea, es decir, se impone una condición de altura oscilante en esta zona.



Ilustr.5. Oscilación de la altura a través del tiempo en los perfiles del tramo en estudio

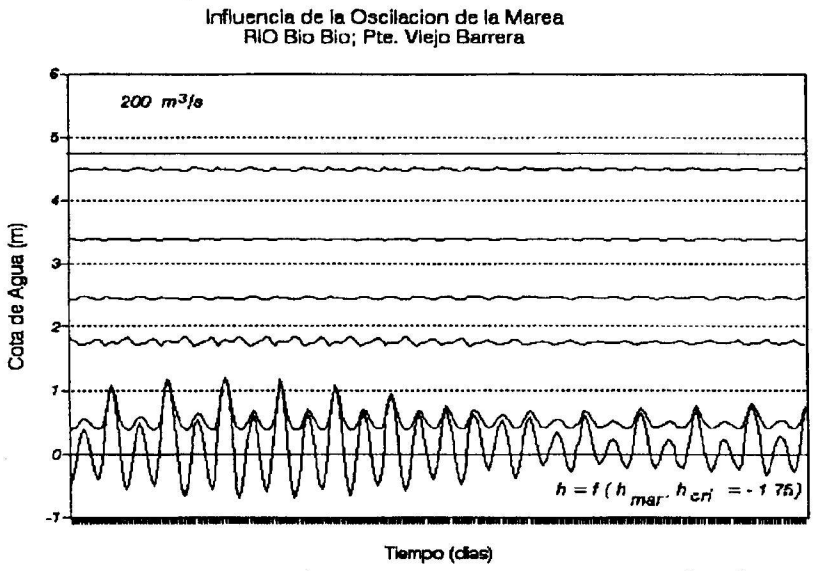
Como desde este punto y hacia aguas arriba existen otros perfiles donde la altura y el caudal se están calculando en cada intervalo de tiempo, podremos mostrar las alturas calculadas aguas arriba de la barrera debido a esta oscilación impuesta agua abajo. Es por esto que mostraremos los resultados en un gráfico altura versus tiempo, en donde se verá la variación de la altura a través del tiempo de todos los perfiles considerados desde la sección puente viejo a barrera en desembocadura.

La siguiente ilustración muestra la oscilación de la cota de agua en los perfiles considerados desde el puente viejo a la barrera en desembocadura:S

Hemos supuesto, por las características hidráulicas en la zona baja del río, que el menor nivel que se puede alcanzar, en el perfil de la barrera, es la altura crítica.

b) Influencia de la marea para un caudal de mínimo de 200 m³/s

A continuación se presentan los resultados de un análisis análogo al anterior pero esta vez para un caudal constante de 200 m³/s. En este caso, se hace la salvedad de que se está considerando que este escurrimiento se produce a todo lo ancho del río, lo que haría suponer que estaría escurriendo por el cauce una lámina muydelgada de agua, lo cual de hecho no sucede porque en este caso el río, en forma natural crea un subcauce, desarrollando meandros y grandes bancos de arena.



Ilustr.6 Oscilación de la cota de agua en el río

CONCLUSIONES

El objetivo de nuestro estudio era determinar la influencia de la marea oceánica en el río Bío Bío; esta influencia, como puede verse en los resultados expuestos en el Capítulo seis, está materializada en los 2400 metros desde la barrera en desembocadura río arriba para los dos casos considerados, tanto para el caso de un caudal medio de invierno como para la época de estiaje, ya que las perturbaciones considerables en la cota de agua se detectan hasta el perfil 6 de la barrera hacia aguas arriba.

Los valores numéricos correspondientes se indican en el siguiente cuadro resumen:

Perfil	Q = 200 m³/s			Q = 1650 m³/s		
	máx	mín	dif	máx	mín	dif
	(m)					
Puente Viejo	4.773	4.744	0.029	6.048	6.043	0.005
2	4.509	4.476	0.033	5.162	5.157	0.005
3	3.397	3.372	0.025	4.166	4.161	0.005
4	2.470	2.433	0.037	3.579	3.573	0.006
5	1.790	1.709	0.081	2.290	2.890	0.030
6	1.189	0.408	0.781	1.790	1.446	0.324
Barrera	1.180	-0.250	1.430	1.180	-0.250	1.430

Según un trabajo de terreno realizado por el Instituto Nacional de Hidráulica (INH, 1992) en el cual se realizaron mediciones del nivel de las cotas de aguas en el río, la influencia de la marea, según esto, estaría dentro del tramo correspondido entre los primeros 500 m. del cauce, desde la Barrera hacia aguas arriba, en este trabajo se menciona que se instalaron 3 mareógrafos, registrándose influencia de la marea sólo en el que estaba ubicado a 300 m. aguas arriba de un casino del Club de Caza y Pesca, estando los otros dos aguas arriba de este último, esta medición se realizó en época de estiaje. Los resultados del trabajo del INH determinan que los resultados presentados en este trabajo estarían aceptados por el lado de la seguridad, ya que la influencia entregada por los resultados del programa resulta algo mayor.

BIBLIOGRAFIA

1.) Bravo, M.C.; «Estudio de la marea en el Golfo de Arauco. Parte I: Influencia en el río Bío Bío.» Informe para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, 1995.

2.) Franco, A.; «Tides, Fundamentals Analysis and Prediction»; Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981.

3.) Repetto, E.; «Tratado de Mareas y de Análisis Armónico, con Generalidades Sobre Fluctuación del nivel Fluvial»; Talleres Gráficos Argentinos de L.J. Rosso, Buenos Aires, 1927.

4.) Pérez, F. y Silva, J.; «Estudio de Crecidas del Río Bio Bio Bajo Aplicación a Problemas de Inundación, en la Zona de Hualqui a Concepción»; Informe para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, 1985.

5.) Gana, J.; «Estudio de Crecidas del Río Mapocho»; Universidad de Concepción, 1984.

6.) Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile; «Tabla de Mareas de la Costa de Chile y Puertos de la Costa Sud Americana»; S.H.O.A. Pub. 3009, 1992.

7.) Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile; «Glosario de Mareas y Corrientes»; 2da Edición, Pub. 3013,1992.

8.) Ven Te Chow; «Open-Channel Hydraulics»; International Student Edition, 1959.

9.) Amein M. and Chu H.L.; «Implicit Numerical Modeling for Unsteady Flows»; Journal of the Hidraulics Division. Asce, Vol. 101 N° HY6, June 1975.

10.) Instituto Nacional de Hidráulica; «Investigación Defensas Fluviales Ribera Norte Río Bío Bío, Ajuas Abajo Puente Viejo - Concepción», Trabajo de Terreno, Informe de Avance N°3, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Portuarias, Regiones VII, VIII, y IX; Chile, Mayo 1992.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA
XII CONGRESO CHILENO

Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica

Instituto Nacional de Hidráulica - Chile

3

ESTUDIO DE LAS DESCARGAS AL MAR DE LOS DESAGÜES PLUVIALES DE SANTA TERESITA - Pcia de Buenos Aires - Argentina

AMARILLA R., SCHMIDT S., DIAS R., CECOTTI R. (1)

RESUMEN

Se realizó un estudio para determinar las características de las obras de descarga al mar de los desagües pluviales de la ciudad de Santa Teresita.

En la actualidad, las descargas al mar de los desagües pluviales se producen sin ningún tipo de recaudos adicionales lo que, frecuentemente, provoca erosiones localizadas en la playa, y descalce de los conductos en su tramo final.

Se analizaron las condiciones ambientales del lugar, tales como olas, corrientes, niveles de marea y transporte de sedimentos a lo largo de la costa.

El estudio del problema se centró en dos aspectos: la disipación de la energía del escurrimiento y las condiciones del flujo en la salida sobre la playa. La evaluación de los mismos se realizó en base a la eficiencia en la disipación y a las alteraciones que la descarga produciría sobre el medio ambiente costero.

Se ha estudiado el comportamiento hidráulico, en forma analítica y por ensayos sobre modelos físicos a escala, de distintas soluciones estructurales resultando más conveniente el disipador de tipo impacto tal como lo propone el U. S. Bureau of Reclamation [USBR., 1974], complementado con un revestimiento de rocas a la salida del flujo sobre la playa.

(1) Departamento de Hidráulica. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata. Calle 1 y 47- 1900 La Plata - Argentina - Tel/Fax: +54 21 32637