

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA
XIV CONGRESO CHILENO DE HIDRÁULICA

XIV CONGRESO CHILENO DE HIDRAULICA

HIDRODINAMICO DE LA DESEMBOCADURA DEL RIO MATAQUITO
MEDIANTE EL MODELO MIKE-2I

FELIPE COLLADO LIZAMA
JUAN ESTEBAN HERNÁNDEZ NUÑEZ
HIDRÁULICA FLUVIAL Y MARÍTIMA

Este artículo se presenta parte del estudio de la desembocadura del Río Mataquito, a la Dirección de Obras Portuarias, al Instituto Nacional de Hidráulica (Collado y Nuñez) y se centra en la caracterización hidrodinámica del área. La revisión de los disponibles demuestra que la desembocadura del río ha sido altamente dinámica, en escalas de tiempo. Los procesos hidrodinámicos en estudio son reconocidamente debido a la existencia de un espigón localizado en la boca, y a la presencia de una balsa periódicamente en torno a la obra. El análisis de los flujos de agua más altas y corrientes fue realizado con la ayuda del modelo numérico MIKE-2I. La estrategia para modelar la zona estudiada considera una estrategia de anidamiento de mallas de un dominio regional que cubre ampliamente la zona de interés, a un nivel más pequeño denominado dominio local, caracterizado por un alto grado de detalle geométrico. Para ambos flujos se dan a conocer las ecuaciones básicas utilizadas para las condiciones frontera utilizadas, las opciones de modelamiento consideradas y los resultados entregados por los submodelos para condiciones de flujo más altas.

Felipe Collado Lizama, PhD, Investigador del Instituto Nacional de Hidráulica
Juan Esteban Hernández Nuñez, Investigador del Instituto Nacional de Hidráulica

ANALISIS HIDRODINAMICO DE LA DESEMBOCADURA DEL RIO MATAQUITO
MEDIANTE EL MODELO MIKE-21

FELIPE COLLADO LIZAMA¹
JUAN ESTEBAN HERNÁNDEZ NUÑEZ²

RESUMEN

En este artículo se presenta parte del estudio de la desembocadura del Río Mataquito, encargado por la Dirección de Obras Portuarias al Instituto Nacional de Hidráulica (Collado y Hernández, 1999), y se centra en la caracterización hidrodinámica del área. La revisión de los antecedentes disponibles demuestra que la desembocadura del río ha sido altamente dinámica, en las diferentes escalas de tiempo. Los procesos hidrodinámicos en estudio son reconocidamente complejos, debido a la existencia de un espigón localizado en la boca, y a la presencia de una barra cuya punta bascula periódicamente en torno a la obra. El análisis de los flujos de agua más relevantes – olas y corrientes - fue realizado con la ayuda del modelo numérico MIKE-21. La metodología utilizada para modelar la zona estudiada considera una estrategia de anidamiento de dominios, pasando de un dominio regional, que cubre ampliamente la zona de interés, a un dominio mucho más pequeño, denominado dominio local, caracterizado por un alto grado de resolución batimétrica. Para ambos flujos se dan a conocer las ecuaciones básicas utilizadas para describirlos, las condiciones frontera utilizadas, las opciones de modelamiento consideradas y algunos de los resultados entregados por los submodelos para condiciones de oleaje reinante.

¹ Ing. Civil Matemático, PhD., Investigador del Instituto Nacional de Hidráulica
² Ing. Civil, Investigador del Instituto Nacional de Hidráulica

1 INTRODUCCION

La desembocadura del río Mataquito ("el que quita la vida", en Mapudungu), ha sido altamente dinámica. A escala geológica ha experimentado una lenta pero sistemática migración hacia el norte, desde una orientación casi perpendicular a la costa - tal cual lo evidencia la existencia de un gran cañón frente a lo que tiene que haber sido su trayectoria original - hasta su posición actual, caracterizada por un río que se tuerce aproximadamente 5km antes de llegar al mar, para terminar casi paralelo a la costa, varios kilómetros más al norte, formando una extensa barra, que ha cambiado permanentemente en las últimas décadas.

Una vez reconocida la complejidad hidrodinámica del área, se ve con claridad que el problema debe ser tratado con una metodología que considere un modelamiento que, junto con simplificar la física, retenga los aspectos esenciales de los procesos actuantes en la zona. Ante la necesidad de un tratamiento avanzado, se optó por una modelación numérica, principalmente por la gran flexibilidad que ésta ofrece, en cuanto a probar escenarios muy diferentes, produciendo generalmente buenas aproximaciones a la realidad, en un tiempo razonable y a un costo comparativamente bajo.

En resumen, el apartado 2 contiene una descripción de la zona de estudio y un análisis de la evolución histórica de la misma. El apartado 3 presenta las consideraciones físicas realizadas para la definición de los dominios, los tamaños de grilla considerados en cada caso y se muestran las batimetrías generadas. Los apartados 4 y 5 presentan una breve descripción de los respectivos módulos de MIKE-21 (Manual de Referencia, 1996) utilizados para modelar la propagación del oleaje y la circulación de corrientes. Solo a modo de ilustración, en estos apartados también se presentan algunos de los resultados obtenidos. Finalmente los apartados 6 y 7 contienen respectivamente las conclusiones generales del estudio y la bibliografía consultada.

2 DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

El río Mataquito desemboca en el Océano Pacífico al sur de la localidad de Iloca en la VII Región, aproximadamente en la latitud 35,0° S y longitud 72,2° W. El río Mataquito escurre casi paralelamente a la costa, por aproximadamente 10Km, llegando finalmente al mar en la localidad de Punta Roncura. La frontera entre el río y el mar queda constituida así por una extensa barra, la que durante las últimas décadas avanzó a una alta velocidad hasta detenerse hace unos años en una posición cercana a la que actualmente ocupa la desembocadura. Desde entonces, la punta de la



Fig.1 Detalle carta Hidrográfica N° 500: Pto. Valparaíso a Pto. Talcahuano.

barra ha basculado periódicamente, dependiendo de la interacción fluvio-marítima y de los aportes sedimentarios, circunstancia que ha sido potenciada por la presencia de un espigón en esa posición. La figura 1 presenta una descripción general del entorno costero cercano a la desembocadura del río (SHOA,1995).

Con el propósito de ilustrar el complejo dinamismo de la desembocadura se ha escogido la fotografía de la figura 2, en la que se observa como se interna en el mar una gran pluma formada por los sedimentos fluviales, y el transporte litoral que opera en la zona de rompientes. En ella también se aprecia con claridad la interacción entre el río y el mar, lo que permite intuir el patrón seguido por los aportes del río, y la forma en que ellos viajan mar adentro. Queda así establecido que la influencia del río se hace sentir hasta un par de kilómetros de la costa y a varios cientos de metros aguas abajo del espigón.

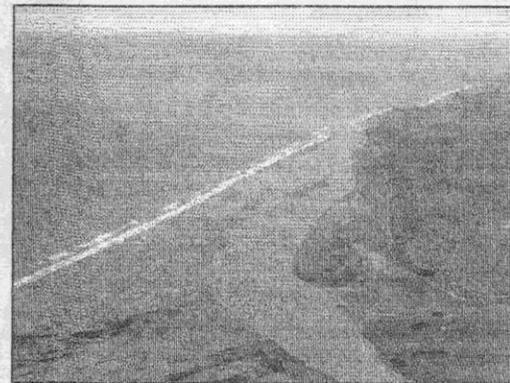


Fig.2 Panorámica de la Desembocadura del Río Mataquito. Invierno de 1997

Una síntesis de la dinámica del área puede resumirse en dos ideas centrales: a) La desembocadura ha migrado considerablemente hacia el Norte, durante gran parte de este siglo, b) Actualmente la barra presenta una suerte de basculación en torno a la posición del espigón. Conclusiones que están en consonancia con los testimonios de los pobladores, recogidos directamente en una visita realizada los primeros días de Agosto de 1998.

3 DEFINICION DE DOMINIOS FISICOS

Un requisito básico para modelar la hidrodinámica es la obtención de la batimetría que represente fielmente los accidentes del fondo marino. La información básica requerida corresponde a los diferentes veriles que caracterizan el área estudiada. A partir de éstos, el entorno computacional del modelo puede generar la batimetría asociada a una configuración geométrica dada. Sin embargo, se debe evitar una resolución espacial excesiva, debido a que los costos de cálculo se pueden elevar innecesariamente.

Para minimizar estos problemas se adoptó la estrategia de anidamiento de dominios, consistente en incrementar progresivamente, desde el punto de vista de la resolución espacial, el nivel de detalle de la zona en estudio. De esta forma se llegó a concebir dos dominios, uno regional y otro local, los que conteniendo ambos la desembocadura del río, cubren áreas espaciales, y por tanto procesos físicos, muy diferentes. La ventaja principal de una estrategia de este tipo es que permite concentrar los esfuerzos de la investigación sobre aquellos fenómenos físicos que realmente tienen importancia en la determinación de la hidrodinámica, optimizándose significativamente los tiempos computacionales y los requerimientos de memoria. El único cuidado que se ha de tener es el de facilitar la transferencia de información del dominio regional hacia el dominio local, lo

que se logra tratando la grilla local como si fuese una refinación parcial de la grilla regional en las vecindades de la desembocadura.

Dominio Regional

Se ha denominado Dominio Regional al dominio físico y computacional que permite propagar adecuadamente la información de oleaje de aguas profundas - período, dirección y altura de ola obtenidos con el método SMB -, hasta la zona cercana a la costa. Para determinarlo, se hicieron diversas consideraciones, de cara a reproducir lo más fielmente posible la forma en que se propagan las olas, para las direcciones representativas del oleaje en la zona estudiada. La condición de aguas profundas, que determina hasta que profundidad debe extenderse el dominio, se obtuvo utilizando el período de 14s, considerado como el más representativo en este estudio. El valor obtenido para la longitud de onda asociada fue de $L_0 = 306m$, lo que conduce a una profundidad superior a 153 m. Para definir el dominio regional se han considerado principalmente los accidentes topográficos o singularidades existentes en el fondo marino capaces de alterar las características del oleaje durante su propagación hacia la costa. La orientación del dominio se ha definido en la dirección Norte-Sur con una longitud de aproximadamente 11Km. La figura 3 muestra la batimetría del dominio regional, generada por el módulo de interpolación de profundidades del modelo MIKE-21, aplicado sobre los veriles de entrada y utilizando las condiciones antes expuestas. Definido así, el dominio muestra una región de bajos en la parte Sur y una depresión del fondo en la zona Norte. El paso elegido para definir las celdas de la grilla es de un tamaño de 100m en ambas direcciones, elegido así para que el dominio local quedara contenido exactamente en un reducido número de celdas del dominio regional, lo que facilita la transferencia de información de un dominio a otro. Para el dominio regional se escogió un sistema X-Y coincidente con el sistema Este-Norte.

Dominio Local

Se ha denominado Dominio Local, al dominio que permite la modelación refinada de la

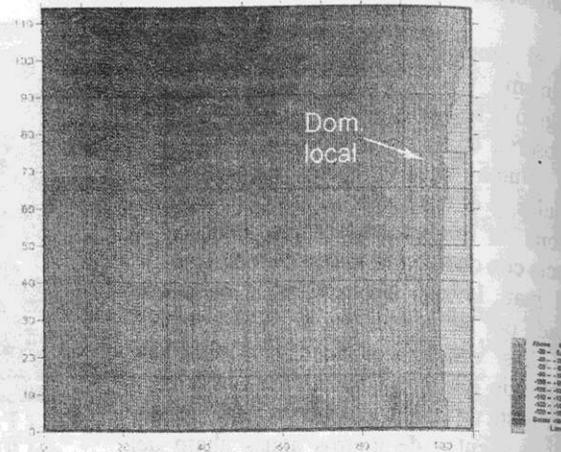


Fig.3 Batimetría Dominio Regional

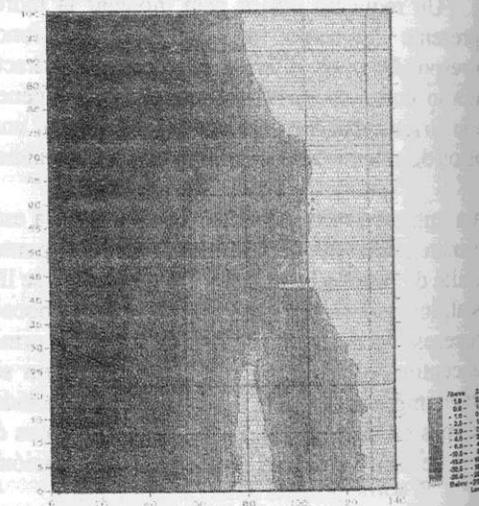


Fig.4 Batimetría Dominio Local

hidrodinámica de la zona cercana a la desembocadura, la que incluye la fenomenología de la zona de rompiente y la interacción río-mar.

Para determinar las particularidades del dominio local, se han realizado las siguientes consideraciones, de manera de garantizar una buena representación de los procesos físicos involucrados y recoger de buena forma la información extraída del dominio regional.

La extensión del dominio en la dirección perpendicular a la costa se definió de forma tal que quedará contenida la zona de rompiente y la zona de corrientes inducidas por el oleaje. Consistentemente, la resolución de la grilla en esta dirección permite describir correctamente los perfiles transversales, sin que los pasos realizados con el modelo se tornen demasiado lentos. Es esto lo que ha llevado a definir un borde externo del dominio distante 800m de la barra, lo que medido desde la costa conduce a una distancia de aproximadamente 1.400m en las vecindades del espigón. Por otro lado, lo que condiciona la elección del tamaño en la dirección Norte-Sur es que el dominio debe contener varias celdas del dominio regional, para alimentar adecuadamente los pasos locales, y que la barra quede contenida dentro del dominio ya que es un importante obstáculo que transforma al oleaje. Finalmente se adoptó un largo de 2.500m en dirección Y, con el espigón aproximadamente al centro del dominio.

Análogamente al caso del dominio regional, la orientación de los ejes X-Y se ha definido coincidente con la orientación Este-Norte. Las celdas de la grilla quedaron de un tamaño de 25m para el eje Y, con lo cual a lo largo de los 2.500m se generan un total de 101 nodos. Las 25 celdas provenientes del dominio regional son consideradas una cantidad suficiente, ya que la playa muestra bastante uniformidad longitudinal. Por el contrario para la dirección perpendicular a la costa es necesaria una mayor resolución con el fin de obtener información más precisa de los cambios que sufre el oleaje conforme va disminuyendo la profundidad. Por esto se adopta un tamaño de celda de 10m, con lo que se generan un total de 141 nodos en la dirección X.

Dado que la caracterización hidrodinámica de mayor interés esta asociada a una fase de retracción de la barra, y que la información de terreno disponible fue recogida durante una fase de extensión de la misma, se modificó la batimetría de terreno para producir una brecha de aproximadamente 400m entre la punta de la barra y la línea eje del espigón, agregándose luego nuevos veriles en el área afectada, reproduciendo lo mejor posible la tendencia natural de la pendiente de la playa. La batimetría local finalmente obtenida, consecuencia de la interpolación realizada por MIKE-21 se muestra en la figura 4.

4 ESTUDIO DE PROPAGACIÓN DE OLAJE

4.1 Módulo de Propagación del oleaje

El modelo MIKE-21 permite diferentes posibilidades de tratamiento para el oleaje. Evidentemente, la elección debe realizarse atendiendo los principales fenómenos físicos asociados a la propagación del oleaje actuantes en la zona, tales como: Refracción, Difracción, Reflexión, Rotura del oleaje, Fricción contra el fondo, Dispersión en frecuencia y dirección y No-linealidades

Una de las ecuaciones utilizada por el modelo es la de pendiente suave de tipo elíptica conocida por las siglas MSE, dadas por:

$$\nabla(CC_g \nabla \phi) + (k^2 CC_g + i\omega W) \phi = 0 \quad (1)$$

derivada a partir de un potencial que supuestamente puede ser descrito por la expresión:

$$\Phi(x, y, z, t) = \frac{g}{\omega} \phi(x, y) \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \quad (2)$$

siendo k en número de onda, d la profundidad, ω la frecuencia angular, H_{rms} la altura media cuadrática de la ola, y W el cociente entre la energía disipada E_{diss} y la energía de la ola E.

Para simplificar la modelación se introduce la hipótesis adicional de onda progresiva:

$$\phi = A^*(x, y) e^{i\psi} \quad \psi = \int^x k dx$$

sólo válida para modelar áreas costeras con presencia de estructuras con bajos índices de reflexión, lo que permite describir eficientemente la evolución de propiedades tales como la altura de la ola y el vector número de ondas. Es el caso del módulo PMS de MIKE-21, utilizado en este trabajo para la modelación del oleaje. Si, como es el caso del módulo PMS, se introduce adicionalmente la hipótesis de que existe una dirección preferente (dado por la dirección x), se encuentra la aproximación parabólica de la ecuación de pendiente suave:

$$A_x^* - \frac{i}{2\omega C_g} (CC_g A_y^*)_y + \frac{A^*}{2C_g} (C_g)_x + \frac{A^*}{2C_g} W = 0 \quad (3)$$

resuelta en PMS mediante un esquema de diferencias finitas tipo Crank-Nicholson. Complementariamente, el modelo de propagación PMS utiliza las siguientes ecuaciones:

- Relación de dispersión, que vincula la frecuencia con el número de onda
- Efecto doppler, que relaciona las frecuencias absoluta y relativa
- Criterios de rotura, que considera los efectos de la profundidad y del peralte
- Ecuación para la fracción de olas rotas, para el caso de oleaje irregular

4.2 Modelamiento del Oleaje Regional

Opciones de modelación

Los valores de la altura de ola significativa H_{s0} son obtenidos aplicando el método SMB. Para el análisis se han considerado las direcciones W, NW y SW, aunque aquí solo se presentan los resultados para NW y SW. Como ya ha sido mencionado anteriormente, el único período considerado fue de 14s por ser el más representativo de los diferentes oleajes dominantes.

Para que la modelación del oleaje regional se hiciera más ligera, y con un comportamiento lineal (lo que evita repetir pases regionales innecesariamente) se decidió realizar la propagación del oleaje despreciando los efectos disipativos. Adicionalmente, el oleaje propagado fue supuesto regular y unidireccional. Los valores de altura de ola para las condiciones frontera (CF) de oleaje regional requerido por el modelo de propagación de oleaje fueron los asociados a un período de retorno de 10 años.

Resultados del oleaje regional

Luego de haber obtenido la batimetría regional y definidas las opciones de modelación requeridas en la frontera exterior del dominio, se está en condiciones de propagar el oleaje hacia la costa. La figura 5.a muestra la gráfica obtenida para el caso de oleaje con dirección NW, período 14s y altura de ola significativa de 7,67m en aguas profundas. Como era de esperarse, la dirección tiende a adoptar una orientación Oeste en la zona muy cercana a la costa. Los fondos someros actúan, en este caso, como una barrera natural, reduciendo la altura de ola. Las oscilaciones de la altura de ola observadas en el borde sur del dominio son atribuidas al mal condicionamiento de las ecuaciones, inducido por unas CF laterales demasiado rígidas. Similarmente, la figura 5.b muestra la gráfica obtenida para el caso con dirección SW, período 14s y altura de ola significativa de 4,93m en aguas profundas. Un resultado interesante en este caso es el fuerte cambio de dirección que experimenta el oleaje, adoptando una dirección

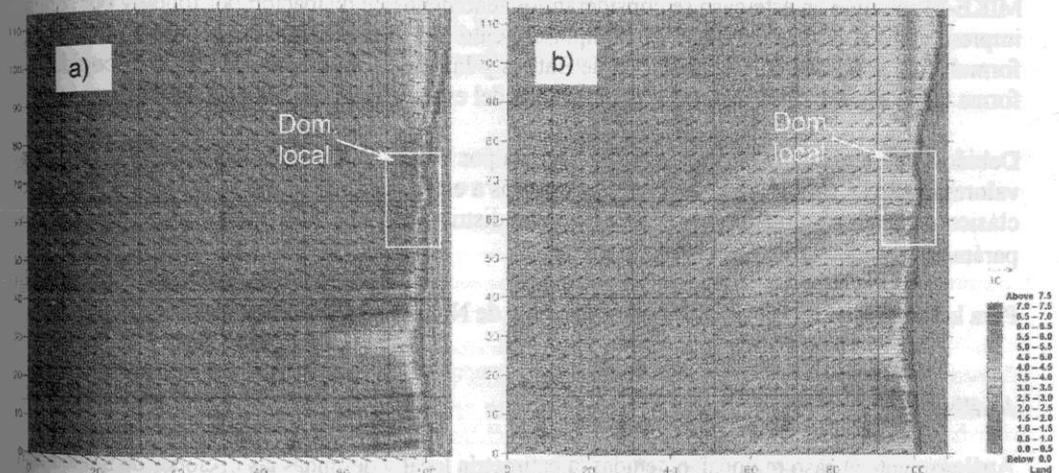


Fig.5 Diagrama de ref-dif para el oleaje regional: a) Dir. NW, T=14s, $H_0=7,67m$
b) Dir. SW, T=14s, $H_0=4,93m$

altamente Oeste en la zona muy cercana a la costa. Cerca del dominio local se observa un comportamiento bastante diferenciado con respecto a la dirección NW, puesto que el oleaje tiende a dispersar su energía en abanico y en forma ondulante, con las consiguientes bajadas y subidas en la dirección transversal. Esta circunstancia convierte a esta dirección en un elemento de poco interés desde el punto de vista de la estabilidad de la obra. No obstante, dado que el oleaje formativo es de tipo reinante, con una fuerte componente SW, este mismo hecho tiene una profunda

significación sobre los mecanismos que producen la evolución morfodinámica de la barra hacia el norte. De los anteriores pases de oleaje, se obtienen los valores de la dirección y la altura de ola a lo largo de cortes definidos entre posiciones nodales de la grilla regional.

4.3 Modelamiento del Oleaje Local

Las CF para el dominio local son extraídas a partir de los diagramas de refracción-difracción de la propagación de oleaje del dominio regional. Como criterio para elegir una dirección de incidencia de oleaje y un valor de altura de ola, se ha optado por recoger valores representativos de la zona que se encuentra justo a la cuadra del espigón, por considerar que de esta forma se potencia la obtención de resultados fidedignos, en la zona de mayor interés. Los valores locales adoptados fueron de 280° para los casos de oleaje NW y de 260° para la dirección SW. Los valores de las alturas H_{rms} , utilizados como CF en el análisis local de oleaje, son $NorOeste=5,0m$ y $SurOeste=2,8m$. El valor del período utilizado en ambas direcciones vuelve a ser de 14s.

La diferencia principal con respecto a la modelación del dominio regional es que el dominio local contiene la zona de rompiente, con toda la dificultad a que este hecho comporta sobre el tratamiento fenomenológico del problema. Desde estas consideraciones es que el oleaje en el dominio local se ha concebido como irregular, aunque monocromático y unidireccional.

La opción de modelado escogida nuevamente es la aproximación parabólica del módulo PMS de MIKE-21, aunque en este caso se consideran los fenómenos de disipación por fondo y por rotura, imprescindibles para reproducir el comportamiento del decaimiento de la altura de ola. La formulación adoptada corresponde a la de Battjes y Jansen configurada con valores escogidos de forma tal de producir perfiles realistas en la zona del espigón para las distintas direcciones.

Debido a que la variable dependiente considerada por Battjes y Jansen es la altura de ola H_{rms} , los valores de altura significativa deben ser adaptados a este parámetro. Aquí se utilizará el supuesto clásico de asumir que la altura de ola sigue una distribución tipo Raleigh, lo que vincula ambos parámetros mediante la relación $H_s = \sqrt{2} H_{rms}$.

Para la fricción de fondo se utiliza un coeficiente de Nikuradse de 2,0mm.

Análisis de Resultados

Análogamente al caso regional, obtenidas la batimetría local y definidas las opciones de modelación a ser utilizadas en el análisis y las condiciones en la frontera del dominio, es posible propagar el oleaje local dentro de la zona cercana a la costa. Como era de esperar (figuras 6 y 7), el decaimiento de la altura de ola comienza muy cerca de la frontera exterior, teniendo un comportamiento decreciente a lo largo de casi toda la zona considerada, y bastante lineal en la zona de rompiente. Por otra parte, la dirección se mantiene casi perpendicular a la costa prácticamente todo el tiempo.

Para la dirección SW se observa un proceso de aumento de la altura de ola generalizado que se prolonga a lo largo de la mitad izquierda del dominio para luego decaer en una franja longitudinal

de fuertes gradientes en los extremos sur y norte del dominio. A diferencia del caso NW, frente al espigón el oleaje incide casi perpendicularmente, salvo en la zona de la boca del río, donde los frentes de onda adoptan su orientación para acabar adentrándose por el río.

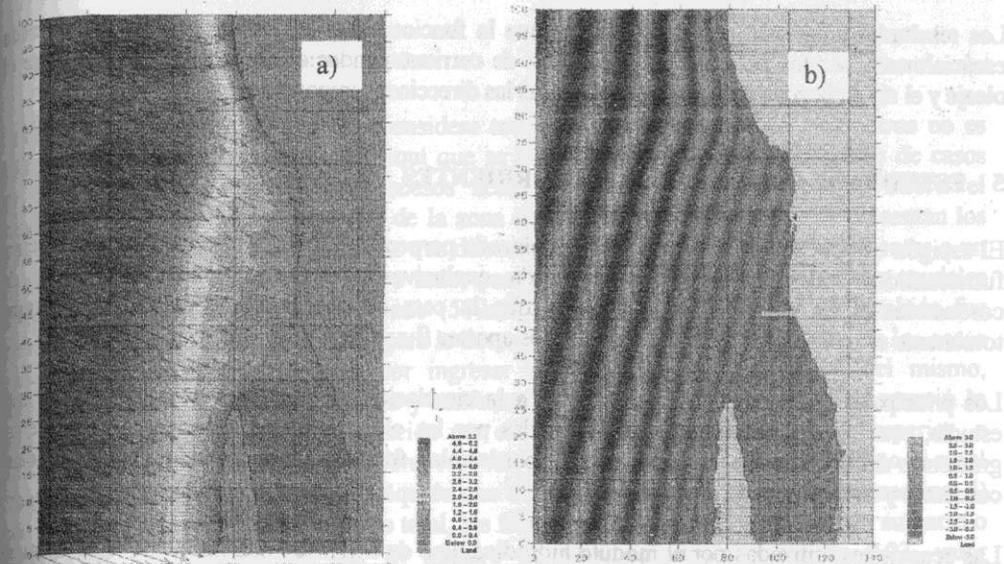


Fig.6 Oleaje local: Dir. NW, T=14s, $H_0=7,67m$
a) Alturas de ola y vector número de onda b) Superficie libre

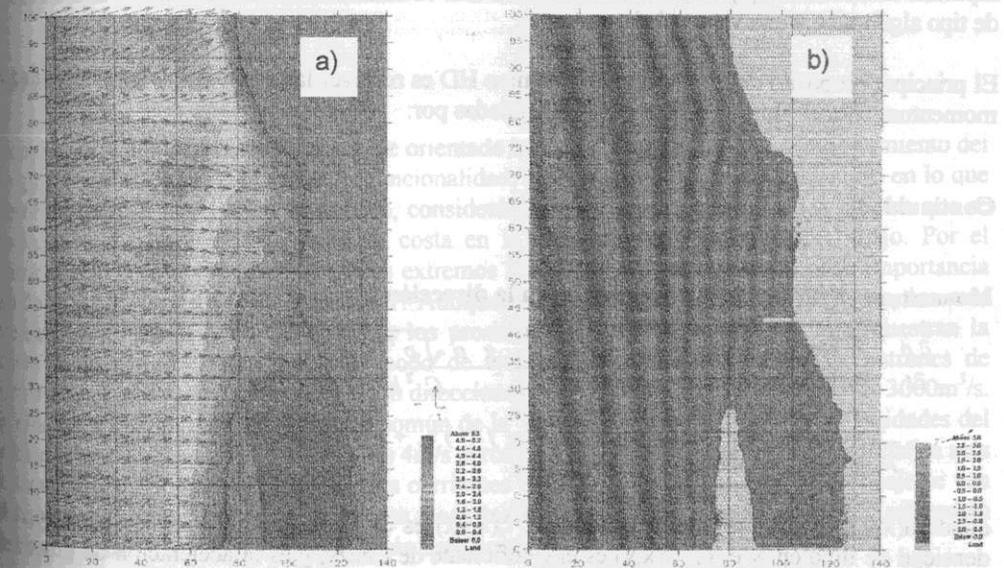


Fig.7 Oleaje local: Dir. SW, T=14s, $H_0=4,93m$ a) Alturas de olas y vector número de onda b) Superficie libre

Aunque la altura de ola SW es sensiblemente inferior a la de dirección NW, debe valorarse adecuadamente su importancia, debido a que esta es la dirección que mejor caracteriza al clima de oleaje reinante.

Los resultados anteriores permiten concluir que la funcionalidad del espigón queda determinada esencialmente por los patrones de circulación de corrientes inducidas por la interacción entre el oleaje y el río en la zona de la obra, siendo todas las direcciones importantes.

5 ESTUDIO DE CIRCULACIÓN DE CORRIENTES

El espigón es concebido como una obra emplazada perpendicularmente a la línea de costa, cuya funcionalidad hidráulica queda determinada exclusivamente por su longitud y cota de coronamiento. En este trabajo se asumió que la cota de coronamiento es tal que elimina totalmente el rebase de la obra por parte de los aportes fluviales.

Los principales fenómenos físicos asociados a la circulación de corrientes, considerados en este estudio, son los siguientes: tensiones inducidas por las olas, tensiones inducidas por el viento, gradientes del nivel medio del mar inducidos por las olas, fricción contra el fondo, interacción olas-corrientes y mojado/secado dinámico de áreas.

Las ecuaciones utilizadas por el módulo hidrodinámico de MIKE-21 son las ecuaciones de masa y momentum para el flujo medio verticalmente integradas y temporalmente promediadas a escala de la turbulencia y de las olas. Para el modelamiento de la turbulencia se utiliza la hipótesis de Boussinesq para la viscosidad de remolino, la que es tratada mediante un submodelo de tipo algebraico y una viscosidad constante.

El principal propósito del módulo hidrodinámico HD es resolver las ecuaciones de continuidad y momentum para el flujo medio. Estas quedan dadas por:

$$\text{Continuidad: } \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

Momentum en dirección X (la ecuación en la dirección Y es análoga):

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{g p \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega q - f(v) v_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \quad (5)$$

donde $h(x,y,t)$ es la profundidad del agua, $\xi(x,y,t)$ es el nivel medio del mar, p,q (x,y,z) la densidad de flujo en X e Y, $C(x,y)$ es el Coeficiente de Chezy, g es la aceleración de gravedad, $f(V)$ es el factor de fricción de viento, V, V_x, V_y son las velocidades del viento y componentes, $\Omega(x,y)$ es el parámetro de Coriolis, $p_a(x,y,t)$ presión atmosférica, ρ_w la densidad de agua y $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ son los componentes del tensor de tensiones.

El módulo HD hace uso del método implícito de las direcciones alternantes (ADI), que integra las ecuaciones en el dominio del espacio-tiempo. Las ecuaciones matriciales que resultan para cada dirección, y cada línea de la malla, son resueltas por un algoritmo de doble barrido. La información requerida por HD en cada celda de la malla es: batimetría (con criterios de mojado/secado de áreas), resistencia del fondo, velocidad del viento y presión barométrica.

5.1 Patrones de circulación de corrientes

Es claro que una caracterización que considere todas las combinaciones de parámetros no es viable, y seguramente innecesaria. De aquí que se haya elegido un limitado conjunto de casos para cubrir lo mejor posible los procesos actuantes en el área, que permite inferir el comportamiento hidrodinámico general de la zona de interés. Aunque aquí no se presentan los resultados, para el oleaje se consideraron tres direcciones (NW, W y SW), correspondientes a un período de retorno de 10 años. Por otro lado, para el régimen fluvial se escogieron caudales asociados a períodos de retorno de 1 año ($500 \text{ m}^3/\text{s}$) y de 10 años ($3000 \text{ m}^3/\text{s}$). También fue necesario establecer un criterio general para la determinación de las CF de cada uno de los casos estudiados. En cada borde se optó por ingresar el flujo total y la dirección del mismo, especificando un valor único (constante y uniforme). Para los casos estudiados se asumió lo siguiente: a) la magnitud del flujo inducido por el oleaje en los bordes marítimos superior e inferior es de $500 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo la dirección perpendicular al borde; b) en el borde externo el nivel de marea es de 1.45m; c) todo aporte líquido que entra por el río sale por el borde superior; d) según corresponda, para obtener el flujo total, los flujos inducidos por el oleaje deben sumarse o restarse a los provenientes del río. El número de Manning utilizado fue de 0,03, valor aparentemente elevado, adoptado en consideración de la rugosidad artificial inducida por el oleaje. La viscosidad turbulenta se supuso constante e igual a $10 \text{ m}^2/\text{s}$. El viento local se introdujo suponiéndose que sopla permanentemente de mar a tierra, con una rapidez de 10 m/s .

Análisis de Resultados

Dado que el análisis de los resultados fue orientado hacia la comprensión del comportamiento del espigón desde el punto de vista de su funcionalidad, la valoración fue hecha basándose en lo que ocurre en torno a la posición de la obra, considerándose de gran importancia los efectos que se producen sobre la barra y la línea de costa en la zona inmediatamente aguas abajo. Por el contrario, a los comportamientos en los extremos Sur y Norte se les confiere poca importancia debido al efecto contaminante de las CF. Aunque fueron muchos los casos estudiados, los más interesantes desde el punto de vista de los procesos hidrodinámicos son los que muestran la acción conjunta marítima-fluvial. A modo de ejemplo, la figura 7 muestra los patrones de circulación de corrientes para oleajes con direcciones NW y SW, y un caudal de río de $3000 \text{ m}^3/\text{s}$. En ellas se aprecia el comportamiento común de la corriente dentro del río, con velocidades del orden de 2 m/s que evolucionan hasta los 4 m/s cerca de la boca. No obstante, la característica más destacable es que en el segundo caso las corrientes fluviales y las inducidas por el oleaje se ven mutuamente potenciadas, aumentando sus magnitudes, produciéndose un fenómeno de advección de las corrientes hacia el norte mucho más significativo.

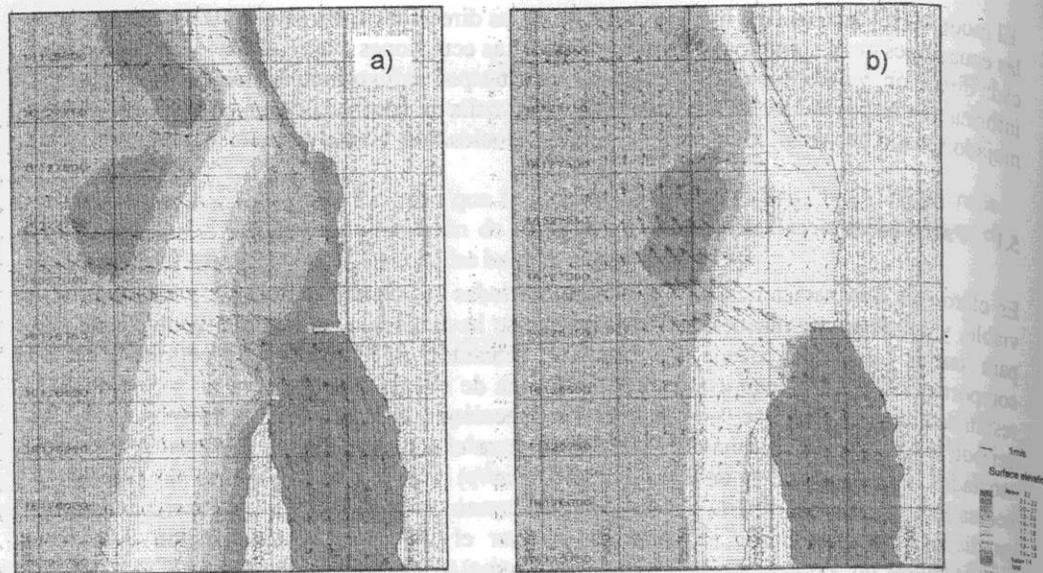


Fig.7 Patrones de circulación de corrientes para un caudal de $3000\text{m}^3/\text{s}$:
a) Dirección NW, b) Dirección SW

6 Conclusiones

El modelo MIKE-21 demostró ser una herramienta útil para estudiar el comportamiento regional y local de la hidrodinámica de la desembocadura. Mediante el uso combinado de los módulos de propagación PMS y de corrientes HD, se caracterizó la zona, estableciéndose los patrones de propagación del oleaje para las direcciones predominantes a nivel regional, bajo las condiciones que mejor lo tipifican de acuerdo al método SMB. Para el oleaje local adicionalmente se caracterizaron los patrones de circulación de corrientes marítimo-fluviales de la desembocadura. Las CF locales fueron extraídas del modelo regional y de la caracterización hidrológica de la cuenca. En general, y con muy poco esfuerzo de cálculo, el modelo respondió muy bien a los requerimientos de modelación.

Finalmente, se debe valorar el hecho de que en este estudio se ha desarrollado una metodología de mucha solidez, que de ahora en adelante queda al servicio para abordar otros estudios costeros que presenten problemas similares. En ella se recorren integralmente las diferentes etapas del proceso de solución de un problema de interacción río-mar.

7 Bibliografía

1. Collado y Hernández. *Mejoramiento de la Desembocadura del Río Mataquito, Informe Técnico N°3*, Instituto Nacional de Hidráulica, 1999.
2. Laboratorio hidráulico de Dinamarca. Manual de referencia MIKE-21, 1996.
3. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada. *Atlas Hidrográfico de Chile. 1995*

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA XIV CONGRESO CHILENO DE HIDRÁULICA

ANEMOMETRÍA ACÚSTICA DOPPLER EN LA CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURAS FLUVIALES DE GRAN ESCALA EN PROTOTIPO Y MODELO

F. LÓPEZ¹,
C. M. GARCÍA¹,
R. FERNÁNDEZ¹

RESUMEN

El empleo de anemometría acústica ultrasónica basada en el efecto Doppler se ha tornado actualmente en práctica universal en hidráulica, tanto en trabajos experimentales de laboratorio como en tareas de campaña. En particular el uso en hidrometría de Perfiladores de Corriente Acústicos Doppler (ADCP) ha contribuido a definir una nueva era en mediciones de flujo geofísicos. A su simplicidad y relativamente bajo costo se suma al hecho de proveer resolución temporal y espacial del campo de flujo adquiriendo información que es imposible obtener por medio de métodos convencionales. De esta forma, distintas variables y características del flujo en grandes ríos pueden ser estimadas contribuyendo a una mejor caracterización de la dinámica fluvial y sus procesos de transporte asociados. Por otra parte, el empleo del Velocímetro Acústico Doppler (ADV) en laboratorio ha permitido el desarrollo a menor costo de trabajos experimentales donde el uso de tecnología láser era inadecuada o mucho más onerosa. Se presenta aquí una original comparación de resultados de mediciones con un ADCP en el río Paraná (Argentina), complementadas con observaciones efectuadas con correntímetros tradicionales, con velocidades adquiridas mediante un ADV en un modelo a escala Froudeana 1:30 del mencionado río. Los perfiles medios de velocidad permitieron la estimación de velocidades de corte y rugosidad equivalente sobre grandes formas de fondo. Asimismo, se presenta información sobre la estructura de la turbulencia, la cual una vez normalizada con la escala apropiada, fue contrastada con observaciones realizadas por otros autores en grandes ríos.

¹ Instituto Nacional del Agua y del Ambiente (CIRSA) – Universidad Nacional de Córdoba. CONICET, Ambrosio Olmos 1142, (5000) Córdoba, Argentina; email: flopez@com.uncor.edu