

Un dispositivo de bombeo de agua marina activado por oleaje

Francisco Ruiz
Martín Merino
Miguel Alatorre
Steven Czitrom

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México

Víctor Franco
Instituto de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México

Se presenta un dispositivo que persigue, entre otros propósitos, proporcionar agua marina a lagunas, estanques de maricultura y otros cuerpos de agua costeros, que por razones de rehabilitación ecológica, incremento de productividad o apariencia estética, puedan necesitarla. El dispositivo, que funciona utilizando la energía del oleaje, fue desarrollado y patentado por la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, y cuenta con las siguientes ventajas: sencillez de diseño, ausencia de partes móviles inmersas en el mar, bombeo de agua marina con flujos del orden de $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$, bajo costo de operación y poco mantenimiento. El dispositivo tendrá efectos mínimos sobre la playa y el transporte litoral, al no requerir de bocas artificiales en el sistema lagunar y los consecuentes riesgos de azolvamiento y pérdida de funcionalidad.

Palabras clave: bombas de agua marina, oleaje, lagunas costeras, acuacultura, Cancún.

Introducción

Nuestro país cuenta con más de 120 lagunas costeras (Lankford, 1977) que representan una importante fuente de recursos, ya que generalmente sostienen diversas pesquerías y suelen ser un componente importante de los atractivos turísticos de nuestros litorales. Por otra parte, la utilización de sistemas lagunares de áreas costeras inundables para maricultura comercial, representan, también, una alternativa importante de aprovechamiento de estas zonas.

La mayoría de los cuerpos de agua costeros tienen un escaso -en ocasiones casi inexistente- intercambio de agua con el mar abierto (Merino *et al*,

1990). Esta situación provoca que dichos sistemas tengan muy baja capacidad de carga de contaminantes y, por lo mismo, de soportar impactos humanos y naturales.

El resultado es que un gran número de estos cuerpos de agua -utilizados para explotar pesquerías, atractivos turísticos o simplemente su disponibilidad de agua, como en el caso de la maricultura- sufren importantes problemas de contaminación y deterioro, no sólo en su equilibrio ecológico, sino muchas veces también en las propiedades y recursos que los hacen valiosos y alrededor de los cuales se desarrollan las actividades antes citadas.

Por estas razones, frecuentemente es necesario

favorecer el intercambio de agua entre estos sistemas y el mar. Sin embargo los esfuerzos realizados en esta dirección consisten, normalmente, en abrir canales o bocas artificiales que suelen interferir con el transporte litoral (U.S. Army Coastal Engineering Research Center, 1984), lo que a su vez genera nuevos problemas como la modificación de playas o la necesidad permanente de dragado de mantenimiento.

Con esta situación en mente, hemos desarrollado y patentado un dispositivo que bombea agua valiéndose de la energía del oleaje. Este sistema amplifica las olas, y captura una fracción del volumen de agua que forma la cresta de cada ola. El agua capturada es transferida al sistema lagunar adyacente mediante un conducto que puede ser ubicado bajo la playa y la duna, de tal manera que el efecto sobre el transporte litoral sea mínimo y la playa no sea afectada.

Diversos instrumentos han sido ideados con el fin de obtener energía de las olas oceánicas (Jacobs, 1956; Perkins, 1978; Shing-Hsiung, 1980; Baird, 1981; Ross, 1981) sin que hasta la fecha, al parecer, ninguno haya logrado el éxito comercial. Algunos de estos diseños (Andrews, 1977, 1982) tuvieron como objetivo, igual que en nuestro caso, el bombeo de agua.

La mayoría de estos inventos, de los que se desconocen aplicaciones exitosas, no han trascendido por ser poco prácticos. Uno de sus principales problemas es el uso de componentes o válvulas mecánicos que necesariamente deben moverse al ritmo de las olas. Es del conocimiento general que las piezas móviles no funcionan en el océano o requieren excesivo mantenimiento que en ocasiones es difícil y hasta imposible proporcionar.

El dispositivo que hemos desarrollado no requiere de partes móviles por lo que su mantenimiento es prácticamente nulo. Por otro lado, utiliza directamente la energía capturada sin necesidad de transformarla. Estas características permiten que su operación y mantenimiento resulten factibles y costeables. En este trabajo se describen los fundamentos de su operación, y se estima su eficiencia para un caso concreto.

El dispositivo y su funcionamiento

Como se aprecia en la ilustración 1, el dispositivo se divide en dos partes: un amplificador de oleaje conformado por dos paredes (a y b) convergentes, y un colector (c) cuyos bordes se elevan sobre el nivel medio del mar y su extremo sumergido está comu-

nicado mediante una tubería al interior de la laguna, con la que forma un vaso comunicante.

El dispositivo opera, básicamente, capturando en el colector el volumen de agua de la ola que se encuentre por encima de su nivel y creando una cabeza de presión que impulsa el fluido, a través del tubo, hacia el cuerpo de agua donde la presión es menor (ilustración 2).

El dispositivo funcionará óptimamente en cuerpos de agua en los que su nivel medio sea igual o más bajo que el nivel medio del mar. Adicionalmente, el cuerpo de agua debe tener comunicación directa con el mar o alguna otra forma de drenaje que le permita mantener su nivel constante, aunque se le esté bombeando agua.

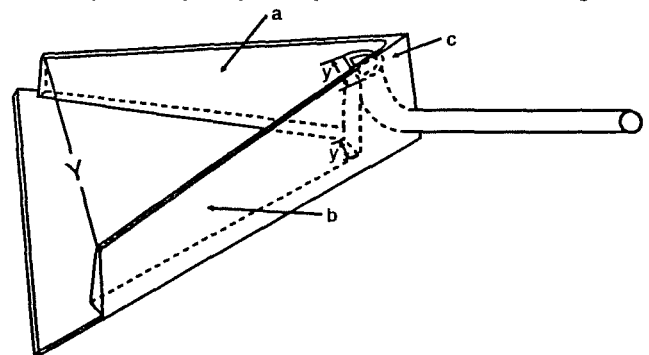
Cuando existe una playa, y por tanto transporte litoral de sedimentos (situación frecuente en el caso de las lagunas costeras), el diseño del dispositivo permite que el tubo que comunica el colector con la laguna se coloque por debajo de la playa o barra arenosa, para evitar interferir con el régimen de transporte litoral. De la misma forma, el dispositivo deberá situarse, dependiendo de las condiciones particulares del caso, a suficiente distancia de la orilla para evitar alterar el transporte litoral y generar áreas de azolvamiento.

El colector

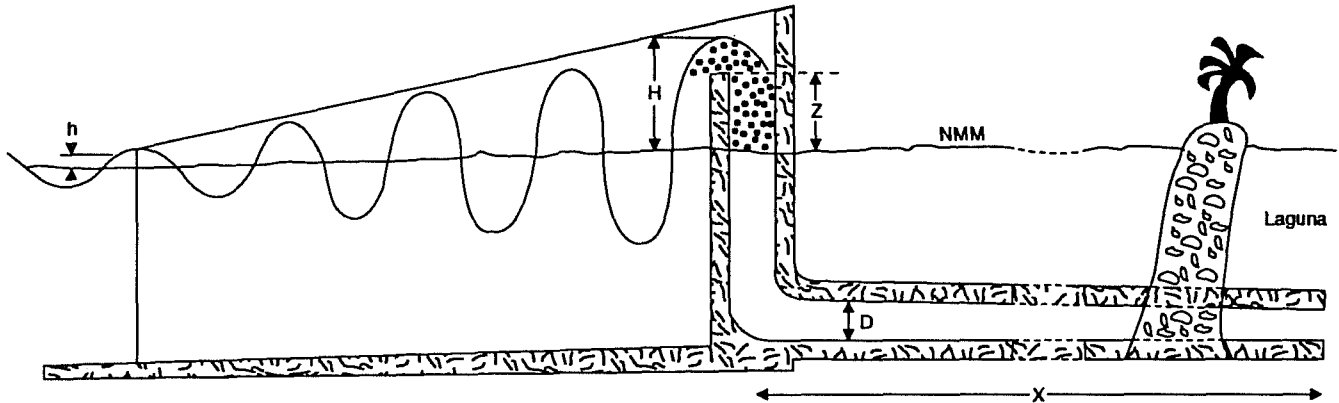
El colector funciona esencialmente como un tanque elevado que, a través de un tubo, transfiere agua entre dos localidades que guardan una cierta diferencia de alturas (ilustraciones 1 y 2).

Si la altura del colector sobre el nivel del mar (y de la laguna) es $\langle Z \rangle$, y el diámetro y longitud del tubo que lo une con la laguna son $\langle D \rangle$ y $\langle X \rangle$

1. Dispositivo de bombeo de agua marina activado por la energía del oleaje. $\langle a \rangle$ y $\langle b \rangle$ son las paredes del amplificador de oleaje, $\langle y \rangle$ es la anchura en la boca del colector $\langle c \rangle$, y $\langle Y \rangle$ es la apertura en la entrada del amplificador. El tubo conecta el dispositivo con el cuerpo de agua que requiere de renovación agua



2. Corte longitudinal del dispositivo. Las olas marinas penetran al amplificador con amplitud $\langle h \rangle$ incrementándola hasta un valor $\langle H \rangle$ al llegar al colector, cuya altura sobre el nivel medio del mar, NMM, es $\langle Z \rangle$. El agua de la ola por encima de esta altura es capturada por el colector y transferida a través de un tubo de longitud $\langle X \rangle$, hacia el cuerpo de agua cuyo nivel es similar al NMM, y por tanto menor que el del colector



respectivamente, la velocidad que se generará al mantener la diferencia de alturas $\langle Z \rangle$, será:

$$V = \sqrt{\frac{gZ}{\Gamma X/D + E}} \quad (1)$$

donde $\langle g \rangle$ es la aceleración gravitatoria, $\langle \Gamma \rangle$ un factor de fricción que depende del coeficiente de rugosidad del tubo (y del número de Reynolds que, a su vez depende de la velocidad, dimensiones del tubo y del coeficiente de viscosidad cinemática), y $\langle E \rangle$ es una suma de pérdidas energéticas debidas a irregularidades en el tubo, tales como constricciones, entradas abruptas o suaves, ángulos, etc. Tanto $\langle \Gamma \rangle$ como $\langle E \rangle$ son valores conocidos empíricamente (ver discusión en Hughes y Brighton, 1967).

La relación anterior es válida para flujos establecidos, es decir, independientes del tiempo. En ella se puede ver que la velocidad será mayor cuanto mayor sea la altura $\langle Z \rangle$ para parámetros fijos del tubo por lo que se infiere que para incrementar la velocidad es necesario aumentar la altura del colector. Sin embargo, la altura del colector sobre el nivel medio del mar no se puede elevar indiscriminadamente y seguir capturando agua, por lo que, como se demuestra más adelante, existe una altura óptima de colector que permitirá retener el volumen máximo posible del agua elevada por una ola.

El volumen capturable dependerá de la longitud de onda de la ola, de su amplitud, y de la altura y área seccional del colector. Si la amplitud de la ola es $\langle H \rangle$, su longitud de onda $\langle La \rangle$, y las dimensiones del área del colector son $\langle y \rangle$, $\langle y \cot \beta \rangle$, (donde $\langle \beta \rangle$ es el ángulo que genera la boca de anchura $\langle y \rangle$ de un colector de boca o área seccional triangular), su

altura sobre el nivel medio del mar $\langle Z \rangle$ será óptima cuando el volumen de la ola por encima de la altura del colector $\langle V_o \rangle$ sea igual al de éste $\langle V_c \rangle$. Esta situación se describe en la ilustración 2 (donde las zonas punteadas corresponden al volumen capturable de la ola y al del colector) y se puede expresar mediante la siguiente relación:

$$\begin{aligned} V_o &= \frac{y La H}{2\pi} \left(\cos\left(\frac{2\pi X_1}{La}\right) - \cos\left(\frac{2\pi X_2}{La}\right) \right) - (X_2 - X_1) y Z = \\ &= \frac{y Z}{4 \tan \beta / 2} = V_c \end{aligned} \quad (2)$$

donde:

$$X_2 = \frac{La}{2} - X_1; \quad X_1 = \frac{La}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{Z}{H} \right)$$

Esta relación (2) se puede resolver numéricamente, y permite calcular la altura óptima del colector para cada juego de valores concretos de las características de la ola y del área del colector.

El amplificador

La función del amplificador de oleaje consiste en aumentar la amplitud de las olas que arriban al colector. Lo anterior es necesario para incrementar la capacidad de bombeo del dispositivo bajo determinadas condiciones de oleaje.

El amplificador está formado por dos paredes verticales que convergen en el colector, y que van aumentando la altura del oleaje conforme éste avanza hacia el colector (ilustración 2). Dado que el

amplificador concentra la energía por unidad de área, la amplificación de la altura del oleaje depende de la distancia entre las paredes a la entrada del amplificador $\langle Y \rangle$ y de la anchura $\langle y \rangle$ del colector (ilustración 1).

Si consideramos que el oleaje es senoidal, que su forma y longitud de onda no se alteran durante su paso a través del amplificador, y que no hay pérdidas significativas de energía, una ola de amplitud $\langle h \rangle$ que penetra al amplificador dirigida de frente al colector (el frente de ola formando un ángulo de 90° con la línea que bifurca el amplificador) (ilustración 2), alcanzará una amplitud $\langle H \rangle$ al final del amplificador definida por:

$$H = h \sqrt{\frac{Y}{y}} \quad (3)$$

Además, por el hecho de que se refleja en una pared al llegar al colector, la ola duplica su amplitud, por lo que su amplitud final $\langle H \rangle$ a la entrada del colector será $\langle 2H \rangle$.

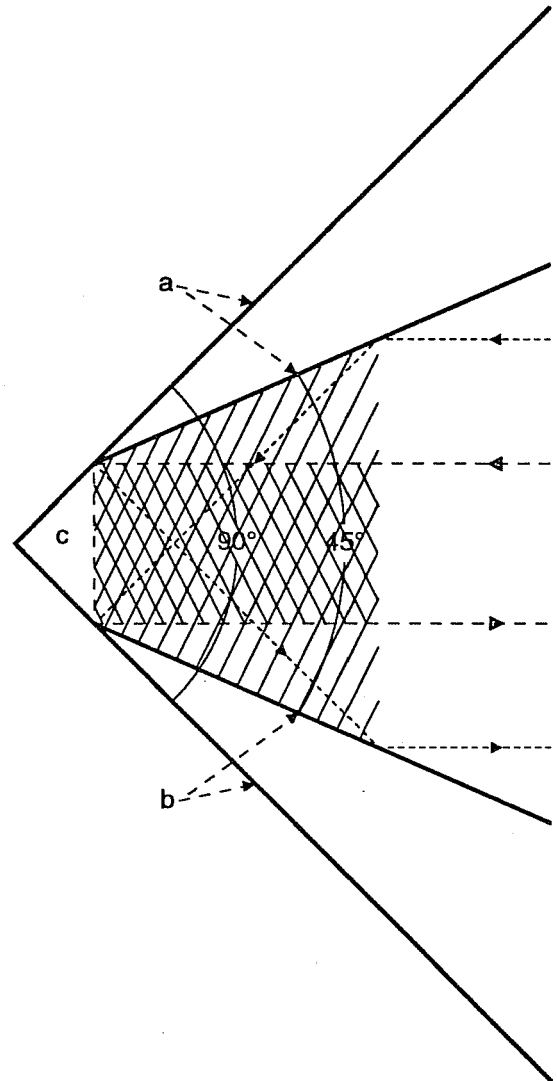
Por otro lado, según esta fórmula bastaría con controlar la razón $\langle Y/y \rangle$ para lograr cualquier altura de ola amplificada $\langle H \rangle$. Esto no es así. Dependiendo de la geometría del amplificador, parte de la energía del oleaje se reflejará en sus paredes saliendo nuevamente por su entrada sin llegar nunca al colector. Dados un ángulo $\langle \alpha \rangle$ del amplificador y una anchura $\langle y \rangle$ de la boca del colector, existe un valor máximo aprovechable para la apertura de la entrada del amplificador $\langle Y \rangle$ y, por lo tanto, para la longitud de las paredes del amplificador, como se verá en los siguientes párrafos.

Ángulo de apertura del amplificador

La ilustración 3 muestra el dispositivo con dos ángulos de apertura del amplificador de oleaje: 90° y 45° . En ella se muestran las trayectorias seguidas por los rayos de los frentes de onda que separan la zona en la que, por incidencia directa o por reflexión, su energía logra llegar al colector (área cruzada para el caso de 90° y rayada para el de 45°). La energía de las olas que inciden en las paredes del amplificador fuera de esta zona, será regresada al océano abierto por las reflexiones que sufrirán en dichas paredes.

Para el caso de 90° , sólo la energía dirigida directamente a la boca del colector (marcada con líneas cruzadas) elevará el agua ahí. Cuando el ángulo es de 45° , la energía dirigida directamente a la boca y la de la zona contenida por la primera

3. Esquema del dispositivo con aperturas de 45° y 90° visto desde arriba. Los frentes de olas que lleguen al dispositivo fuera del área indicada con la trama cruzada para el caso de ángulo de 90° serán reflejados fuera del dispositivo. Lo mismo sucede para el caso de 45° con el área rayada que contiene a la anterior



reflexión (rayada) llega al colector. Mediante un razonamiento geométrico de este tipo, se puede demostrar que conforme disminuye el ángulo del amplificador aumentan la longitud de las paredes y apertura útiles, y que para:

$\alpha=90^\circ$ la apertura máxima aprovechable es $Y = y$
 $\alpha=45^\circ$ la apertura máxima aprovechable es $Y=3.42y$
 $\alpha=30^\circ$ la apertura máxima aprovechable es $Y=5.50y$

De esta forma, existe un factor de amplificación de la ola $\langle H/h \rangle$ máximo, el cual depende del ángulo de apertura del amplificador. Así, por ejemplo, para

$\alpha=45^\circ$, el factor de amplificación será de 3.42 si las paredes del amplificador tienen el largo suficiente.

Flujo generado por el dispositivo

El flujo en un dispositivo de la naturaleza del que aquí proponemos, es altamente dependiente del tiempo. La relación (1), aunque muestra la dependencia del flujo de algunas variables, no lo describe rigurosamente. Para obtener una idea fidedigna del comportamiento de la velocidad en el dispositivo, la modelamos modificando la ecuación de movimiento que da la velocidad de un cuerpo como resultado de sumar a su velocidad inicial, su aceleración multiplicada por el tiempo:

$$V = V_i + \frac{gz}{(z+X)\sqrt{(IX/D+E)}} \Delta t \quad (4)$$

donde $\langle V_i \rangle$ representa velocidad inicial, $\langle \Delta t \rangle$ un incremento de tiempo, $\langle z \rangle$ la altura instantánea respecto al nivel del mar del agua en el colector, y las demás variables tienen el significado descrito anteriormente. En esta relación, la aceleración gravitatoria se modifica porque una columna de agua de altura $\langle z \rangle$ empuja a una de longitud $\langle z+X \rangle$. El efecto de fricción se introduce en el término de la aceleración, actuando sobre la velocidad de la misma manera que en la relación (1). Puesto que el factor de fricción depende de la velocidad, la ecuación anterior se resuelve numéricamente.

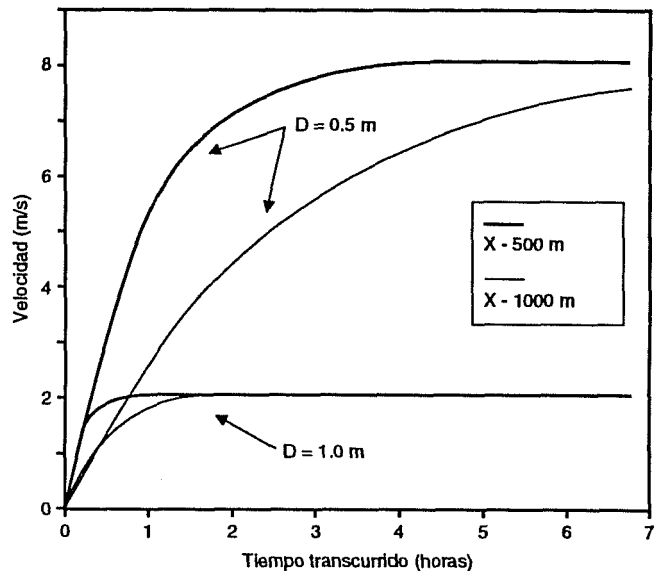
En la solución numérica se supone que el proceso comienza con velocidad inicial cero que es cuando el colector, que se ha llenado anteriormente por efecto de una ola, se empieza a vaciar y se permite que la aceleración gravitatoria actúe durante un instante de tiempo (0.01 s), con lo cual se obtiene la velocidad al final de ese instante. Se calcula la distancia caída con la velocidad obtenida y después se calcula el factor de fricción con la misma velocidad. Para velocidades muy pequeñas, se asigna un factor de fricción grande (0.1). Se realiza este cálculo sucesivamente hasta completar un periodo de ola tras lo cual, el colector se llena nuevamente y se sigue el proceso iterativo durante el número de ciclos deseado.

En la ilustración 4 se muestra la evolución temporal del valor instantáneo de la velocidad, en el momento en que cae cada ola en el colector. El coeficiente de rugosidad usado fue 0.04, se supusieron pérdidas $\langle E \rangle$ con un valor de 3, el periodo de las olas fue de 3 s, y se utilizó una altura de colector de 1 m y un área de 2.41 m². Todos estos valores

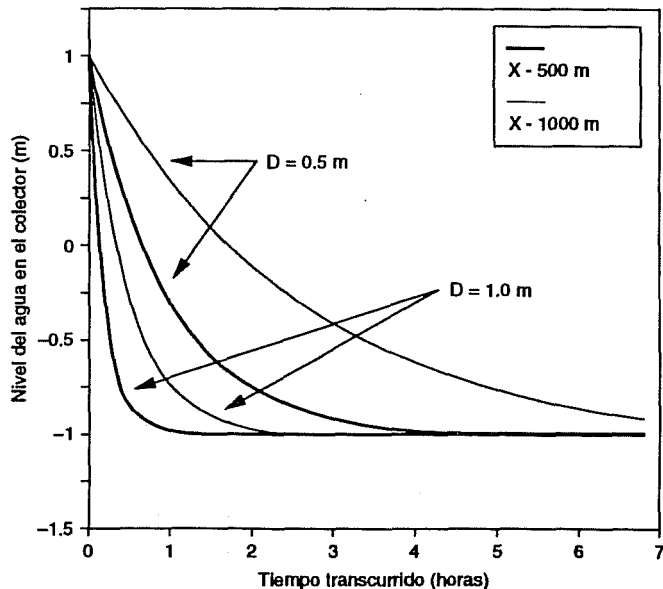
se aproximan a los que se podrían usar en la práctica o representan condiciones más rigurosas que las reales.

La ilustración 4 muestra el comportamiento para cuatro tubos distintos, combinando longitudes $\langle X \rangle$ de 500 y 1000 m, con diámetros $\langle D \rangle$ de 0.5 y 1.0 m.

4. Velocidad del agua en el tubo (que conecta el colector con el cuerpo de agua costero) al momento de caer la ola en el colector, para distintos tiempos de iniciada la operación del dispositivo. Se muestra la evolución de la velocidad para tubos de 500 y 1000 m de largo, y con diámetros de 1 y 0.5 m



5. Nivel del agua en el interior del colector al momento de caer la ola, para distintos tiempos de iniciada la operación del dispositivo. Se muestra la evolución del nivel del agua en tubos de 500 y 1000 m de largo, y con diámetros de 1 y 0.5 m



Se puede ver que en todos los casos la velocidad aumenta rápidamente hasta estabilizarse en un valor que es función del diámetro del tubo.

En la ilustración 5 se muestra, para las mismas condiciones y en los mismos cuatro casos, la evolución de la altura del nivel del agua dentro del colector cuando cae la ola. En forma similar, conforme el líquido en el tubo va aumentando su velocidad, el nivel que tiene el agua en el colector al caer la siguiente ola va disminuyendo hasta estabilizarse por debajo del nivel exterior (0.0 m). De esta forma, aunque al inicio del proceso no se aprovecha toda el agua capturable de las primeras olas, después de un periodo de unas cuantas horas (aún para condiciones tan extremas como un tubo de 1 km de largo y de sólo 1/2 m de diámetro) el aparato atrapa, y transporta hacia el cuerpo de agua al que está conectado, todo el volumen capturable de cada ola, antes de que llegue la próxima.

Lo anterior, además de mostrar la eficiencia del dispositivo, permite calcular su flujo simplemente como el volumen de agua capturado por ola (igual al volumen del colector una vez optimizada su altura) multiplicado por la frecuencia del oleaje.

Estimaciones de flujo en un caso concreto

Con el fin de evaluar la factibilidad de aplicación real del dispositivo, a continuación se considera el efecto de su utilización en un caso concreto: la laguna Bojórquez, que forma parte del Sistema Lagunar Nichupté, en Cancún, Quintana Roo.

La laguna Bojórquez es un buen ejemplo de un cuerpo de agua costero que se beneficiaría con un incremento en su intercambio de agua con el mar (Merino y Gallegos, 1986; González *et al*, 1992). La laguna, ubicada en una zona de aguas oligotróficas de extraordinaria transparencia, ha experimentado un incremento substancial de nutrientes (González, 1989) asociado a las actividades humanas (principalmente dragados y drenajes domésticos), el cual ha inducido un proceso de eutroficación (Reyes, 1988; Reyes y Merino, 1991). Como consecuencia de este proceso, esta laguna presenta un deterioro significativo de sus cualidades estéticas y recreativas, debido al aumento de la turbidez, la presencia de algas y materia orgánica en descomposición (frecuentemente en forma de masas flotantes), olores desagradables y fauna nociva (Merino *et al*, 1992; 1993).

La rápida alteración de la laguna Bojórquez se debe a su escasa capacidad de eliminar los nutrientes que en ella se descargan, debido a que tiene un

tiempo de renovación de sus aguas extraordinariamente lento calculado en más de dos y tres años (Merino *et al*, 1990) (González *et al*, 1992), respectivamente. Por ello, la aplicación de un dispositivo como el que aquí se describe podría representar un significativo beneficio para el caso de esta laguna.

Tomando en cuenta que la ola significativa en el área marina frente a Bojórquez tiene una amplitud $\langle h \rangle$ de 0.35 a 0.46 m y periodos de 3.67 a 3.22 s (Flores y Maza, 1971), y una longitud de ola $\langle L_a \rangle$ del orden de 6 m según nuestras observaciones, y suponiendo las siguientes dimensiones del dispositivo: $y = 2.0$ m, $\alpha = 45^\circ$, $Y = 6.64$ m, $D = 0.5$ m, y $X = 500$ m, se puede calcular que la altura óptima del colector $\langle Z \rangle$ sería entre 0.67 y 0.89 m respectivamente, y que los flujos generados alcanzarían de 0.43 m/s a 0.66 m/s.

Estos flujos son significativos para las características de Bojórquez. Dado que el volumen de agua en la laguna es de alrededor de 3.5 millones de m^3 (Merino *et al*, 1990), el dispositivo introduciría agua de mar limpia en cantidad suficiente para reducir el tiempo de renovación de la laguna Bojórquez en un orden de magnitud, es decir, a valores de dos a tres meses. Este ejemplo permite mostrar que el dispositivo puede tener una aplicación efectiva en condiciones reales.

El flujo en el dispositivo se ha modelado suponiendo que la fricción actúa en el fluido como si el movimiento fuera estacionario. Para calcular el volumen máximo capturable de cada ola se ha supuesto que las olas son senoidales y que toda el agua que está por encima del nivel del colector entrará en éste. También hemos supuesto que las olas no se deforman durante su paso por el amplificador. Sin embargo, los cálculos se han realizado para condiciones suficientemente conservadoras como para pensar que los resultados se aproximan a la realidad a pesar de las suposiciones anteriores.

Dado que la complejidad de los procesos de turbulencia dificulta considerablemente la construcción de un modelo matemático más completo, consideramos que la mejor manera para profundizar en la determinación de la viabilidad de un dispositivo de esta naturaleza es mediante la modelación física.

Agradecimientos

Los autores agradecen las valiosas sugerencias del doctor Ingvar Emilsson, investigador honorario del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

Revisado: febrero, 1994

Referencias

- Andrews, O.H., *Wave-Pump Apparatus*, United States Patent # 4,040,257., 1977.
- Andrews, O.H., *Wave-and-Tide-Pump Apparatus and Method Thereof*, United States Patent # 4,332,506., 1982.
- Baird, W. Wave Energy. In: Wick, G.L, W.R. Schmitt y R. Clarke (Eds.), *Harvesting Ocean Energy*. Paris, Francia. The UNESCO Press. 1981.
- Flores, M.A. y J.A. Maza, *Estudio en Modelo Hidráulico de la zona de Cancún, Q. R., México*, Facultad de Ingeniería, UNAM, Informe a INFRATUR, 1971.
- González, A., *Hidrología y Nutrientes en la Laguna Bojórquez*, Tesis de Maestría, México, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado del CCH e Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 1989.
- González, A., M. Merino, y S. Czitrom. *Laguna Bojórquez, Cancún: un sistema de características marinas controlado por la atmósfera*. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Auton. México, 19 (1): 59-71, 1992.
- Hughes, W. F. y J. Brighton, *Fluid Dynamics*, Mcgraw Hill Book Company, Nueva York, 1967.
- Jacobs, E.E., *Power From Ocean Waves: Another Energy Source?*. Power Engineering, September: 82-85, 1956.
- Lankford, R., *Coastal Lagoons of Mexico*. In: Willey, K. (Ed.) *Estuarine Process*, New York, Academic Press, 1977.
- Merino, M. y M. Gallegos, *Evaluación del Impacto Ambiental Generable sobre el Sistema Lagunar Nichupté por el Dragado Programado Para Rellenar el Lote 18-A en Cancún, Q. Roo., México*, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 1986.
- Merino M., S. Czitrom, E. Jordán, E. Martin, P. Thome y O. Moreno. *Hydrology and rain flushing of the Nichupté Lagoon System, Cancún, México*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 30: 223-237, Academic Press, 1990.
- Merino, M., A. González, E. Reyes, M. Gallegos, y S. Czitrom. *Eutrophication in the lagoons of Cancún, México*. Science of the Total Environment, Supp.: 861-870. 1992.
- Merino, M., J. Sorensen, y D. Gutiérrez-Carbonell. *The fate of the Nichupté Lagoon System in the planning of Cancún, México, as an international Tourism Center*. In: F. Bandarin & J. Sorensen (Ed.), *The Management of Coastal Lagoons & Enclosed Bays*, 97-118. 1993.
- Perkins, C. A. Jr., *Sea Wave Energy Conversion*, United States Patent # 4,070,871., 1978.
- Reyes E., *Evaluación de la Productividad Primaria en la Laguna Bojórquez, Cancún, Quintana Roo, México*. Tesis de Maestría, México, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado del CCH e Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 1988.
- Reyes, E. y M. Merino. *Diel dissolved oxygen dynamics and eutrophication in a shallow well-mixed tropical lagoon (Cancún, México)*. Estuaries, 14 (4): 372-381. 1991.
- Ross, D., *Energy From The Waves*, Oxford, Inglaterra, Pergamon Press, 1981.
- Shing-Hsiung, W., *Sea Wave Lifting Device*, United States Patent # 4,231,712., 1980.
- U.S. Army, *Coastal Engineering Research Center. Shore Protection Manual*, Vol. 1, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1984.

Abstract

Ruiz, Francisco et al "A wave-driven seawater pumping device" *Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish)*, Vol IX, Num 2, pages 45-51, May-August, 1994.

Many coastal water bodies can benefit from an increase in their flushing rates. This would help ecological restoration and aesthetic improvement in many cases, and also increase productivity in the case of marine culture ponds. For these reasons, a device designed to promote seawater renewal in coastal water bodies is presented. This apparatus is powered by wave energy, and was developed and patented by the National Autonomous University of Mexico. The device has the following features: a simple design, the absence of submerged moving parts, a deliver of about 0.5 m³/s of seawater, a reduced operational cost, and low scarce maintenance.

Key words: sea water pumps, coastal lagoons, aqua-culture, Cancun.