

Influencia del Lecho Marino, en el Transporte de Energía Undimotriz Transmitida por las Olas.

Juan Manuel Murcia Pacheco*, Yesid Aurelio Franco Camacho** Camilo Leonardo Sandoval Rodríguez***

*Universidad Antonio Nariño, juamaing@hotmail.com, yesidfranco@gmail.com,
camisandoval@uan.edu.co

Resumen — El panorama energético en el planeta, ha originado la búsqueda constante de estrategias para cubrir la demanda de energía. De esta forma, se han estudiado fuentes renovables de energía como la undimotriz que es el tema central del presente estudio. Partiendo de las investigaciones en este tema, se observa al lecho como un elemento que interviene en la obtención de energía, lo que incentivó la elaboración de cuatro modelos diferentes de lechos marinos (lecho horizontal liso, horizontal ondulado, inclinado liso e inclinado ondulado), sencillos de implementar en diversos proyectos, con el objeto de analizar su incidencia en el transporte de energía a través de las olas.

Por esto, se construyó una cubeta de vidrio calculada para soportar la masa de agua y los esfuerzos causados por los elementos adicionales; también se implementó un dispositivo para impulsar la columna de viento que se aplicó a la masa de agua. Así mismo, se midieron bajo idénticas condiciones la deformación de una membrana colocada al final de la cubeta, usando imágenes de la deformación de la membrana, de tal forma que a mayor energía mayor es la deformación de ésta.

La medida de la deformación se realizó usando un algoritmo de procesamiento digital de imágenes, para obtener dos descriptores: el diámetro equivalente (distancia entre el centroide de la figura que contiene la membrana deformada y el punto más externo de la imagen) y el área equivalente (área de la imagen de la membrana deformada). De ésta manera los descriptores que presentan mayor valor indican una deformación mayor en la membrana y por supuesto dicta una influencia favorable del lecho que es el único elemento que cambia. Al aplicar el algoritmo a 69 fotogramas, los resultados mostraron al lecho ondulado inclinado como la condición más favorable en términos del transporte de energía undimotriz.

Palabras clave — Energía Undimotriz, lechos marinos, estimación de la energía transportada por las olas, procesamiento digital de imágenes.

Abstract — *The energetic overview in the world has originated the constant search of strategies to cover the energy demand. In this way, renewable energy sources have been studied and among them the wave energy, which is studied in this paper. Starting from other investigations on this topic, the seabed is seen as an element that is involved in energy obtention, which has encouraged in this work to the elaboration of four different models of seabed (horizontal smooth, horizontal undulated, tilted smooth and tilted undulated bed), that are easy to develop in several projects aimed to analyze their incidence on energy transport through waves.*

This is the reason why a glass bucket was calculated in order to stand the mass water and the stresses caused by additional elements; a device for driving the wind column that was applied to the mass water was also developed. In the same way, deformation of a membrane located at the end of the bucket was measured using images of the membrane deformation, in such a way that when there is more energy, the deformation is greater.

The deformation measurement was carried out using a digital image processing program to obtain two descriptors: the equivalent diameter (the distance between the center of the image that contains the deformed membrane and the most external point of the image), and the equivalent area (the area of the deformed membrane image). In this way the descriptors

that present a higher value indicate a greater membrane deformation and therefore a favorable influence on the seabed that is the only changing element. When applying the program to 69 photo-frames, the results showed the tilted undulated bed as the more favorable condition regarding wave energy transport.

Keywords — *Wave energy, seabed, energy transported by waves, image digital processing.*

I. INTRODUCCIÓN

La innegable posibilidad de la extinción de los recursos energéticos fósiles, la contaminación ambiental que producen las fuentes de generación de energía, entre otros motivos; ha conducido a la comunidad científica a considerar el aprovechamiento de fuentes energéticas alternativas renovables, tales como las derivadas del sol, del viento y del océano.

La gran disponibilidad universal que se tiene de los recursos marinos, hace que estos sean vistos como una fuente para suplir, en parte, la creciente demanda de potencia eléctrica. Por esto se considera importante, aportar conocimiento en el área, para que pueda ser usado en la explotación de este recurso. Así mismo, adecuar la tecnología que se está implementando actualmente, ya que las dificultades que implican las operaciones en el mar hacen que su extracción no resulte tarea fácil [1], [2]. Las posibilidades son muy variadas e incluyen las olas, las corrientes oceánicas [2], los gradientes térmicos y salinos del agua de mar, la marea y la morfología de la superficie marina.

También es cierto que se han realizado varios estudios en los que se incluyen la implementación de generadores [3], así mismo, un intento para analizar la energía mecánica proveniente de las olas se muestra en el trabajo realizado por R. Harrison [4]. De igual forma se presentan estudios experimentales donde se estima el potencial que genera el océano [5].

No obstante, en la literatura consultada no se evidencia el estudio de los lechos marinos y su influencia en el transporte de energía undimotriz. De este modo, esta investigación persigue determinar la incidencia de los lechos marinos en la manera en que se transporta la energía undimotriz, para una posterior transformación en energía eléctrica. Con esto se espera contribuir a la generación de conocimiento, a partir de la determinación del lecho marino apropiado para dicha transformación.

En la primera parte de este artículo se describen los materiales utilizados para las pruebas de laboratorio como son: el acuario, el generador de olas, la membrana elástica, los lechos marinos y el registro fotográfico. En la segunda parte se presentan los procedimientos para la realización de las pruebas y el algoritmo para el cálculo de los descriptores de la deformación de la membrana usando procesamiento digital de imágenes. En la siguiente sección

se muestran los resultados de las pruebas de laboratorio desarrolladas en el laboratorio de la Universidad Antonio Nariño, sede Bucaramanga.

Por último, se muestran recomendaciones para trabajos futuros, con el propósito de aportar a nuevos diseños que permitan una mejor productividad en el proceso del transporte de energía por medio de las olas y la optimización de la captación de energía undimotriz. Así mismo, se documentan las conclusiones a partir del análisis de resultados.

II. MATERIALES

El modulo consta de un acuario construido en vidrio, un generador de olas (ventilador y compresor), una membrana de látex, 4 diferentes lechos marinos y una cámara fotográfica digital. Las características principales de estos elementos se describen a continuación.

A. El acuario

El modelo construido se localiza geográficamente en el municipio de Bucaramanga, en el departamento de Santander, dentro del laboratorio de máquinas, de la Universidad Antonio Nariño sede Bucaramanga. En esta zona se tienen las siguientes condiciones climatológicas:

- Temperatura: mínimo 20°C, promedio 24°C y máximo 30°C.
- Clima: cálido húmedo con abundante lluvia en invierno.
- Altitud: 959 msnm.
- Humedad relativa del 80%.

Las dimensiones del acuario que se muestra en la Fig. 1. son: largo de 2m, ancho de 0,5m y altura de 0,50m. Para el espesor del vidrio de la base del fondo que está a la mayor presión, llenando el estanque hasta los 0,40m con agua se obtiene un valor de 10mm, dato dado por fabricantes de vidrio.

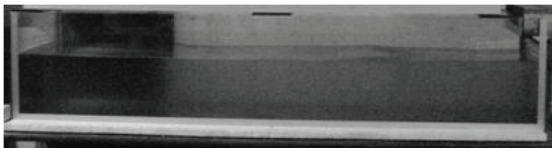


Fig. 1: Acuario.

B. El generador de olas

Para poder realizar la experimentación, fue necesario disponer de un modulo de aireación, con el fin de generar las olas en la superficie del agua. Este modulo, se denominó generador de olas y se muestra en la Fig.2.

Para lograr una ola, entonces se crea un flujo laminar de aire con el generador de olas de la Fig. 2, incidiendo en la superficie del agua al inicio de la cubeta, causando una perturbación. Dicha perturbación, no es otra cosa que una ola que viajara por la cubeta y colisionará al final con una membrana de látex que se deforma en mayor o menor cantidad, de acuerdo a la energía transportada.

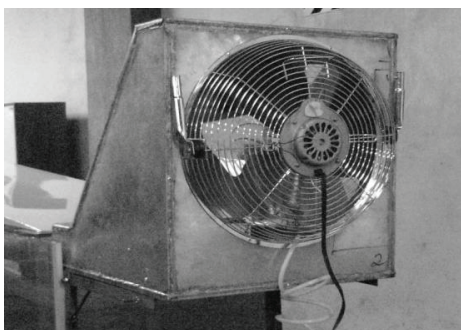


Fig. 2: Generador de olas.

C. La membrana de látex

En un marco rígido se coloca la membrana de látex (ver Fig.3) que actúa con su deformación como testimonio de la cantidad de energía que llega casi al final de la cubeta, para así determinar cualitativamente cual de los lechos propuestos presenta la condición más favorable al transporte de la energía undimotriz.



Fig. 3: Membrana de látex.

D. Los lechos marinos propuestos

El objetivo principal de la actual investigación es determinar qué tipo de lecho favorece el transporte de energía undimotriz. Por tal motivo, se construyeron cuatro lechos diferentes los cuales se muestran en las Fig 4, 5, 6 y 7. Estos lechos se depositaron en el fondo del acuario para simular condiciones diferentes en el fondo, manteniendo constantes las condiciones externas de creación de las olas.

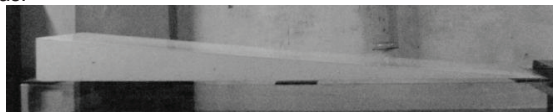


Fig. 4: Lecho inclinado liso.

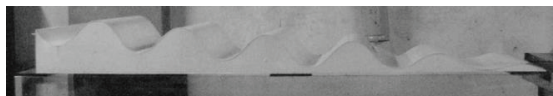


Fig. 5: Lecho inclinado ondulado.

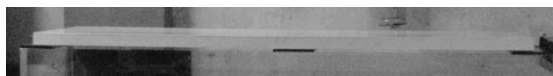


Fig. 6: Lecho liso horizontal.

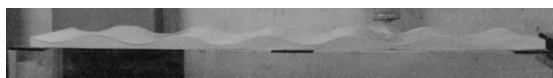


Fig. 7: Lecho ondulado horizontal.

E. La cámara fotográfica

La cámara fotográfica utilizada para el registro de fotogramas es una SONY Cyber-shot DSC-S650, de 7.2 mega pixeles de resolución con balance de blanco automático, con una velocidad para video de 30 fps (fotogramas por segundo).

III. MÉTODOS

En esta sección se muestran los pasos ejecutados para la realización del experimento, el cálculo de la muestra para el procesamiento de imágenes y la explicación del algoritmo relajado en Matlab, para la estimación cualitativa de la energía undimotriz. Cabe anotar que las pruebas fueron llevadas a cabo en el mismo laboratorio y bajo las mismas condiciones externas de iluminación, con el fin de garantizar la uniformidad de dichas pruebas.

A. Pasos para la realización de las pruebas.

Con el fin de normalizar la ejecución del experimento se implementó una secuencia de pasos que fue llevada a cabo durante las 4 pruebas realizadas (una por cada lecho), los pasos requeridos son los siguientes:

1. Llenar el acuario con agua, a una altura de 40 cm.
2. Introducir el lecho marino en el acuario y depositarlo en el fondo.
3. Instalar la membrana de deformación al lecho marino y al borde superior del acuario.
4. Ubicar la cámara fotográfica digital para la toma del registro fotográfico en formato de video, situándola perpendicularmente con el costado de la cubeta y alineándola con la membrana de látex. La distancia entre el acuario y la cámara, fue constante en cada condición diferente de lecho marino. Adicionalmente, encender la cámara y realizar la grabación del video durante 30 segundos.
5. Posicionar la inclinación del generador de olas en 120 grados y encender el generador de olas.
6. Proceder a cambiar el lecho y empezar nuevamente el procedimiento hasta completar las pruebas con los cuatro lechos.
7. Finalmente a través de Matlab realizar el tratamiento de imágenes para obtener los descriptores de la deformación de la membrana. Dicho proceso se describe en la sección C.

B. Calculo del tamaño de la muestra.

Es importante destacar que debido a que la extensión de cada video tomado es de 30 segundos y como la velocidad de video de la cámara utilizada es de 30 fps, la cantidad de fotogramas de cada video es entonces de 900. Realizar el tratamiento de imágenes digitales a 900 fotogramas por prueba es impráctico, por tal motivo se decidió tomar una muestra representativa, cuyos elementos constitutivos fueron elegidos en forma aleatoria. En este sentido, para calcular el tamaño de la muestra representativa se tuvieron en cuenta los siguientes datos:

- Tamaño del universo= 900 fotogramas
- Error máximo aceptable= 5%
- Porcentaje estimado de la muestra= 5% al 95%
- Nivel deseado de confianza= 95%

Con estos parámetros, el tamaño de la muestra calculado es de 66,5 fotogramas, al aproximarlos se tiene un total de 67 fotogramas para evaluar los descriptores por cada video tomado (uno por lecho).

C. Obtención de los descriptores de la deformación de la membrana.

Para la obtención de los descriptores de la deformación de la membrana, se requiere de la aplicación de una serie de fases sobre cada imagen, dichos procedimientos o fases se describen a continuación:

1. Lectura de la Imagen: la lectura de la imagen se refiere a introducir la imagen a Matlab, para esto es necesario garantizar que la imagen se haya generado en un formato que sea compatible. Para este caso se utilizaron imágenes en formato JPEG (Joint Photographic Experts Group).
2. Binarización de la imagen: la binarización de una imagen consiste en un proceso de reducción de la información de la misma, en la que solo persisten dos valores: verdadero y falso. En una imagen digital, estos valores, verdadero y falso, pueden representarse por los valores 0 y 1, o más frecuentemente, por los colores negro (valor de gris 0) y blanco (valor de gris 255). Una imagen binaria como la que se muestra en la Fig. 8, se usa según [6] para

identificar individualmente objetos de interés o para crear mascarar sobre regiones. En muchos casos, una imagen binaria es precedente de una segmentación por niveles de gris o de una segmentación por selección de un rango de color determinado. En otros casos, una imagen binaria es simplemente el resultado de una selección interactiva de regiones de interés, las cuales se utilizan como mascarar de comparación o referencia. [6]

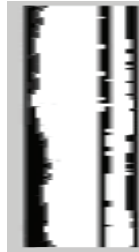


Fig. 8: Imagen de la membrana deformada (parte izquierda).

3. Segmentación: en este paso, se separan los objetos de interés, para el caso particular, se requiere extraer la imagen de la membrana deformada (parte izquierda de Fig. 8) de los demás objetos (los objetos son los elementos en blanco de la imagen). Nótese que de los dos objetos, la imagen de la membrana posee mayor cantidad de pixeles, por tanto un criterio para la separación fue la cantidad de pixeles que pertenecen a cada zona, desechando de esta forma los de menor cantidad. El resultado de la segmentación para aislar el objeto de interés, se muestra en la Fig. 9.



Fig. 9: Imagen del objeto de interés extraído por segmentación.

4. Medida del área en pixeles: una vez extraído el objeto de interés, se procede a calcular los descriptores de la deformación de la membrana. Una de las alternativas para ser tomada como descriptor de la deformación de la membrana, es el área de la membrana deformada (objeto aislado en la Fig 9). Este parámetro fue calculado usando Matlab, donde el área en pixeles corresponde a la cantidad de superficie que ocupan y que corresponde al objeto de interés. Entre mayor sea el área, la deformación será mayor y así la energía transportada, quien causa la deformación, será a su vez mayor.
5. Medida del diámetro equivalente: el otro descriptor de la deformación propuesto fue el diámetro equivalente. Esta cantidad es calculada como la distancia establecida entre el centroide del objeto (membrana deformada) y el punto más externo del objeto (punto encontrado en el extremo izquierdo), de tal forma que esta distancia entre mayor sea, así será la deformación de la membrana y por ende la energía transportada por las olas.

En la Fig.10, puede verse el flujograma del algoritmo propuesto para obtener los descriptores.

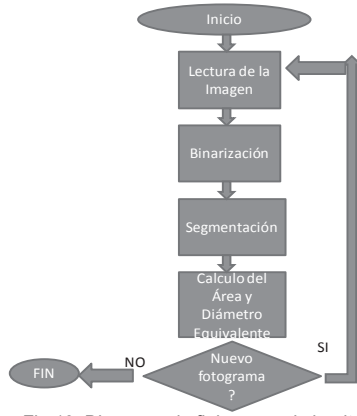


Fig.10: Diagrama de flujo, para el algoritmo de tratamiento de imágenes en Matlab.

Los resultados de aplicar el algoritmo a los 67 fotogramas de cada lecho, se muestran en la siguiente sección.

IV. RESULTADOS

Aplicando el proceso de tratamiento de imágenes usando Matlab, se obtuvieron los dos descriptores de deformación de la membrana (Área en pixeles y diámetro equivalente). Los resultados de los descriptores para cada lecho se muestran en las figuras 11 a 18.

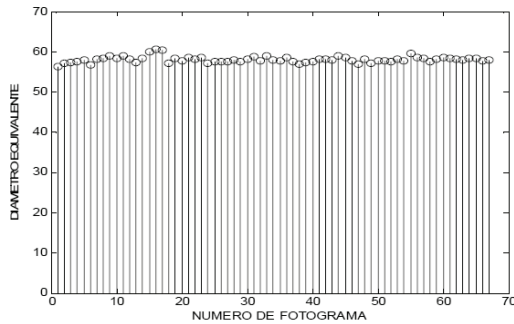


Fig. 11: Comparación de diámetros tomados de Matlab del lecho inclinado liso

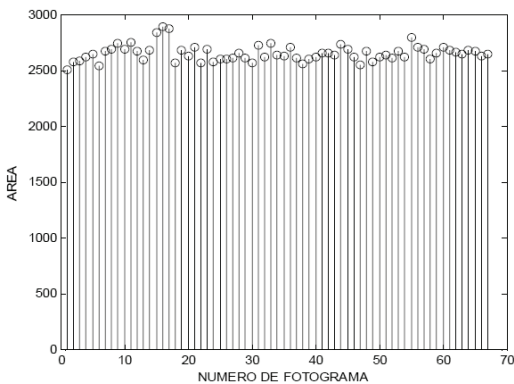


Fig. 12: Comparación de áreas tomadas de Matlab del lecho inclinado liso

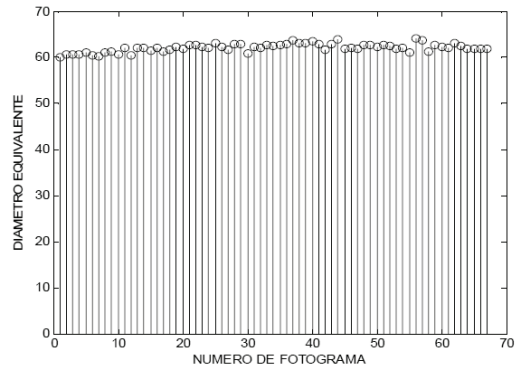


Fig. 13: Comparación de diámetros tomados de Matlab del lecho inclinado ondulado

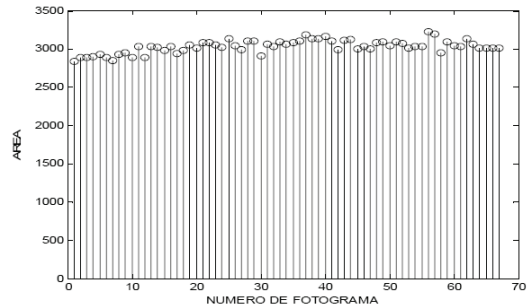


Fig. 14: Comparación de áreas tomadas de Matlab del lecho inclinado ondulado

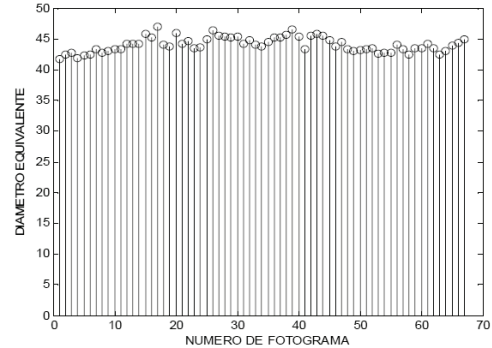


Fig. 15: Comparación de diámetros tomados de Matlab del lecho recto liso.

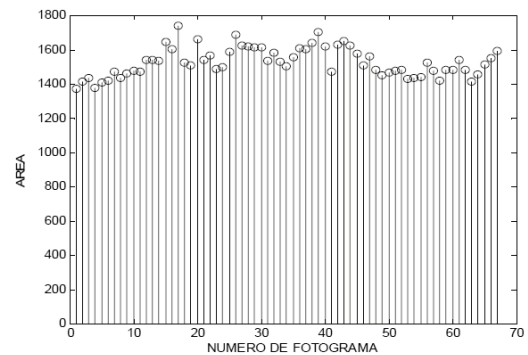


Fig. 16: Comparación de áreas tomadas de Matlab del lecho inclinado recto liso

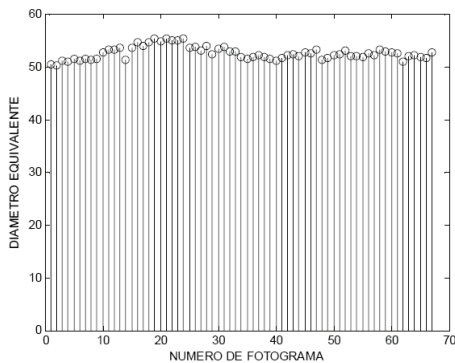


Fig. 17: Comparación de diámetros tomados de Matlab del lecho recto ondulado

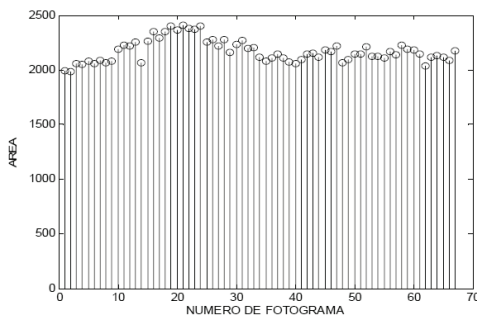


Fig. 18: Comparación de áreas tomados de Matlab del lecho recto ondulado

Como se puede ver de cada una de las figuras (de la 11 a la 18), los resultados muestran que la dispersión, en términos de alguna medida de tendencia central (promedio por ejemplo), pudiera ser válida para el conjunto de 67 elementos tomados por cada lecho. En la tabla 1, se muestra un resumen de los resultados calculados para cada lecho.

TABLA I

RESULTADOS FINALES PARA LOS LECHOS MARINOS DE ACUERDO A MATLAB

Tipos de lecho	Diámetro y desviación estándar en pixeles	Área y desviación estándar en pixeles
Inclinado ondulado	62,1356 $\sigma=0.9153$	3034,1 $\sigma=84.8630$
Inclinado liso	58,1409 $\sigma=0.7696$	2652,4 $\sigma=72.3818$
Recto ondulado	52,8262 $\sigma=1.2429$	2172,8 $\sigma=103.4441$
Recto liso	44,0380 $\sigma=1.2074$	1527,4 $\sigma=83.9394$

En las Fig. 19 y 20, se muestra las graficas de comparación de las deformaciones de la membrana en cada uno de los lechos propuestos. Estas son obtenidas a partir de los datos colocados en la tabla 1.

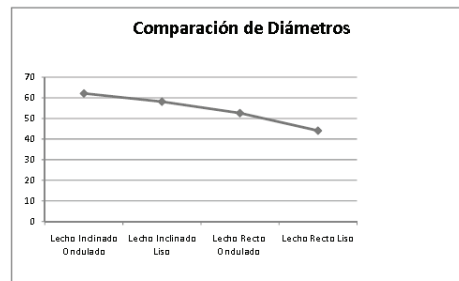


Fig. 19: Comparativo de los diámetros de los cuatro tipos de lechos

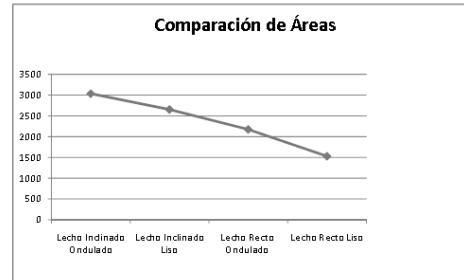


Fig. 20: Comparativo de las áreas de los cuatro tipos de lechos
Es importante tener en cuenta que se ha tomado el promedio de las mediciones de diámetro equivalente y área, como valor representativo de cada descriptor, ya que según los datos de la tabla 1, la desviación estándar es bastante pequeña en comparación con los promedios de los descriptores registrados en la misma tabla. Este hecho se puede también inferir observando las figuras (11 a la 18).

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha visto que al modificar el lecho marino de liso a ondulado en ambos casos (inclinado u horizontal) se transmite una mayor cantidad de energía undimotriz según el procesamiento digital de imágenes de Matlab de los fotogramas correspondientes a la membrana deformada. Igualmente, el lecho que favorece en mayor medida el transporte de energía undimotriz es el lecho ondulado inclinado (ver Fig 19 y 20). Así mismo se han planteado dos descriptores, como índices de la deformación de la membrana, dando un resultado coherente entre las mediciones de ambos descriptores ver tabla 1 y figuras 19 y 20.

Para finalizar, en este trabajo se ha propuesto al tratamiento digital de imágenes como una alternativa para la estimación de la energía transportada por las olas.

REFERENCIAS

- [1] Wright, J.E., Spring Book Reviews-Power from the sea-, Electronics & Power, IEEE April 1996.
- [2] Jahangir Khan, Ali Moshref, Gouri Bhuyan , "A Generic Outline for Dynamic Modeling of Ocean Wave and Tidal Current Energy Conversion Systems", IEEE 2009
- [3] A. M. Tuckey, D. J. Patterson and J. Swenson, "A Kinetic Energy Tidal Generator in the Northern Territory - Results." Centre for Energy Studies, Northern Territory University, Darwin N.T. 0909 Australia. 2008.
- [4] R. Harrison, B.Sc, Ph.D., K.G. Smith, B.Sc, and J.S. Varley, B.Sc, M.Sc. "Energy analysis of wave and tidal power", Paper 722A, received 22nd February 1999
- [5] Koh Siang Lee, Professional Engineer, Board of Engineers, Malaysia, and Lim Yun Seng, Department of Electrical and Electronic Engineering, Tunku Abdul Rahman University, Malaysia "Preliminary Investigation of the Potential of Harnessing Tidal Energy for Electricity Generation in Malaysia". Transactions IEEE. 2008
- [6] Gonzalez R.C. y Wintz P, Digital Image Processing ,Addison-Wesley Publishing Company, London, p 431. 1977