

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**



**RELACIÓN ENTRE LA ACTIVIDAD DE "LA BUFADORA" Y VARIABLES FÍSICAS  
OCEANOGRÁFICAS (OLEAJE Y MAREA), EN LA PENÍNSULA DE PUNTA BANDA, ENSENADA,  
BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.**

**TESIS**

**QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL  
GRADO DE**

**LICENCIADO EN OCEANOLOGÍA**

**PRESENTA**

**BRAULIO JUÁREZ ARAIZA**

**ENSENADA, BAJA CALIFORNIA A AGOSTO DEL 2013**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

RELACIÓN ENTRE LA ACTIVIDAD DE “LA BUFADORA” Y VARIABLES FÍSICAS OCEANOGRÁFICAS  
(OLEAJE Y MAREA), EN LA PENÍNSULA DE PUNTA BANDA, ENSENADA, BAJA CALIFORNIA,  
MÉXICO.

TESIS

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL GRADO  
DE

LICENCIADO EN OCEANOLOGÍA

PRESENTA

BRAULIO JUÁREZ ARAIZA

Aprobada por:



---

M.C. Luis Felipe Navarro Olache

Director de tesis



---

Dr. José Rafael Blanco Betancourt

Sinodal



---

Dr. Rafael Hernández Walls

Sinodal

## Resumen

La localidad turística conocida como La Bufadora, ubicada al suroeste de la ciudad de Ensenada, es conocida a nivel mundial por el fenómeno de expulsión de agua en chorro que se observa en este lugar, dada la importancia económica que representa este sitio para la ciudad de Ensenada, se intentó por primera vez encontrar una relación entre dicho fenómeno, el oleaje y la marea medidos *in situ*. El objetivo es poder predecir las temporadas con alta o baja actividad del chorro de agua de La Bufadora. Para lograr este objetivo, se utilizó la ecuación teórica de Bernoulli. Se calculó la diferencia de presión en la cueva marina y la velocidad a la cual sale el chorro de agua. Se encontraron coincidencias que guardan el periodo del oleaje y los chorros de agua de La Bufadora, siendo los periodos de 10 a 15 segundos y de 10 a 20 segundos respectivamente. Los chorros de agua son expulsados a una velocidad de  $17.46 \text{ m/s} \pm 2.7$ , se calculó que la cueva de La Bufadora presenta una diferencia de presión ( $P_1 - P_2$ ) de  $159.91 \text{ KPa} \pm 47.32$ , en cuanto a las dimensiones, el área de salida de la cueva es menor, ya que es 0.0078 veces el área de entrada. Se encontró que en las mareas intermedias los eventos son numerosos (aproximadamente 3 eventos por minuto) con alturas que oscilan entre los 9 y 20 metros, siendo la mayoría de veces eventos con alturas de más de 16 m. De la misma forma, en la marea viva se encontró que la cantidad de eventos es numerosa, sin embargo, la mayoría de estos eventos no sobrepasaban los 10 metros de altura. Para la marea muerta se tienen escasos eventos y la mayoría se presentan en lapsos de tiempo largos, siendo en algunos casos, un periodo mayor a un minuto. Se observó una diferencia en la cantidad y magnitud de los eventos en la marea de reflujo o flujo; cuando la marea desciende, se encontró que la cantidad de eventos era mayor (249) al igual que la ocurrencia de alturas superiores a los 10 m., sin embargo cuando la marea sube la cantidad de eventos es baja (43) y la ocurrencia de alturas mayores a 10 m. es menor. El producto final que se logró obtener fue una tabla de predicción mensual de la actividad de La Bufadora en base al estado de la marea. Siendo en los extremos de las mareas vivas cuando la actividad podría ser baja ó poco atractiva para los visitantes ya que la cueva marina podría estar completamente sumergida o el nivel del mar podría estar demasiado bajo evitando que el volumen de agua aportado por las olas penetre en la cueva.

**Palabras clave:** *Bufadora, oleaje, mareas, Bernoulli.*

## Dedicatoria

Primeramente quiero dedicar esta tesis a mi abuela Adela Tellez, que siempre está en mi corazón y a quien tanto extraño. Esta va por tí abue

A mis abuelos, Diego Araiza y mi abuelita Chabela.

A mis jefes, simplemente sin ellos este primer “gran logro” no hubiera sido posible. Gracias por su paciencia, comprensión y apoyo incondicional. Los quiero hartos.

A mis hermanos, Gabo y Bruno. Gabo por ser todo un ejemplo como hermano y Bruno por aguantar todo el estrés que se tiene al ser el menor. Los quiero brothers

A mi compañera de casi 7 años, Natalia Illescas, gracias amor por todo, por la paciencia y los consejos, pero sobre todo por tu amor. Te amo

A mis amigos que, aunque son contados con los dedos, fueron incondicionales y me ayudaron en todo momento por más difícil que fuera. Ustedes saben quiénes son.

## Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Marinas, por ser el segundo hogar mío y de varios compañeros, y al Instituto de Investigaciones Oceanológicas por apoyar este proyecto.

A mi director de tesis, el M.C. Luis Felipe Navarro Olache, por darme la oportunidad y la confianza de realizar este trabajo, sin el no hubiera sido posible, gracias por la paciencia y por toda la ayuda que me brindó cuando estaba en momentos difíciles y sobre todo gracias por el tiempo dedicado a este trabajo.

A mis sinodales, el Dr. José Rafael Blanco Betancourt, por ser parte de este trabajo, por los datos de oleaje y por los programas que me facilitaron este trabajo y al Dr. Rafael Hernández Walls por su ayuda en la parte teórica de este trabajo y de igual forma por haber aceptado ser parte del mismo. Gracias a los dos por haberse tomado el tiempo de revisar y de haber enviado sus comentarios.

A mis padres, hermanos, a mi tía Norma, mis primos Dany y Pao, mis tíos, Diego, Manuel y Marlen, mi abuelito Diego y mi abue Chabela, mis tíos y primos de parte de la familia Juárez gracias por haber venido a mi acto académico. En pocas palabras GRACIAS FAMILIA.

A la segunda mujer más hermosa del mundo, sólo después de mi madre, Natalia gracias por todo. Te amo

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
I. Introducción	1
I. 1. Hipótesis	6
I. 2. Objetivos	6
I. 2. 1. Objetivos generales	6
I. 2. 2. Objetivos particulares	6
II. Descripción del área de estudio	7
III. Metodología	9
III. 1. Primer Fase	10
III. 2. Segunda Fase	10
III. 3. Bernoulli	13
IV. Resultados	16
IV. 1. Oleaje	16
IV. 2. Marea	23
IV. 3. Aplicación de la ecuación de Bernoulli	28
IV. 4. Predicción de La Bufadora para el mes de Julio.	30
V. Discusiones.	32
VI. Conclusiones	37
VI. Literatura citada	38

## Índice de figuras

Figura		Página
1	Fotografía de chorro de agua expulsado por la cueva marina en la localidad de La Bufadora.	1
2	Mapa de localización. (Parte superior izquierda: vista de la Bahía de Todos Santos). Se observa con un rombo la ubicación donde se instaló el ADP-Triton y con un rectángulo la ubicación de la cámara de video y con un círculo La Bufadora	8
3	Imagen con las escalas y la ubicación de las zonas. La zona 1 comprendía una altura hasta los 9.5 m, la zona 2 de los 9.5 hasta los 15.24m, la zona 3 va de los 15.24 hasta los 19.32m. y la zona 4 va de los 19.32 a los 23.33 m. o más. (todas estas alturas ya incluyen la distancia entre la posición de la cámara y el nivel del mar).	12
4	Representación idealizada de la cueva marina de La Bufadora, donde $\rho$ es la densidad, $v$ es la velocidad (1 entrada, 2 de salida, 3 velocidad a una altura máxima y es igual a cero), $P$ es la presión, $h$ es la altura de referencia ( $h_1$ y $h_2$ son iguales), $A$ es el área de entrada ( $A_1$ ) y de salida ( $A_2$ ) y $H$ es la altura del chorro de agua.	13
5	(a) Serie de tiempo de 17 minutos de la amplitud del oleaje en metros. (b) velocidad de fase en la componente horizontal ( $u_0$ ). (c) componente vertical de la velocidad de fase ( $v_0$ ). Ambas velocidades en m/s.	16
6	Marea del 24 de Septiembre (Zona horaria ZT -8). En rojo se indican el nivel de la marea mientras se realizaba la toma de video (Nivel de referencia: BMI).	17
7	<i>Izquierda:</i> Histograma que muestra las alturas del chorro de agua. <i>Derecha:</i> Histograma de altura del oleaje. Ambas figuras del día 24 de Septiembre.	18
8	<i>Izquierda:</i> Histograma que muestra los periodos de los eventos. <i>Derecha:</i> Histograma del periodo del oleaje Ambas figuras del día 24 de Septiembre.	19
9	Marea del 27 de Septiembre (Zona horaria ZT -9). En rojo se indican el nivel de la marea mientras se realizaba la toma de video (Nivel de referencia: BMI).	20

Figura		Pagina
10	<i>Izquierda:</i> Histograma que muestra las alturas del chorro de agua. <i>Derecha:</i> Histograma de altura del oleaje. Ambas figuras del día 27 de Septiembre.	21
11	<i>Izquierda:</i> Histograma que muestra los periodos de los eventos. <i>Derecha:</i> Histograma del periodo del oleaje. Ambas figuras del día 27 de Septiembre.	22
12	Marea del 19 de Noviembre (Zona horaria ZT -8). En negro se indican el nivel de la marea mientras se realizaba la toma de video (Nivel de referencia: BMI).	23
13	Histogramas con el porcentaje de ocurrencia <i>Izquierda:</i> periodos de los eventos. <i>Derecha:</i> altura de eventos. Ambas figuras del día 19 de Noviembre.	24
14	Altura vs periodo de los eventos del día 19 de Noviembre.	24
15	Marea del 30 de Noviembre (Zona horaria ZT -8). En negro se indican el nivel de la marea mientras se realizaba la toma de video (Nivel de referencia: BMI).	25
16	Histogramas con el porcentaje de ocurrencia <i>Izquierda:</i> periodos de los eventos. <i>Derecha:</i> altura de eventos. Ambas figuras del día 30 de Noviembre.	26
17	Altura vs periodo de los eventos del día 30 de Noviembre.	26
18	Marea del 05 de Diciembre (Zona horaria ZT -8). En negro se indican el nivel de la marea mientras se realizaba la toma de video (Nivel de referencia: BMI).	27
19	Histograma con porcentajes de ocurrencia de los periodos del día 5 de Diciembre.	28
20	a) Serie de tiempo (~11 min.) de amplitud del oleaje a las 10 am del día 24 de septiembre. b) Serie de tiempo (~11 min) de las alturas del chorro de agua en La Bufadora. c) Serie de tiempo de las velocidades de entrada ( $V_1$ ) del mismo día y misma hora.	29
21	Calendario mensual de Julio con la predicción de la actividad de La Bufadora (Nivel de referencia: BMI).	31
22	Desplazamiento de una partícula de agua para aguas someras y aguas profundas (imagen del Shore Protection Manual).	34

**Figura****Pagina**

- 23 a) Velocidad de entrada ( $V_1$ ) medida del Triton en m/s el 24 de Septiembre a las 10 am. b) Velocidad de salida (m/s) calculada a partir de la altura de los eventos del mismo día a la misma hora. c) Cociente de velocidades ( $V_1/V_2$ ) con línea de tendencia y ecuación del gráfico que muestra la pendiente ( $m=1.2 \times 10^{-5}$ ).

35

## Índice de Tablas

Tabla		Página
I	Se muestran las alturas y periodos significantes del oleaje (Hs y Ts) y de La Bufadora (Hsb y Tsb) y el promedio de la velocidad absoluta del oleaje para cada día ( $ V_o $ ).	22

## I. INTRODUCCIÓN

El fenómeno natural conocido como La Bufadora, o *Blowhole* en inglés, consiste en un chorro de agua, expulsado violentamente en la vertical, después de que oleaje arribando a la costa choque con el cantil de roca sólida ubicado en la localidad turística de la Bahía El Papalote, al sur oeste de la Bahía de Todos Santos. Este fenómeno se presenta en varias partes del mundo, en la localidad de Halona, en Hawaii, Estados Unidos y el de Kiama, localizado en Nueva Gales del Sur, Australia; sin embargo el área turística de La Bufadora, en la Bahía El Papalote en Ensenada B.C. México, es considerablemente el más alto y espectacular del mundo. La figura 1 es una fotografía de La Bufadora al momento de expulsar un chorro de agua de aproximadamente 20 m. de altura.



Figura 1. Fotografía de chorro de agua expulsado por la cueva marina en la localidad de La Bufadora.

El fenómeno de La Bufadora es el resultado de la interacción entre una cueva marina (con características morfológicas particulares y hasta hoy desconocidas), el oleaje y el nivel del mar. Aquí un volumen de agua arribando a la costa por

oleaje, a un nivel de mar dependiente de las mareas, es forzada a penetrar a través de una pequeña abertura, proporcionándole el impulso para ser expulsada a una altura visible que es función de la velocidad de arribo y la misma altura del oleaje. Este fenómeno natural es uno de los atractivos turísticos más visitados e importante para el municipio, por la derrama económica que genera a través de las visitas al lugar, sin embargo a pesar de la fama local del sitio, en ocasiones el fenómeno de la expulsión del chorro de agua puede ser de pequeña altura e inclusive nulo, quitando el principal atractivo de éste destino turístico y frustrando el viaje de aproximadamente una hora desde el centro de la ciudad. Por tal motivo el interés de este trabajo es presentar información predictiva de la probabilidad de ocurrencia del fenómeno y de las condiciones de los chorros de agua en el lugar, de tal forma que se pudiera consultar o programar un viaje al visitar La Bufadora, contando con una certeza de observación de este fenómeno.

El funcionamiento de La Bufadora es mecánicamente simple: cuando la cresta de una ola llega al cantil donde se encuentra la cueva, parte de la ola se refleja y otra parte penetra por las hendiduras de la cueva, desplazando el aire dentro de ésta. Considerando que el agua es incompresible, el aire desplazado sale de la cueva produciendo un chorro de aire y agua que depende directamente del volumen de agua llegando en la ola (Velasco-Fuentes, 2012) así como otros posibles parámetros como la velocidad y el periodo del oleaje. El volumen de agua que arriba a la costa está relacionado directamente con el oleaje que llega a la costa.

El oleaje de mayor altura que arriba a la Bahía de Ensenada es el oleaje de tormentas lejanas (swell) de invierno y verano. Este oleaje se propaga desde el oeste y del NO en invierno y del SO en verano. El oleaje de invierno es producido por vientos de tormenta tras los frentes fríos que periódicamente azotan la zona de Alaska, Washington, California Estados Unidos y el oleaje de verano proviene de los mares de sur de Australia y la corriente circumpolar antártica (Martínez-Díaz de León, 2004). Observaciones sistemáticas muestran que los vientos y las olas locales tienen poco efecto sobre el tamaño y el progreso del oleaje cercano a la costa. El oleaje de tormentas lejanas (mar de fondo) es capaz de pasar a través de oleaje generado localmente, sin obstáculos ni interacción. Esto se debe a que, una vez que la ola swell ha abandonado el área de tormentas, la altura de la ola disminuye a unos pocos centímetros (Brown *et al*; 1989). Bigelow y Edmondson (1947) generaron una tabla de frecuencias de alturas de ola basada en 40,164 muestras tomadas de barcos veleros registrados por Schumacher (1939), los autores indican que el 80% de las olas oceánicas en general, tienen alturas menores a 3.6 m (Kinsman, 2002). En teoría, si las alturas y frecuencias de todas las olas que contribuyen son conocidas, es posible predecir las alturas y frecuencias de las olas más grandes con precisión (Brown *et al*; 1989). En este trabajo se pretende encontrar una relación entre la altura del chorro de agua, la marea y el oleaje, considerando que las presiones, velocidades y alturas pueden ser representadas por una simplificación de la ecuación de Bernoulli.

Las ondas oceánicas más largas por las cuales viajan las olas de tormenta son las mareas. Las mareas están caracterizadas por un aumento y disminución

rítmica del nivel del mar en un periodo de horas (Brown *et al*; 1989). Las mareas son el resultado de la interacción de una superficie plástica como el mar ante un esfuerzo de la atracción gravitatoria de las masas que gravitan la Luna, el Sol y otros astros celestes. Las mareas en el mar se pueden clasificar según el periodo de onda que generan; las mareas diurnas son en las que únicamente se observa una cresta (pleamar) y un valle (bajamar), en las mareas semi-diurnas se observan dos crestas y dos valles en un periodo de 24 horas. Otra forma de clasificar las mareas es en relación a la magnitud de la amplitud de la pleamar y la bajamar. Se denomina marea viva al fenómeno de marea producido durante la Luna Nueva o la Luna Llena; entonces la amplitud de la pleamar (y de la bajamar) son mayores que el promedio. En estas fases, las mareas se producen por la acción conjunta de las fuerzas de atracción del Sol y la Luna. De modo similar, la llamada marea muerta está relacionada con el primero y el último cuarto lunar; entonces alcanzan una amplitud algo menor que la mitad de una marea viva (Feinstein, 1999). La importancia de las mareas para este trabajo es la de formar la base por la cual las olas se desplazan a lo largo de las oscilaciones de 12-6 horas de duración.

El fenómeno de La Bufadora, se cree que se debe a la combinación de la presión ejercida por las olas que arriban a la cueva y la geometría de la cueva. Dando una solución en función de la ecuación de Bernoulli la cual relaciona la energía del sistema por unidad de volumen, esto es energía cinética, la energía potencial y la presión. Usando la ecuación de Bernoulli es posible predecir la presión, la altura y la velocidad a la cual saldrá el chorro de agua.

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho * g * h_1 + P = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho * g * h_2 + P \dots(1)$$

Los primeros términos de la ecuación 1 son la energía cinética por unidad de volumen, antes y después del arribo de la ola a la cueva. La energía cinética es  $\frac{1}{2}\rho v^2$ ,  $\rho$  es la densidad del fluido y  $v$  es la velocidad, que en este caso es la velocidad con la que la ola llega a la cueva. El segundo término es la energía potencial gravitacional por unidad de volumen, es la presión hidrostática y esta varía dependiendo de la altura de la ola que arriba a la cueva. La presión hidrostática es  $\rho * g * h$  donde  $\rho$  es la densidad del fluido,  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $h$  es la altura en el plano horizontal en que se encuentra la cueva. El último término, el de la Presión ( $P$ ) se refiere a las presiones ejercidas por el volumen de agua que arriba a la cueva ( $P_1$ ) y la presión a la que sale el volumen de agua de la cueva ( $P_2$ ).

En caso de encontrar de qué forma se relacionan, la actividad de La Bufadora, el oleaje y la marea, se podría contar en un futuro con una predicción de los meses, días u horas con mayor actividad, para que los turistas puedan disfrutar del fenómeno.

## I.1. HIPÓTESIS

La actividad de La Bufadora se relaciona a parámetros de oleaje, como su altura y periodo, y al nivel de marea. Así que es posible estimar las temporadas de alta actividad.

## I.2. OBJETIVOS

### I.2.2. OBJETIVOS GENERALES

Estudiar el fenómeno físico de La Bufadora, utilizando el oleaje medido en un punto. Comparar variables oceanográficas (altura, periodo y nivel de marea) con la actividad de La Bufadora para poder encontrar una probable relación entre estas variables.

### I.2.1. OBJETIVOS PARTICULARES.

- Comparar velocidad y presión de arribo del oleaje, con la velocidad y altura del chorro de agua de La Bufadora.
- Calcular el volumen de agua que sale de cada chorro de agua.
- Realizar una predicción de eventos en La Bufadora en función a la predicción de la marea y el oleaje.

## II. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.

La Bufadora se encuentra en la Bahía Papalote, ubicada en el extremo oeste de la saliente Punta Banda, aproximadamente entre la latitud  $31.73^{\circ}\text{N}$  y longitud  $116.72^{\circ}\text{W}$ , es una punta rocosa de aproximadamente 12 Km de extensión que sobresale de la península a partir de la falla de Agua Blanca, la cueva marina se encuentra en un acantilado de andesita basáltica que se remonta al periodo Cretácico temprano (Velasco Fuentes, 2012). El eje de la bahía, orientada en dirección suroeste, tiene una longitud de aproximadamente 825 m, la boca, donde la profundidad alcanza los 50 m, es de aproximadamente 1000 m de ancho. La amplitud de la marea en esta área puede llegar a 270 cm durante las mareas de primavera, pero el promedio de la diferencia entre pleamar y la bajamar es de sólo 160 cm. La Bahía Papalote está expuesta a oleaje tipo swell persistente durante todo el año. La altura de ola significativa (definida como el promedio de un tercio de las alturas de ola más altas  $H_s$ ) tiene una marcada estacionalidad.

Las olas más altas son en invierno, cuando  $H_s$  esta entre 60 y 90cm durante el 50% del tiempo y ocasionalmente alcanza 240cm; las olas más bajas son encontradas en verano, cuando  $H_s$  se encuentra entre los 50 y 60cm durante el 50% del tiempo y ocasionalmente alcanza 120cm (Martínez Díaz de León, 1993). El periodo pico espectral ( $T_p$ ), definido como el inverso de la frecuencia a la cual el espectro de energía de olas alcanza el máximo, no muestra estacionalidad. Más del 90% del tiempo  $T_p$  está en el rango de los 11-19 segundos, donde el 55% del tiempo está entre los 14-16 segundos (Hernández Hernández 2004).



Figura 2. Mapa de localización. (Parte superior izquierda: vista de la Bahía de Todos Santos). Se observa con un rombo la ubicación donde se instaló el ADP-Triton y con un rectángulo la ubicación de la cámara de video y con un círculo La Bufadora

### III. METODOLOGÍA.

La base de datos de oleaje, corrientes y nivel del mar fue obtenida mediante un perfilador acústico de corrientes Doppler (ADP) Triton, Sontek de 1000 kHz. El aparato inició la colecta de datos el 14 de Septiembre del 2011 a las 10 am y concluyó el 08 de Mayo del 2012 a las 05 am. El instrumento fue programado para registrar datos de oleaje, corrientes y marea cada 3 horas, para el oleaje se colectaron datos cada segundo por 17 minutos de forma continua acumulando 1024 muestras por ráfaga, un dato de nivel del mar cada 3 horas y 1024 datos de las componentes de velocidad horizontal  $u$  y  $v$ . El aparato fue instalado a ~22 m de profundidad, frente a la zona de estudio.

Se midió la presión total (atmosférica, hidrostática y dinámica) de la columna de agua así como la velocidad de fase ( $u v w$ ); a la presión total se le sustrajo la contribución debida a la presión atmosférica e hidrostática, quedando solo la contribución de la presión dinámica debida al oleaje, de esta última se estimó la amplitud del oleaje y el periodo, y con el promedio de las primeras 300 velocidades  $u v$  se calculó la velocidad resultante  $V = \sqrt{u^2 + v^2}$ .

Simultáneamente se instaló frente a La Bufadora (Figura 2) una cámara de video para grabar los chorros de agua y posteriormente analizarlos. La metodología para la toma de videos se puede describir en dos fases.

### III.1. Primer Fase.

La primera fase tuvo como objetivo principal la grabación de eventos en sincronía con la toma de datos del ADP. La toma de videos fue durante pleamar y bajamar. El 24 de Septiembre del 2011 se inició la toma de videos a las 08:25, 39 minutos después de la primer pleamar; se iniciaba la grabación y cada 5 minutos se detenía, se inició otra grabación que duró 30 minutos; la siguiente grabación se inició a las 10:04 con la misma dinámica, durando en total 15 minutos; después, otra que inició a las 10:43, durando en total 30 minutos y la última sesión fue de las 13:51 a las 14:05.

Para el periodo entre la bajamar y pleamar, la grabación se realizó el día 27 de Septiembre del 2011, iniciando la toma de videos a las 13:51, aproximadamente una hora y media antes de la bajamar, que fue a las 15:34, la primer toma de videos fue de las 13:51 a las 14:13, la segunda inició a las 15:24 y terminó a las 15:31 (sin eventos), la siguiente inició a las 16:46 y terminó a las 17:08 y la última sesión inició a las 18:27 y terminó a las 18:49. Durante todo el día de grabaciones se observó una considerable disminución en la recurrencia de los eventos.

### III.2. Segunda Fase.

La segunda fase consistió en la toma de videos en días con diferente tipo de marea (marea viva, muerta e intermedia).

Para la marea viva se grabó el día 30 de Noviembre, que fue dos días después de la Luna Llena, la grabación fue en la pleamar a las 08:52 y el tiempo de grabación fue de 33 minutos. Para la marea muerta, la grabación fue el día 5 de Diciembre, un día antes del 3er Cuarto, ésta se llevó a cabo poco antes de la bajamar, que fue a las 19:46 y el tiempo de grabación fue de 38 minutos; en ésta sesión de videos no se logró apreciar imagen en los videos debido a la escasez de alumbrado en el lugar, por esto el análisis consistió en registrar, con el sonido producido por los chorros de agua, el periodo de los eventos sin la posibilidad de registrar las alturas de cada chorro de agua. Para la marea intermedia la grabación fue el 19 de noviembre, se hicieron 4 grabaciones, tres antes de la pleamar de ese día y una durante la pleamar, que fue a las 12:56, esta última grabación duró 21 minutos y las tres anteriores duraron 15 minutos cada una. Todas estas grabaciones fueron realizadas con el objetivo de poder relacionar la actividad de La Bufadora con el ciclo de la marea.

La altura de los eventos de La Bufadora se estimó obteniendo una escala, resultado de grabar un objeto de altura conocida (altura de una persona), se diferenciaron, en la toma, 4 zonas de abajo hacia arriba, la primera iniciaba en el pie de la imagen y terminaba a 2.3 cm de la imagen, la segunda empezaba de los 2.3 cm y terminaba aproximadamente a la distancia donde empezaba la barda (7.72cm. de la imagen), la tercer zona comprendía aproximadamente el alto de la barda (7.72-11.56cm de la imagen), por último, la cuarta y más alta zona comprendía después de la barda (11.56-15.33cm en la imagen). Y para la altura del nivel del mar hasta la posición de la cámara, se utilizó una cinta métrica, la

altura fue de 7 metros sobre el nivel del mar. La suma de estas dos medidas, la de la imagen y la de la altura de la posición de la cámara con respecto al nivel del mar, nos darían un aproximado de la altura total de los chorros de agua.

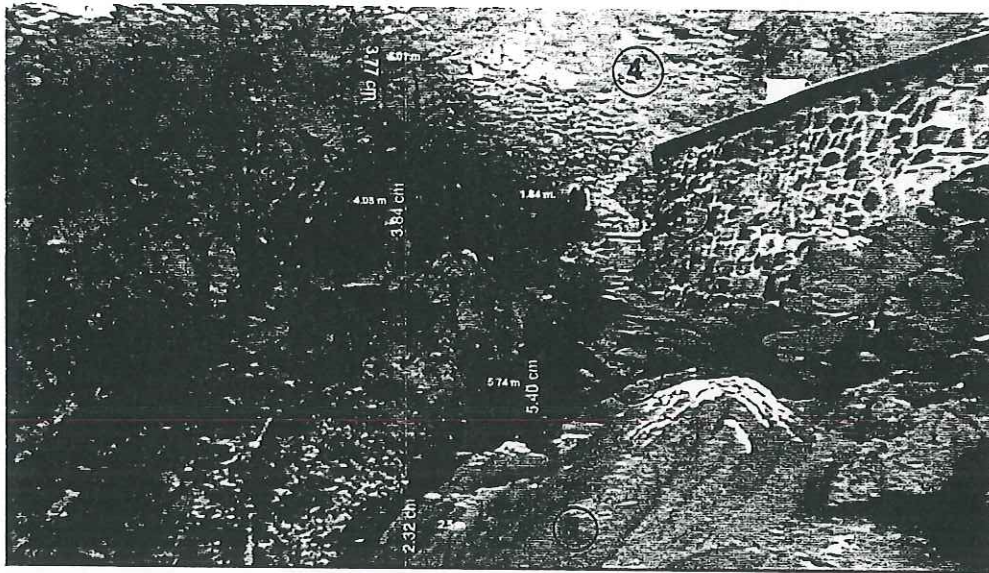


Figura 3. Imagen con las escalas y la ubicación de las zonas. La zona 1 comprendió una altura hasta los 9.5 m, la zona 2 de los 9.5 hasta los 15.24m, la zona 3 va de los 15.24 hasta los 19.32m. y la zona 4 va de los 19.32 a los 23.33 m. o más. (Todas estas alturas ya incluyen la distancia entre la posición de la cámara y el nivel del mar).

Se consultaron las tablas de predicción de mareas, disponibles en la página del CICESE, para elegir los días de medición; a diferencia de la primera fase, en la que la grabación fue pausada cada 5 minutos, la grabación de los eventos de la segunda fase fue continua y duró aproximadamente 35 minutos (a excepción de la grabación del 19 de noviembre).

### III.3. Bernoulli.

A partir de la ecuación de Bernoulli (ecuación 1) se calculó la diferencia de presión que existe dentro de la cueva de La Bufadora.

Se idealizó la cueva marina de La Bufadora como un sistema en posición horizontal como se muestra en la figura 4, el chorro de agua se presenta como la resultante de cambio de velocidades del flujo de entrada y salida, el cual será tratado como una partícula en un tiro parabólico.

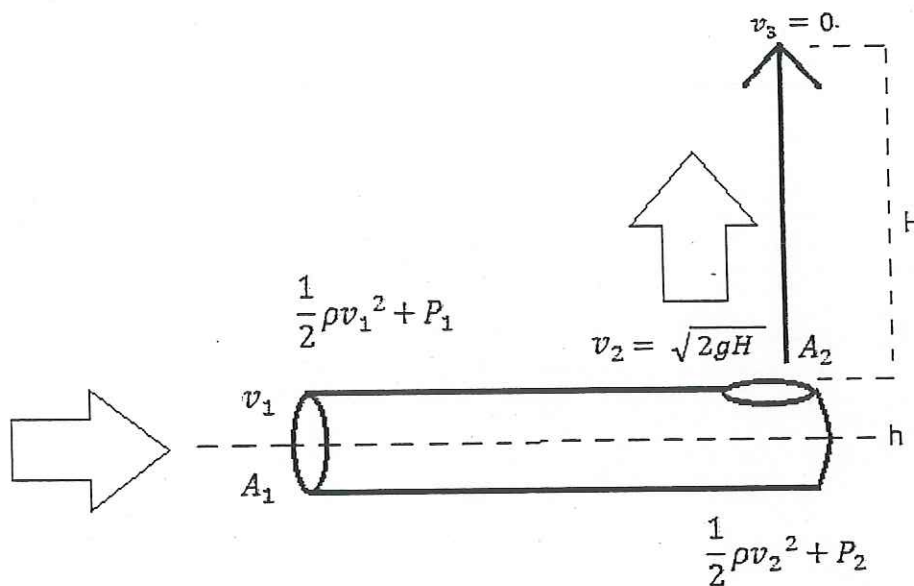


Figura 4. Representación idealizada de la cueva marina de La Bufadora, donde  $\rho$  es la densidad,  $v$  es la velocidad (1 entrada, 2 de salida, 3 velocidad a una altura máxima y es igual a cero),  $P$  es la presión,  $h$  es la altura de referencia ( $h_1$  y  $h_2$  son iguales),  $A$  es el área de entrada ( $A_1$ ) y de salida ( $A_2$ ) y  $H$  es la altura del chorro de agua.

De la ecuación 1 se eliminan los términos relacionados a la energía potencial por unidad de volumen, ya que actúan en el mismo plano,  $h_1$  y  $h_2$  son iguales, por lo tanto nos queda la siguiente ecuación.

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + P_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + P_2 \quad (2)$$

De la cual se obtienen los cambios en las presiones y en las velocidades de entrada y salida.

$$\frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2) = P_1 - P_2 \quad (3)$$

Donde  $P_1 - P_2$  es la diferencia de presión ( $\Delta P$ ).

Para obtener la velocidad de salida máxima ( $v_{2max}$ ) se consideró la altura máxima del chorro de agua ( $H$ ), cuando la energía cinética es mínima ( $v_3=0$ ), con la finalidad de estimar los cambios de área que causan que las velocidades de entrada ( $v_1$ ) del oleaje sean modificadas para generar el chorro de La Bufadora visible en el lugar. De esta forma la velocidad de salida máxima puede calcularse:

$$v_{2max} = \sqrt{2gH_{max}} \quad (4)$$

Considerando la aproximación de flujo incompresible, se obtiene una relación entre las áreas de entrada y de salida utilizando la ecuación de gasto,  $Q_n = A_n v_n$  donde  $Q$  es el gasto

$$Q_1 = Q_2 \quad (5)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (6)$$

Por último se despejan las áreas y las velocidades.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} \quad (7)$$

Utilizando la ecuación 7 se puede encontrar la proporción entre el área de entrada y el área de salida del tubo que representa la cueva marina. El cociente de las velocidades ( $V_1/V_2$ ) se obtuvo para validar o rechazar la aplicación de la ecuación de Bernoulli al fenómeno de La Bufadora.

Ya calculada la velocidad de salida con la ecuación 4, se puede obtener el valor de la diferencia de presión ( $\Delta P$ ) dentro del tubo, utilizando la ecuación 3.

#### IV. RESULTADOS.

##### IV.1 Oleaje

La figura 5 muestra algunas ráfagas de medición de altura del oleaje (Figura 5a), el eje ordenado es la altura registrada del oleaje, corregido por el coeficiente de presión para la superficie y la pendiente a lo largo del eje de tiempo. La figura b y c muestran las componentes de velocidad en la dirección horizontal (figura 5b) y vertical (figura 5c), de las que se calcula la velocidad resultante en el sentido de aproximación a la costa.

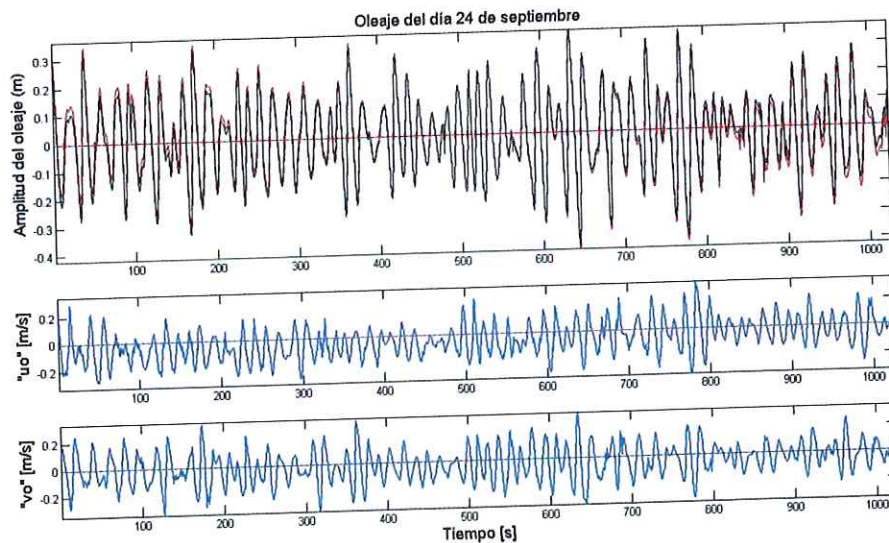


Figura 5. (a) Serie de tiempo de 17 minutos de la amplitud del oleaje en metros. (b) velocidad de fase en la componente horizontal ( $u_o$ ). (c) componente vertical de la velocidad de fase ( $v_o$ ). Ambas velocidades en m/s.

En la figura 6 se muestra la elevación de la columna de agua debida a la marea del día 24 de septiembre (3 días antes de Luna Nueva), en rojo se indican los tiempos de grabación de los eventos de La Bufadora, que empezaron a las 08:25 horas, pocos minutos después de que la marea alcanzará 1.4m y terminaron con una sesión que inicio a las 13:51 y termino a las 14:05, ~40 min. después de

la bajamar. El día de la grabación la pleamar fue de 1.72m. a las 19:24 y la bajamar de 44 metros a las 13:21 (nivel de referencia BMI).

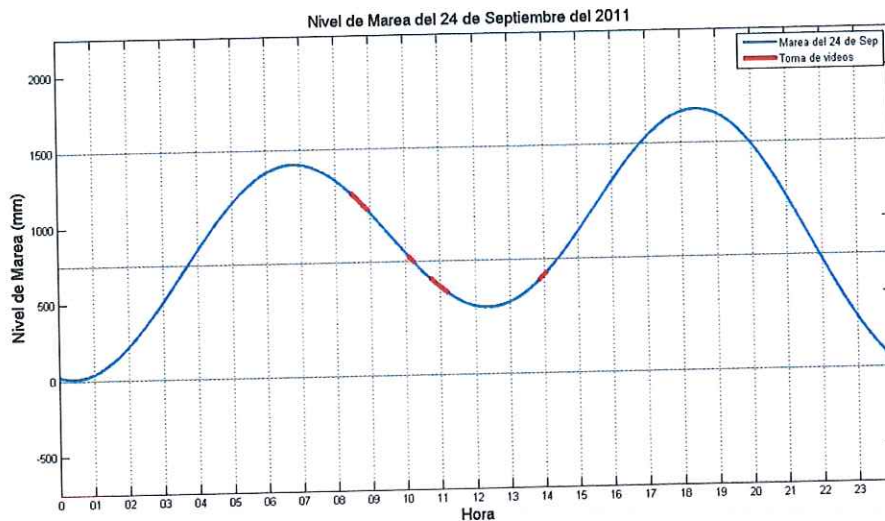


Figura 6. Marea del 24 de Septiembre (Zona horaria ZT -8). En rojo se indican el nivel de la marea mientras se realizaba la toma de video (Nivel de referencia: BMI).

En la figura 7, se observan alturas desde los 9.5 hasta los 23 metros, siendo entre 15 y 19 metros la altura con mayor porcentaje de ocurrencia (~37%). En cuanto a la altura del oleaje se observaron que las alturas entre los 0.2 y 0.25m son las que tienen mayor porcentaje de ocurrencia (~27%).

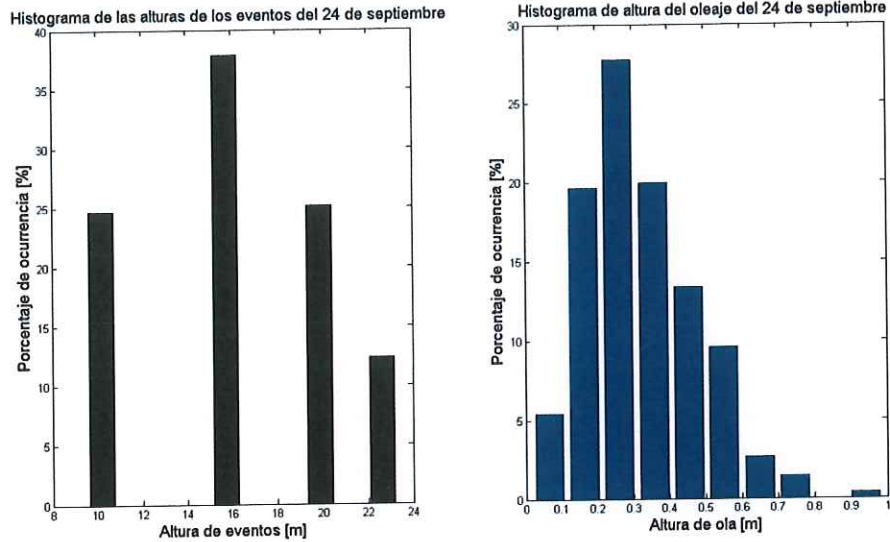


Figura 7. *Izquierda*: Histograma que muestra las alturas del chorro de agua. *Derecha*: Histograma de altura del oleaje. Ambas figuras del día 24 de Septiembre.

En la figura 8 se observan los porcentajes de ocurrencia de los periodos de los eventos de La Bufadora y del oleaje, se observa que los periodos entre 10 y 15 segundos de los eventos, son los que presentan un mayor porcentaje de ocurrencia (~47%), de igual forma el oleaje presenta los mismos periodos con un porcentaje de ocurrencia similar (45%).

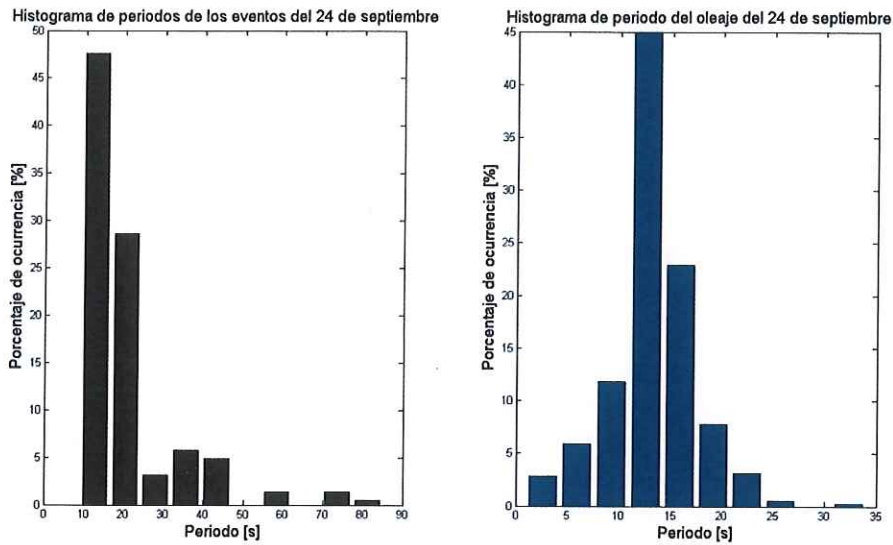


Figura 8. *Izquierda*: Histograma que muestra los periodos de los eventos. *Derecha*: Histograma del periodo del oleaje Ambas figuras del día 24 de Septiembre.

En la figura 9 se muestra la marea del día 27 de Septiembre (Luna Nueva), en rojo se indican los tiempos de grabación de los eventos de La Bufadora, que empezaron a las 13:51 horas, hora y media antes de la bajamar, y terminaron con una sesión que inició a las 18:27 y terminó a las 18:49, tres horas antes del segundo pico de marea que fue de 1.64m. El día de la grabación se tuvo una marea viva, con una pleamar de 1.86m. a las 09:13 y una bajamar de -0.06 metros a las 15:34 (nivel de referencia BMI).

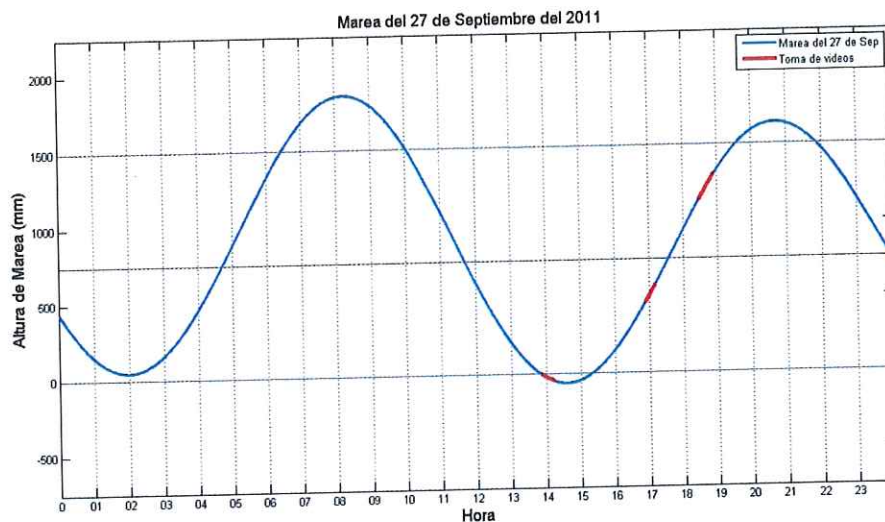


Figura 9. Marea del 27 de Septiembre (Zona horaria ZT -8). En rojo se indican el nivel de la marea mientras se realizaba la toma de video.

En la figura 10 se muestran las alturas tanto de oleaje como de los eventos correspondientes al día 27 de Septiembre. El 65% de los eventos tuvieron una altura de 9.5m. En esta sesión no se observaron alturas superiores o iguales a 23m. En el histograma de las alturas del oleaje (gráfico de la derecha) la altura con mayor porcentaje de ocurrencia (~21%) fue de 0.2 a 0.25 m.

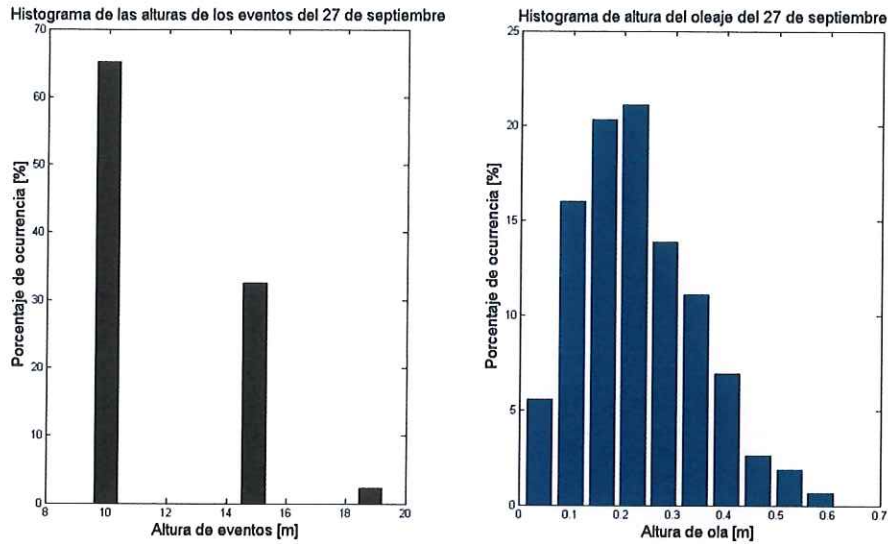


Figura 10. *Izquierda*: Histograma que muestra las alturas del chorro de agua. *Derecha*: Histograma de altura del oleaje. Ambas figuras del día 27 de Septiembre.

En la figura 11 se muestran los porcentajes de ocurrencia de los periodos del oleaje y de los eventos del día 27 de Septiembre. Los periodos de los eventos (gráfico *izquierda*) entre 10-20 segundos, tuvieron un mayor porcentaje de ocurrencia (42%), mientras que en el oleaje el periodo con mayor porcentaje de ocurrencia fue de 10-15 segundos (27%).

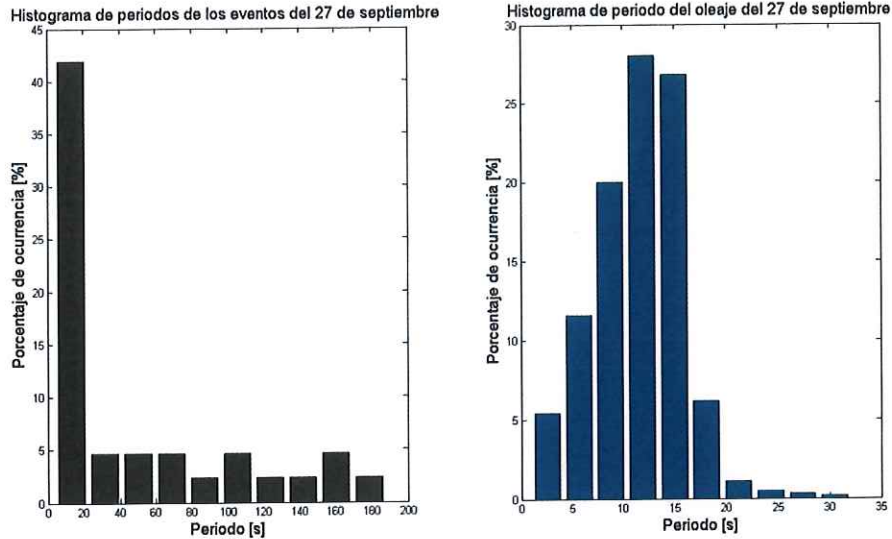


Figura 11. *Izquierda:* Histograma que muestra los periodos de los eventos. *Derecha:* Histograma del periodo del oleaje Ambas figuras del día 27 de Septiembre.

Se puede apreciar en la Tabla I que entre pleamar y bajamar (24 de Septiembre) existió mayor cantidad de eventos, a comparación del periodo entre bajamar y pleamar (249 y 43 respectivamente).

Tabla I. Se muestran las alturas y periodos significantes del oleaje (Hs y Ts) y de La Bufadora (Hsb y Tsb) y el promedio de la velocidad absoluta del oleaje para cada día (|Vo|).

	24-sep	27-sep
<b>Nivel Marea</b>	pm-bm	bm-pm
<b>Marea</b>	Intermedia	Viva
<b>Eventos</b>	249	43
<b>Hs [m]</b>	0.4957	0.3605
<b>Hsb [m]</b>	20.7974	15.512
<b> Vo [m/s]</b>	0.045	0.0615

## IV.2. Marea

El día 19 de Noviembre se realizaron las grabaciones de los eventos en la marea intermedia (figura 12), se realizaron 4 grabaciones, el tiempo total de grabación fue de 66 minutos. La primera grabación de los eventos inició a las 09:54 (15 minutos de grabación), la segunda inició a las 10:55 (15 minutos de grabación), la tercera a mediodía (5 minutos de grabación) y la cuarta y más larga inició a las 12:44, durando 22 minutos; esta última grabación fue durante la pleamar que alcanzó un nivel de 1.38m. Se observaron 211 eventos

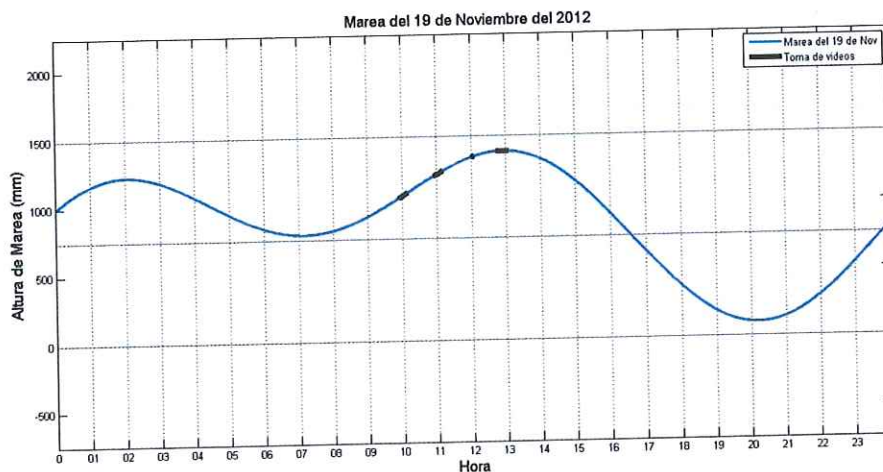


Figura 12. Marea del 19 de Noviembre (Zona horaria ZT -8). En negro se indican el nivel de la marea mientras se realizaba la toma de video (Nivel de referencia: BMI).

Se puede apreciar en la figura 13 (*derecha*) que los eventos menores a 9.5 metros tuvieron una ocurrencia del 23%, el 30% de los eventos tuvieron alturas de entre los 9.5 y los 15.2 metros, mientras que el 22% de los eventos tuvo alturas entre los 15.2 y 19.3 metros y el 25% de eventos tuvo una altura superior a los 23 metros.

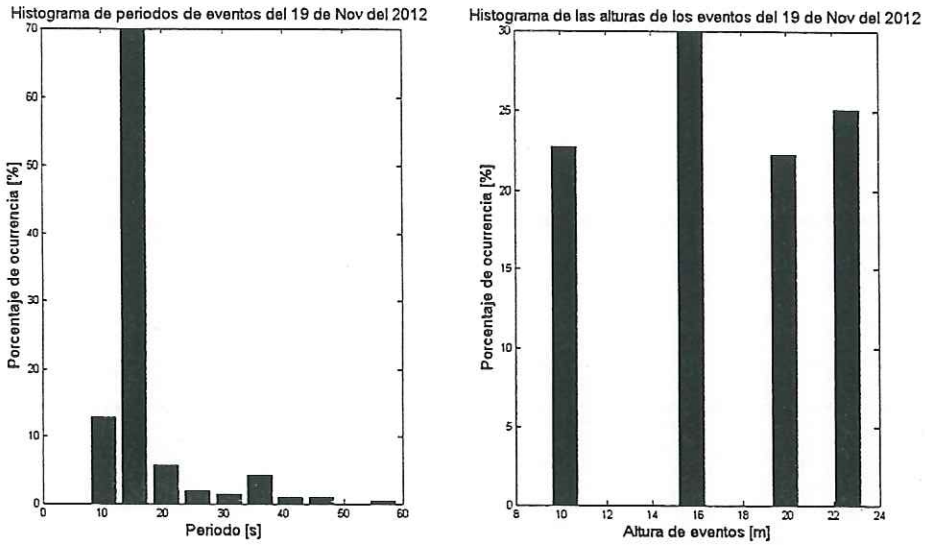


Figura 13. Histogramas con el porcentaje de ocurrencia *Izquierda*: periodos de los eventos. *Derecha*: altura de eventos. Ambas figuras del día 19 de Noviembre.

La mayoría de los eventos (70% de eventos) tiene un periodo de entre los 10 y 20 segundos como se muestra en la figura 14.

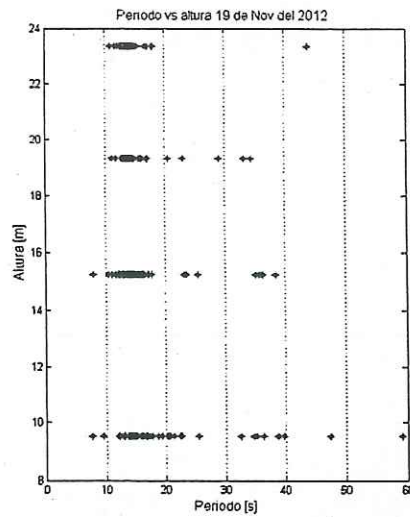


Figura 14. Altura vs periodo de los eventos del día 19 de Noviembre.

El día 30 de Noviembre se realizaron las grabaciones de los eventos, 2 días después de Luna Llena (figura 15), el tiempo de grabación fue de 33 minutos. La grabación de los eventos inició a las 08:42, durante la pleamar que alcanzó un nivel de 1.72m a las 08:52. Se observaron en total 103 eventos.

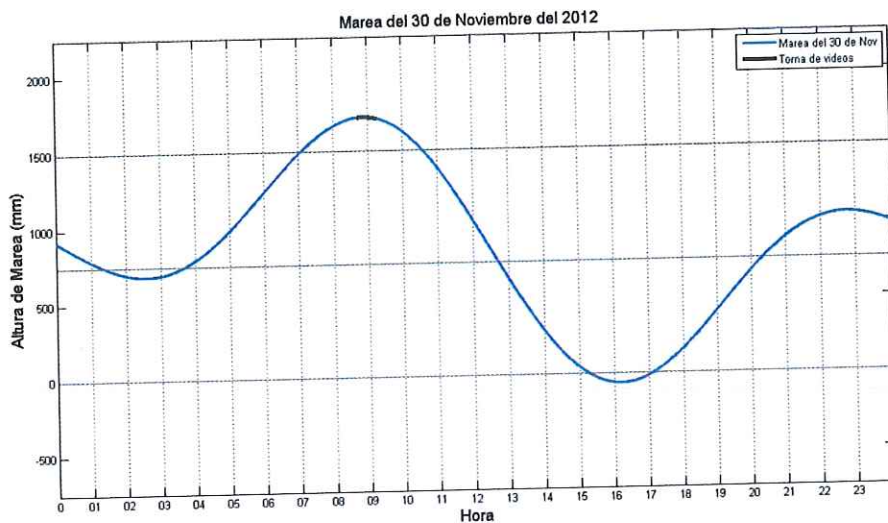


Figura 15. Marea del 30 de Noviembre (Zona horaria ZT -8). En negro se indican el nivel de la marea mientras se realizaba la toma de video (Nivel de referencia: BMI).

Se observa en la figura 16 (*derecha*) que el 34% de los eventos fueron menores a 9.5 metros, el 22% fueron mayores a 9.5 y menores a 15.2 metros, el 24% de los eventos presentaron alturas entre los 15.2 y los 19.3 metros y el restante 19% fue de los eventos de mayor altura, 23 metros.

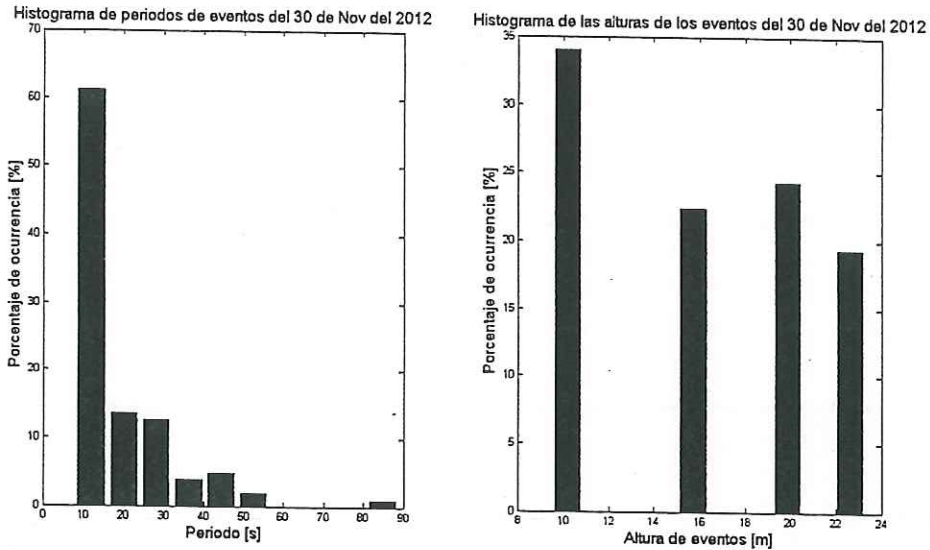


Figura 16. Histogramas con el porcentaje de ocurrencia *Izquierda*: periodos de los eventos. *Derecha*: altura de eventos. Ambas figuras del día 30 de Noviembre.

La mayoría de los eventos (60% de eventos) tiene un promedio de entre los 10 y 20 segundos como se muestra en la figura 17.

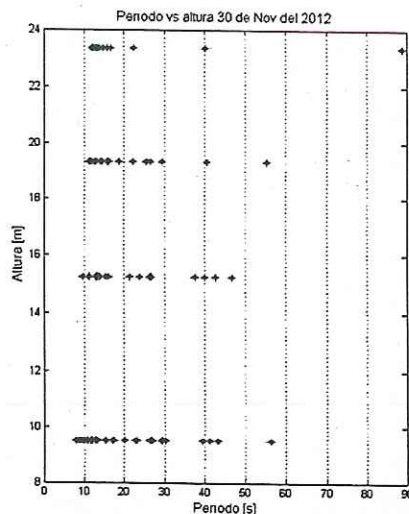


Figura 17. Altura vs periodo de los eventos del día 30 de Noviembre.

El 5 de Diciembre se realizaron las grabaciones de los eventos, 1 día antes de la marea muerta (3er Cuarto de Luna, figura 18), el tiempo de grabación fue de 38 minutos. La grabación de los eventos inició a las 18:49, aproximadamente una

hora antes de bajamar que alcanzó un nivel de 0.27m a las 19:46. Se registraron en total 47 eventos

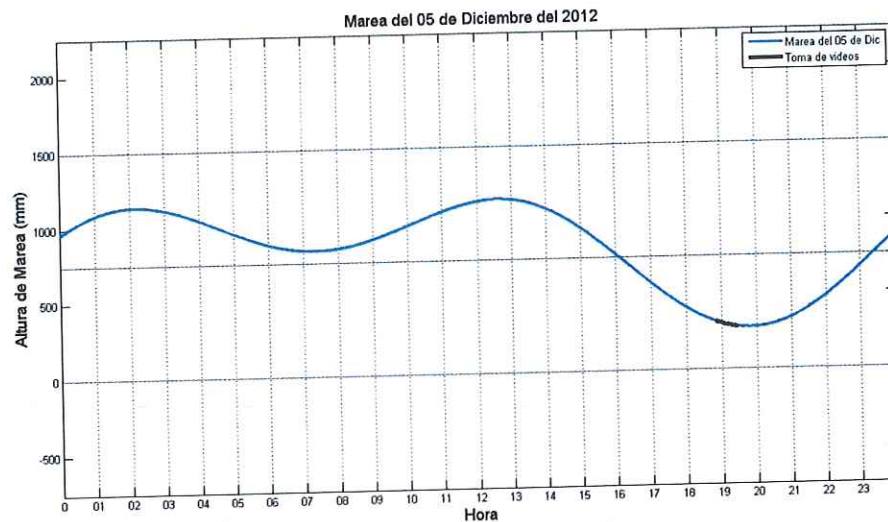


Figura 18. Marea del 05 de Diciembre (Zona horaria ZT -8). En negro se indican el nivel de la marea mientras se realizaba la toma de video (Nivel de referencia: BMI).

En la figura 19 se puede observar el porcentaje de ocurrencia de los periodos, más del 35% de los eventos tuvieron un periodo entre los 15 y 20 segundos.

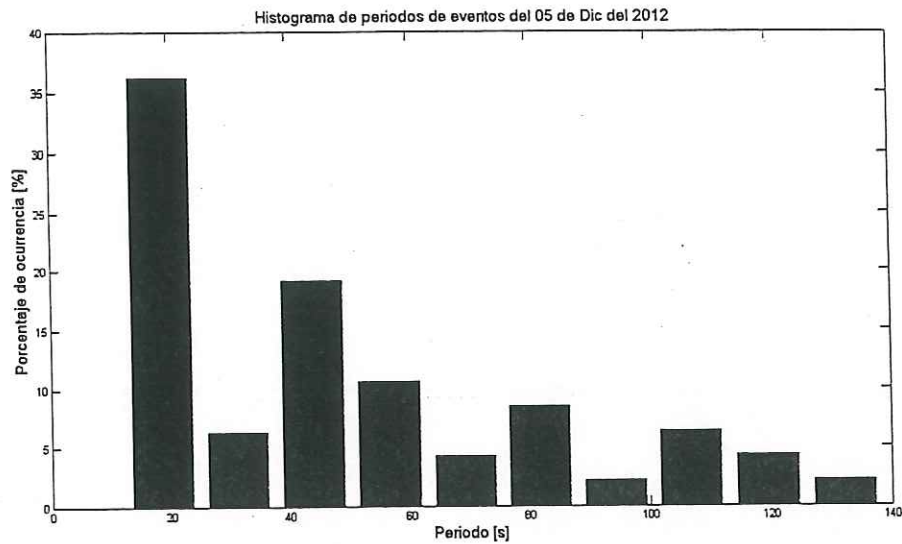


Figura 19. Histograma con porcentajes de ocurrencia de los periodos del día 5 de Diciembre.

### IV.3. Aplicación de la ecuación de Bernoulli

Se utilizó la serie de tiempo del día 24 de Septiembre de las 10am, con los datos de altura de ola, altura de eventos y velocidad (figura 20). Se calcularon las velocidades de salida y la diferencia de presiones.

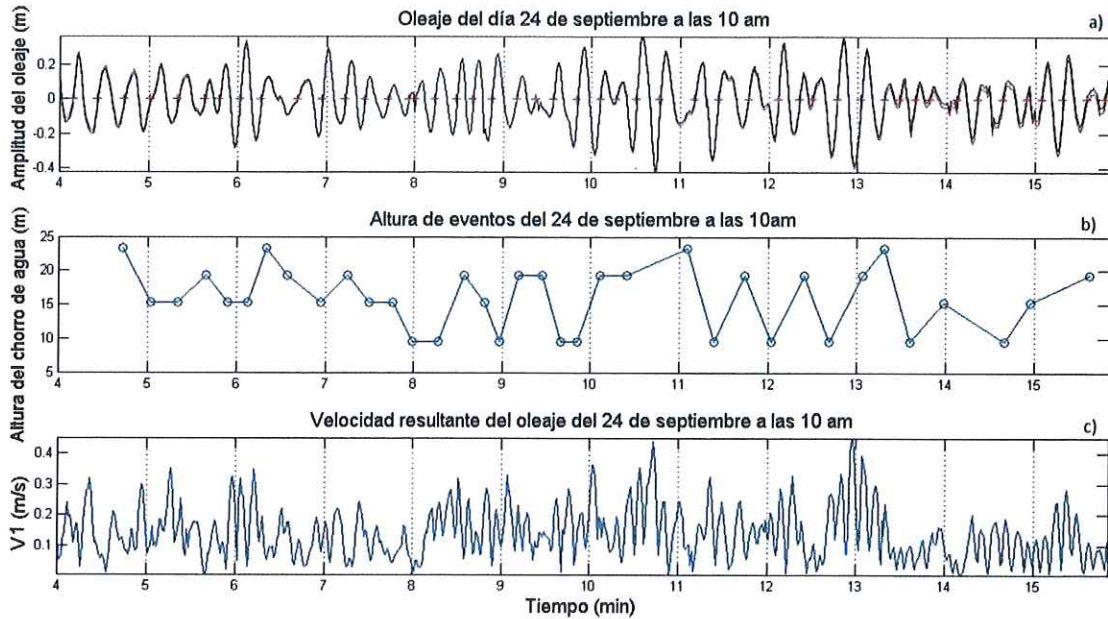


Figura 20. a) Serie de tiempo (~11 min.) de amplitud del oleaje a las 10 am del día 24 de septiembre. b) Serie de tiempo (~11 min) de las alturas del chorro de agua en La Bufadora. c) Serie de tiempo de las velocidades de entrada ( $V_1$ ) del mismo día y misma hora.

Con las ecuaciones ya mencionadas se calcularon las velocidades de salida de cada evento de expulsión del chorro de agua; con esta velocidad ( $v_2$ ) y la velocidad calculada por las mediciones del ADP ( $v_1$ ), se obtuvo la diferencia de presiones correspondiente. De los 36 eventos, se obtuvieron 36 velocidades de salida y de estas se obtuvo la diferencia de presión y se calculó un promedio con su desviación estándar.

$$v_2 = 17.46 \text{ m/s} \pm 2.7$$

$$\Delta P = 159.91 \text{ KPa} \pm 47.32$$

De igual forma con la ecuación 7, se obtuvo la proporción entre el área de salida y el área de entrada a partir del promedio del cociente de las velocidades.

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{v_1}{v_2} = 0.0078 \pm 0.0043$$

#### **IV.4. Predicción de La Bufadora para el mes de Julio.**

En la figura 22 se muestra un calendario de marea para el mes de Julio del 2013 con la predicción de la actividad de La Bufadora basada en el nivel de la marea. Se presentan tres posibles situaciones; alta actividad o buen tiempo, en el cual el 77% de los eventos tendrá alturas mayores a 10m. (25% H>20m), mediana actividad, o tiempo regular, donde el 75% de los eventos serán mayores a 10m (12% H>20m), y una baja actividad, o mal tiempo, donde los eventos serán escasos y el 65% tendrán alturas mayores a 10m (19% H>20m). En general, en los extremos de los días con un rango de marea amplio, no habrá una cantidad ni calidad considerable de eventos y en los días con un rango de marea pequeño habrá una cantidad y calidad atractiva de eventos para los turistas.

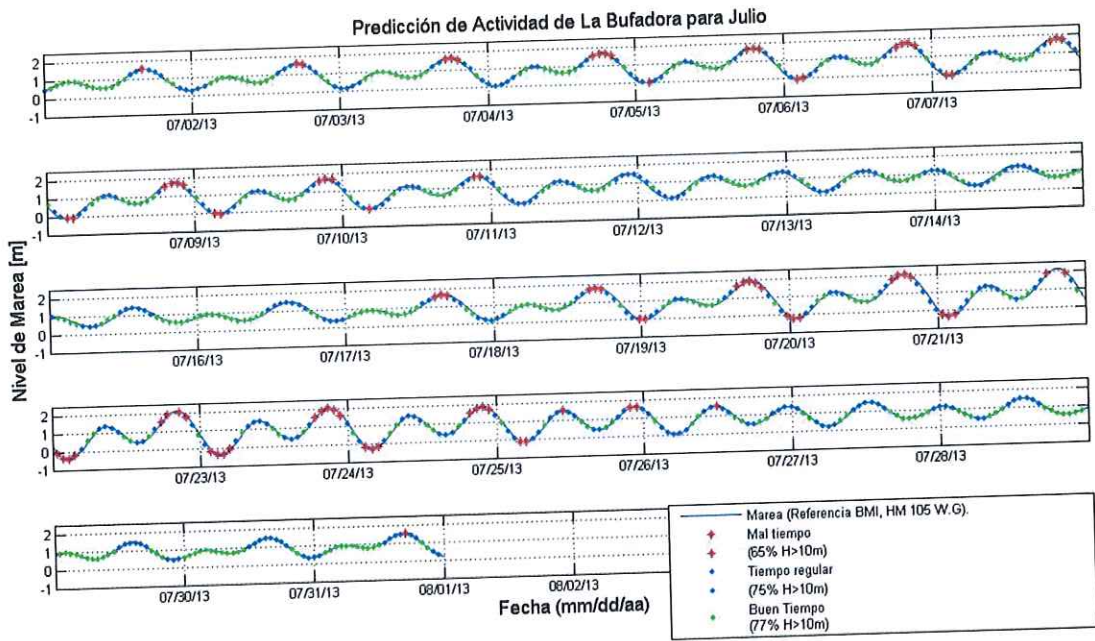


Figura 21. Calendario mensual de Julio con la predicción de la actividad de La Bufadora en base a las mareas (Nivel de referencia: BMI).

## V. DISCUSIONES.

En este trabajo se analizaron las variables más susceptibles de ser las generadores del fenómeno en La Bufadora, la primera es el nivel de mar generado por las mareas que puede cubrir o descubrir la hendidura que genera el chorro de agua a presión, la segunda es el volumen de agua transportado por el oleaje arribando al punto y sus características como son sus periodos y su dirección. Según Velasco-Fuentes (2012) existe una marcada coincidencia entre los tiempos de mayor frecuencia de ocurrencia en La Bufadora en 2005 y 2011 (13-17 s) y la mayor frecuencia de los periodos pico de las olas superficiales medidas en Ensenada durante 1986-1989 (11-19 s). En este trabajo se encontró que el periodo con un mayor porcentaje de ocurrencia para los eventos de La Bufadora fueron de 10 a 20 s. y al mismo tiempo, el periodo del oleaje con mayor ocurrencia fue de 10 a 15 segundos. Lo cual nos confirma la estrecha relación o coincidencia que guarda el periodo de los eventos en La Bufadora y el del oleaje.

Sin embargo las alturas de los eventos de cada día son diferentes, el día 24 de Septiembre (Figura 7 *izquierda*) se observaron alturas desde los 9.5 hasta los 23 metros y aproximadamente el 37% fueron mayores a los 15 metros; mientras que el 27 de Septiembre (Figura 10 *izquierda*) únicamente se observaron alturas menores a 19 metros y más del 60% de los eventos fueron menores a 9.5 metros. Lo cual nos podría indicar mayor relación con el nivel de marea y no con la altura del oleaje, ya que el porcentaje de ocurrencia de las alturas del oleaje en ambos días fue similar.

En cuanto a nivel del mar, el mismo autor concluye que La Bufadora esta activa durante todo el rango de marea, sin embargo menciona diferencias en cuanto a cantidad y cualidad de los eventos en los extremos del rango. En resumen menciona que, en pleamar los eventos consisten en un chorro de agua y son numerosos y en bajamar los eventos consisten en una nube de rocío y son escasos. En este trabajo se observó que la cantidad de eventos no solo depende del nivel de la marea, sino que también depende del tipo de marea (viva, muerta o intermedia), por ejemplo, se encontró que cuando hay una pleamar, la cantidad de eventos es considerablemente alta (>100 eventos) sin embargo la altura de estos eventos es mayor en una pleamar de marea intermedia que en una pleamar de marea viva; esto puede ser debido a dos escenarios, primero, la cueva marina puede encontrarse totalmente cubierta por la columna de agua (pleamar de marea viva), y segundo, el nivel de mar puede estar en un valle (bajamar de marea viva) provocando que, aun con una ola de altura significativa, el volumen de agua que esta transporta, no entre a la cueva marina, provocando una ausencia de eventos. Otro aspecto que se observó en este trabajo es que, la cantidad de eventos cuando la marea empieza a bajar (249 eventos) fue mayor a la cantidad de eventos cuando la marea empieza a subir (43 eventos).

La velocidad resultante ( $v_1$ ), se calculo gracias a las velocidades medidas por el ADP, colocado a una profundidad ya mencionada, por lo tanto podrían verse afectadas por la amortiguación de la columna de agua, sin embargo en aguas intermedias o poco profundas las velocidades se ven poco afectadas como se esquematiza en la Figura 23.

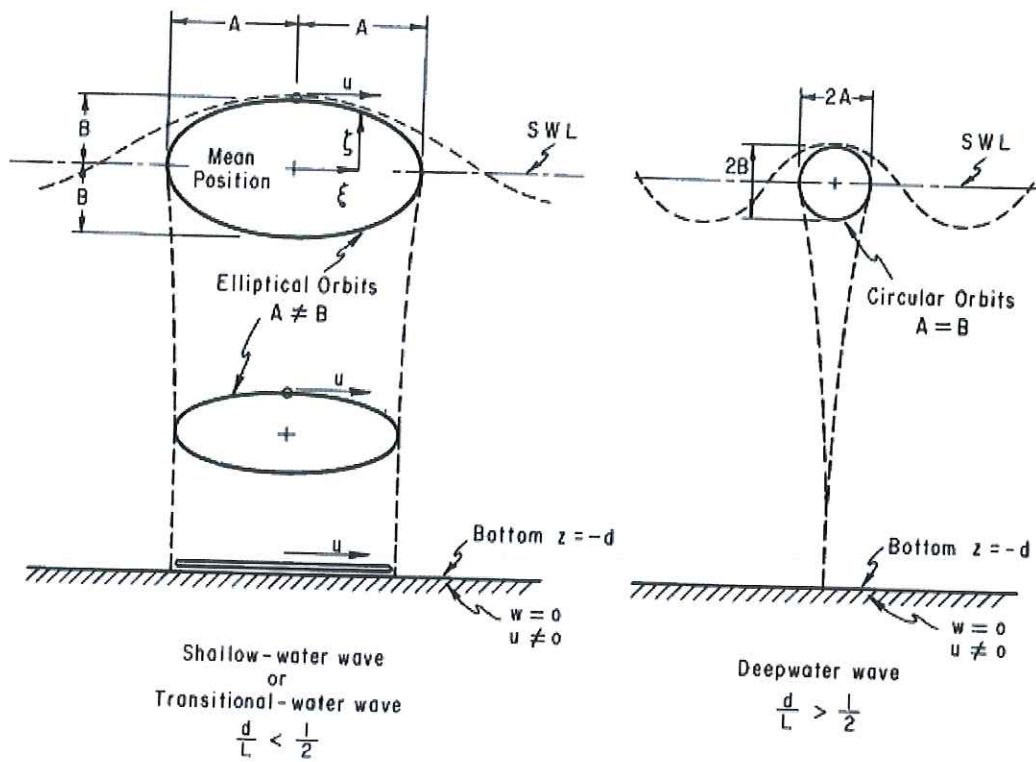


Figura 22. Desplazamiento de una partícula de agua para aguas someras y aguas profundas (imagen del Shore Protection Manual).

En la figura 24c se observa el cociente de las velocidades de entrada y salida; una línea de tendencia sin pendiente indicaría un comportamiento constante, lo que significa que la ecuación de Bernoulli se ajusta para explicar el fenómeno de La Bufadora, sin embargo se observa una línea de tendencia con una pendiente de  $1.2 \times 10^{-5}$ , esto quiere decir que el modelo que se utilizó puede no ser el ideal para representar el fenómeno. Esto puede ser debido a que en éste trabajo se consideró únicamente un sólo fluido, el agua, sin embargo dentro de la cueva el aire también interviene en el fenómeno, así que dentro de la cueva se tienen presentes 2 fluidos, uno de ellos incompresible (agua) y el aire, el cual se puede comprimir con más facilidad que el agua.

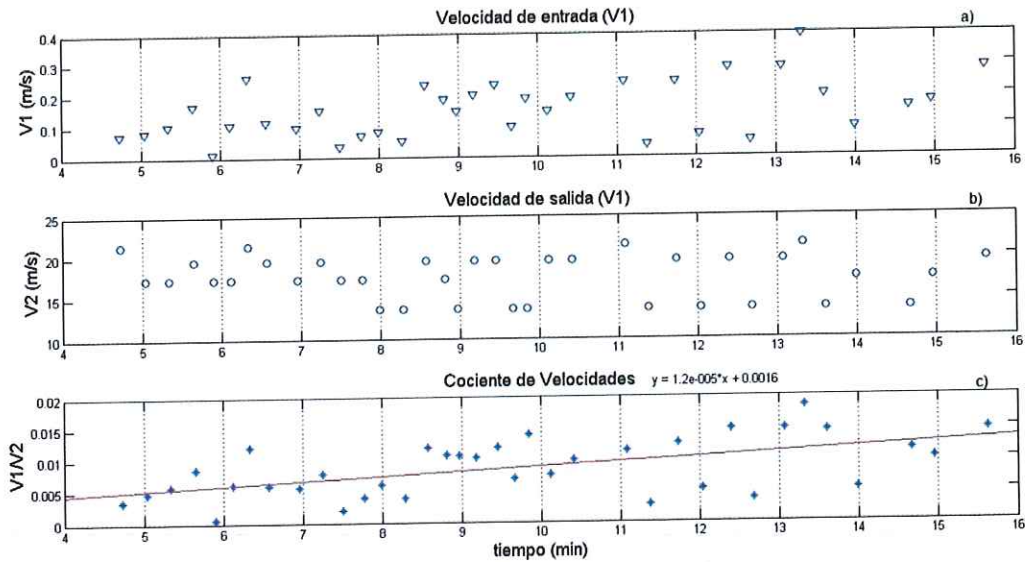


Figura 23. a) Velocidad de entrada ( $V_1$ ) medida del ADP en m/s el 24 de Septiembre a las 10 am. b) Velocidad de salida (m/s) calculada a partir de la altura de los eventos del mismo día a la misma hora. c) Cociente de velocidades ( $V_1/V_2$ ) con línea de tendencia y ecuación del gráfico que muestra la pendiente ( $m=1.2 \times 10^{-5}$ ).

Existe un desfase en cuanto en las dos series de tiempo (de los eventos y del oleaje), esto es debido a que el ADP estaba instalado a  $\sim 150$  metros del lugar donde se encuentra La Bufadora.

En la sesión de grabación correspondiente a la primer fase, el día 27 de Septiembre, hubieron grabaciones en las que no se registraron eventos, debido a la ausencia de ellos en las tomas de video, esto sucedió en la pleamar de ese día (15:34), y debido a esto se observaron pocos eventos (43 eventos) ya que el nivel de marea estaba por debajo de la ubicación de la cueva marina, evitando que el volumen de agua proveniente de las olas entre a la cueva. En la sesión de la segunda fase, el día 5 de Diciembre (marea muerta), el número de eventos fue menor a 50, sin embargo la magnitud de estos eventos no fue registrada, debido a

que únicamente se analizó el sonido de la grabación, siendo los eventos que producían un mayor sonido los que se registraban. En esta sesión (5 de Diciembre) se observaron periodos de ocurrencia mayores a un minuto, esto puede ser debido a diversos factores, por ejemplo, el periodo de resonancia de la Bahía Papalote.

Es importante destacar que este trabajo, junto con el artículo de Velasco-Fuentes del CICESE, es de los primeros dedicados a un fenómeno de La Bufadora. No obstante, para esto, hace falta un estudio con una escala temporal mayor, ya que el presente trabajo únicamente fue durante la temporada otoño-invierno. Haría falta saber qué pasa con el oleaje de verano, aunque Velasco-Fuentes encontró que el tiempo menos favorable para ir a La Bufadora es en la bajamar de un día de verano.

La precisión y fiabilidad de la predicción de los eventos (figura 22) se comprobará asistiendo a La Bufadora un día con mal tiempo y otro día con un buen tiempo, se registrará el número de eventos y se calculará un porcentaje estimado de las alturas. Para obtener una predicción anual basada en la marea se pueden establecer los rangos de la misma forma que se estableció para esta predicción mensual.

## VI. CONCLUSIONES

Se observó que el periodo de los eventos de La Bufadora y el oleaje guardan cierta coincidencia ya que el mayor porcentaje de ocurrencia (>40%) de La Bufadora fue de 10-20 segundos y el del oleaje fue de 10-15 segundos (45% el 24 de Septiembre y 27% el 27 de Septiembre).

En marea intermedia y marea viva en un periodo entre pleamar y bajamar ocurre un mayor número de eventos, sin embargo en la marea viva la mayoría de los eventos tendrá una altura menor a los 9m., altura poco vistosa para los turistas; por otro lado en la marea intermedia se observan eventos con alturas más atractivas para el público en general (>15m.). En marea muerta los eventos son escasos.

La diferencia de presiones positiva nos indica que la presión de entrada es 159 KPa mayor que la presión de salida, por lo tanto, la velocidad de salida es mayor que la velocidad de entrada, ésta es 0.0078 veces la velocidad de salida. Sin embargo se recomienda trabajar con un modelo que incluya agua y aire, ya que el aire se comprime más fácil que el agua.

En la actualidad la figura 22 es la primer predicción de La Bufadora, para tener una predicción más acertada se recomienda tener la predicción del oleaje de 5 días, esto para introducir el efecto que tiene el cambio de la presión causada por la altura del oleaje y para saber si las alturas de las olas intensificaran los eventos.

## VII. LITERATURA CITADA.

- Bigelow H.B, D.T Edmondson. 1947, Wind Waves at Sea Breakers and Surf. U.S Navy Hydrographic Office, pub. #602. 177 pp.
- Brown J., A. Colling, D. Park, J. Phillips, D Rothery, J. Wright. 1989. Waves, Tides and Shallow-Water Processes. The Open University/Pergamon, USA, 159 pp.
- Feinstein A. 1999. Objetivo: Universo. Astronomía. Ediciones Colihue 749pp.
- Hernández Hernández. R.R. Optimización del sistema de bombeo de energía de oleaje para el puerto de Ensenada. Tesis de Maestría. CICESE 2004
- Kinsman B. 2002, Wind Waves: Their Generation and Propagation on the Ocean Surface, Courier Dover, 704 pp.
- Martínez Díaz de León A. 1993 Probability distribution of wave height in Todos Santos Bay, B.C., Mexico, Ciencias Marinas 19,203-218.
- Martínez Díaz de León A. 2004, Spatial Variability of Wave Data from Todos Santos Bay, Baja California, México. Journal of Coastal Research, 20 (4), 1231-1236.
- Velasco Fuentes, O. 2012 The activity of La Bufadora, a natural marine spout in northwestern Mexico. En Klapp et al; (eds.) Experimental and Theoretical Advances in Fluid Dynamics, Springer-Verlag.

