



INFORME ANUAL

LICITACIÓN ABREVIADA No. 2018LA-000017-0012400001

**Consultoría para la medición y calibración del oleaje reportado por la
NOAA para el Golfo de Nicoya**

INFORME ANUAL-2021

Realizado por: iMARES-INII-UCR

Para: Dirección de Infraestructura, DMP-MOPT

Noviembre 2021



INFORME ANUAL 2021



Contenido

1.	JUSTIFICACIÓN.....	4
2.	ALCANCE DE LOS TRABAJOS	4
3.	INTRODUCCIÓN	5
3.1.	Objetivo	6
4.	DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS DURANTE EL AÑO 2020	7
4.1.	Equipo de medición utilizado	7
4.2.	Localización del AWAC	8
4.3.	Visitas por mantenimiento	8
5.	DATOS OBTENIDOS DURANTE EL PERÍODO DE MEDICIÓN	9
5.1.	Definición de los parámetros del estado de mar	9
5.2.	Análisis de datos.....	11
6.	CONCLUSIONES	17
7.	ESTIMACIÓN DEL COSTO EN EL PERÍODO MEDIDO	18
8.	BIBLIOGRAFÍA	19
	APÉNDICE I.....	20
	APÉNDICE II.....	21



1. JUSTIFICACIÓN

El Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) promovió la Licitación Abreviada N° 2018LA-000017-0012400001 denominada “Consultoría para la medición y calibración del oleaje reportado por la NOAA para el Golfo de Nicoya”.

La Unidad de Ingeniería Marítima de Ríos y Estuarios (iMARES) a través de la FUNDACION UCR presenta oferta de servicios.

La Proveeduría institucional del MOPT adjudica el contrato mediante número de SICOP 20180700982-00 a la FUNDACIÓN UCR.

FUNDACIÓN UCR realiza por medio de la Unidad de Ingeniería Marítima de Ríos y Estuarios (iMARES), los trabajos según los términos solicitados en el Cartel de licitación.

El 11 de diciembre de 2018 se emite por parte de la División Marítimo Portuaria del MOPT la Orden de Servicio No.1, que establece esta misma fecha como la orden de inicio.

2. ALCANCE DE LOS TRABAJOS

Realizar mediciones del estado del mar de oleaje cada 3 horas o máximo cada 6 horas durante un periodo de 4 años, en las proximidades de Cabo Blanco, para mejorar la calibración de la información generada de la NOAA. Lo anterior se logrará mediante:

- a. Suministrar y colocar un sensor autónomo para medición de oleaje tipo ADCP o similar que tenga capacidad para medir las características de estado de mar direccional y que garantice una precisión en la medición de la altura de ola al centímetro y en medición del período al segundo. (Hs, T, Dir).
- b. Previamente a la colocación del equipo éste será programado y calibrado, conforme las recomendaciones del fabricante.
- c. Colocar el sensor de medición en el sitio designado por la Administración, el cual no podrá estar a más de 20 metros de profundidad, ni menos de 10 metros



- d. Medir estados de mar de manera continua durante mínimo 15 minutos que serán representativos a estados de mar de 3 horas o máximo 6 horas. Cuando se deba sacar el equipo para descargar la información, se ofrece la colocación de otro equipo similar al ofrecido para así dar continuidad a las mediciones.
- e. Brindar el mantenimiento periódico que requiera el equipo para su correcto funcionamiento. El mantenimiento incluirá limpieza, descarga de datos, cambios de baterías, entre otros.
- f. Calibrar el punto de reanálisis de oleaje de la NOAA más cercano al sitio de medición con los datos instrumentales. En caso de requerir realizar propagaciones de oleaje, las propagaciones se efectuarán mediante modelos numéricos, que incluyen dentro de sus características los procesos de transformación que sucedan en la naturaleza del lugar.
- g. Generar 3 informes anuales de estados de mar medidos. Uno por cada año de contrato.
- h. Generar 1 informe final de calibración plurianual al cierre del último período de la consultoría. Para la calibración se incluirán los datos medidos desde el 2013, siempre y cuando la Administración los facilite.
- i. Generar un informe de avance de los trabajos cada 3 meses, detallando las actividades efectuadas en dicho periodo y documentando mediante registro fotográfico dichos trabajos.

3. INTRODUCCIÓN

Los datos de campo obtenidos mediante instrumentación adecuada y más aún las bases de datos extensas, son información valiosa en distintas disciplinas y en la ingeniería no es excepción. Los datos de campo permiten a los profesionales en ingeniería dedicados a labores de diseño o de gestión, mejorar sus diseños o tener mejor criterio para la toma de decisiones.

La ingeniería marítima es una disciplina que como muchas otras especialidades de la ingeniería requiere de información de campo para que el diseño de las obras sea segura, resistente y funcional. Entre las variables de clima marítimo que por sus efectos energéticos requiere de bases de datos extensas y de calidad se encuentra el oleaje.

La División Marítimo Portuaria (DMP) del MOPT, conociendo la importancia de contar con información de variables de clima marítimo, se ha dado a la tarea de iniciar con la generación de una base de datos



de oleaje. Para ello ha elegido medir la variable oleaje en Cabo Blanco, sitio que se localiza en la entrada al Golfo de Nicoya, siendo este último el lugar donde se ubica el principal puerto comercial en la fachada del Pacífico de Costa Rica.

Los datos de oleaje que se logren medir en Cabo Blanco tienen como propósito complementar mediciones realizadas previamente en la bahía de puerto Caldera. De esta manera se busca ampliar los registros existentes y debido a la ubicación de la medición, la información se puede hacer extensible hacia otros lugares mediante técnicas de regionalización.

Este documento corresponde según el contrato, al informe anual de las mediciones realizadas durante el año 2021, específicamente entre noviembre del 2020 a noviembre del 2021. Durante este período se han realizado un total de cuatro visitas a Cabo Blanco. La primera visita se realizó en noviembre del 2020 para colocar el equipo, la segunda en marzo, la tercera en julio y la cuarta en noviembre, estas tres últimas todas durante el año 2021. Estas visitas se han realizado con el propósito de recolectar la información medida y dar mantenimiento al equipo instalado.

El documento contiene los datos de oleaje representados por parámetros que caracterizan el estado de mar, específicamente altura de ola, el período y la dirección. Se ha realizado un análisis de los parámetros y sus estadísticos más representativos según lo solicitado en los términos de referencia del cartel; entre ellos se han incluido series temporales de altura de ola, período, dirección y gráficos que ilustran la distribución de ciertos estadísticos que representan los parámetros de oleaje medidos durante el período 2020-2021.

3.1. Objetivo

Presentar según los términos de referencia contenidos en el Cartel, el avance de las actividades que se han llevado a cabo durante el período comprendido entre noviembre del 2020 y noviembre del 2021, con respecto a la medición de la variable oleaje en la entrada al Golfo de Nicoya.

4. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS DURANTE EL AÑO 2021

4.1. Equipo de medición utilizado

Para las mediciones se utiliza un equipo perfilador de corrientes y medidor de oleaje multidireccional tipo AST (Acoustic Surface Tracking), denominado AWAC de la marca Nortek, el cual puede medir las velocidades y las direcciones de las corrientes en capas de un metro, así como olas de todo tipo. Este equipo basa su medición de altura de ola por medio de una detección acústica de la superficie mediante un transductor vertical (Haz acústico en posición vertical). La Figura 1 muestra el AWAC y el cilindro donde se colocan las baterías, ambos dispositivos se colocan en una base fijada al fondo marino.



Figura 1. AWAC instalado en Cabo Blanco

Una característica singular de este equipo es la posibilidad de medir directamente parámetros de oleaje como H_{\max} y $H_{1/10}$, entre otras. La precisión al medir la altura de ola es del centímetro y para el período es de medio segundo. El AWAC es un equipo sólido de 6,1 kg, cuya configuración física es de cuatro haces acústicos, uno vertical y los otros tres en un ángulo de 45° . Además, puede medir hasta una profundidad de 35 metros, utiliza baterías alcalinas de 9-18 V, donde la duración depende de configuración elegida y la cantidad de datos registrados. La memoria del equipo cuenta con una capacidad de 2 MB siendo capaz de registrar todos los datos a lo largo de la vida útil de la batería.



En cuanto a su configuración de lectura de datos, se ha programado con una frecuencia de muestreo a 2 hz para que registre un total de 2048 datos, lo que equivale a un período de medición de aproximadamente 15 minutos, los cuales son representativos de cada 3h.

4.2. Localización del AWAC

El AWAC se coloca aproximadamente en las coordenadas indicadas en el Cuadro 1, tal y como fue acordado entre iMARES y la Dirección de Obras Marítimo Portuarias de la División Marítimo Portuaria (DOMP-DMP) del MOPT:

Cuadro 1. Coordenadas aproximadas del AWAC en Cabo Blanco

Tipo de equipo	Sistemas de proyección	Este (m)	Norte (m)	Profundidad (m)
AWAC	CRTM05	375 945.810	1 056 474.381	16

Fuente: iMARES, 2019.

Se adjunta en el apéndice I el mapa que muestra la ubicación del AWAC.

4.3. Visitas por mantenimiento

Durante el año 2021 se han realizado un total de tres visitas a Cabo Blanco con el fin de sustituir el equipo instalado por otro igual, para de esta manera procurar dar continuidad a las mediciones.

La primera visita del año se dio en marzo del 2021, donde se partió del muelle de Bomberos dentro del complejo turístico del Instituto Costarricense de Turismo (ICT), en Barrio el Carmen de Puntarenas. El viaje partió a las 6:30 am y aproximadamente a las 9:00 am se ingresó al agua, debido a la buena visibilidad y la facilidad de encontrar el equipo, no hubo problemas de extracción y colocación del equipo. Para la extracción se utilizó una bolsa de flotación para facilitar el ascenso (Figura 2A).

La segunda visita se realizó el 22 de julio del 2021 y se partió del muelle turístico del ICT alrededor de las 6:30 am. Se ingresó al agua aproximadamente a las 9:00 am, en esta ocasión se contó una visibilidad de aproximadamente 1.5 m, a pesar de ello se logró ubicar el AWAC con rapidez. Durante la maniobra no se dieron complicaciones, sin embargo, se determinó que la base del dispositivo debía ser cambiada en la próxima visita.

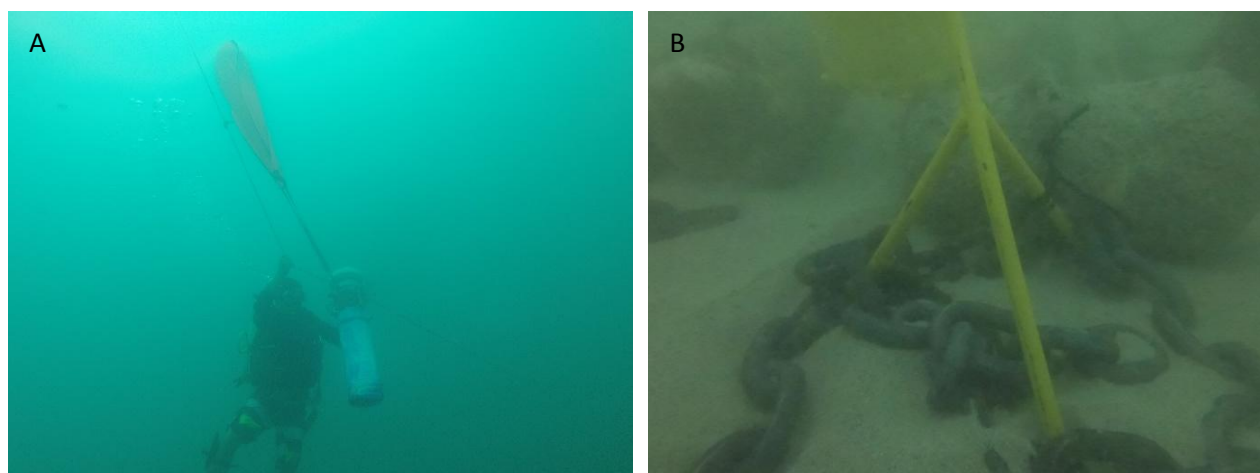


Figura 2. A) Extracción del equipo de medición mediante el uso de una bolsa de flotación; B) Lastres colocados para la sujeción de la nueva estructura del AWAC

La tercera visita se realizó el 11 de noviembre del 2021, se partió desde un muelle en las cercanías del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), en Puntarenas. El viaje partió a las 6:30 am y se ingresó al agua en Cabo Blanco cerca de las 9:10 am. En esta ocasión se tuvo que reemplazar la base de colocación del equipo por una nueva, ya que la vieja presentaba algunos daños (Figura 2B). La colocación y extracción del AWAC no presentó problemas.

5. DATOS OBTENIDOS DURANTE EL PERÍODO DE MEDICIÓN

5.1. Definición de los parámetros del estado de mar

El período de medición efectivo se extiende desde el 27 de noviembre del 2020 al 11 de noviembre del 2021, ambos días inclusive. Se cuenta con estados de mar medidos cada 3 horas para un total de 2792, los cuales se han distribuido de la siguiente manera: 777 estados de mar en el período de noviembre del 2020 a marzo del 2021, 1119 estados de mar en el período de marzo a julio del 2021 y 896 estados de mar en el período de julio a noviembre del 2021.

Los parámetros de oleaje representativos a cada estado de mar medidos de manera continua por el AWAC, y que se adjuntan al presente documento en formato de tabla en el apéndice II son: altura de ola de momento de orden cero (H_{m0}), altura de ola significativa (H_s), altura de ola un décimo ($H_{1/10}$), altura de



ola máxima (H_{max}), altura de ola media (H_m), período medio espectral (T_{m02}), período pico (T_p) y la dirección media (θ).

La H_{m0} se calcula a partir del análisis en el dominio de la frecuencia por medio de la aplicación de las siguientes fórmulas:

Momento de orden n

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f) df \quad (1)$$

El momento de orden cero, m_0 , representa el área bajo la curva de la densidad espectral.

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(f) df \quad (2)$$

Altura de ola de momento de orden cero se define como:

$$H_{m0} = 4.004\sqrt{m_0} \quad (3)$$

Algunos de estos parámetros están directamente relacionados con los equivalentes parámetros estadísticos obtenidos a partir del análisis en el dominio del tiempo. Uno de los más comunes es la relación de las alturas H_{m0} y H_s , que para datos medidos en Costa Rica la relación según (Quiros, 2019) es la siguiente:

$$H_{m0} = 1.04H_s \quad (4)$$

No obstante, al tener los registros de superficie libre el parámetro H_s se ha calculado a partir del método de pasos ascendentes por cero.

Altura de ola máxima, H_{max} : es la altura de ola correspondiente a la mayor ola que se encuentra en un registro de N olas.

Altura de ola un décimo,
$$H_{1/10} = \frac{10}{N} \sum_{i=1}^{N/10} H_i \quad (5)$$



Altura de ola media,
$$H_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i \quad (6)$$

donde N es el número de olas del registro.

Período medio espectral:
$$T_{m02} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (7)$$

Frecuencia de pico, f_p : Se define como la frecuencia en la que la densidad espectral es máxima.

Periodo de pico:
$$T_p = \frac{1}{f_p} \quad (8)$$

5.2. Análisis de datos

En este apartado se han incluido una serie de figuras que tienen como propósito ahondar en el análisis de la información medida. Para ello se han incorporado figuras que muestran el comportamiento, durante el período de medición, de los parámetros de oleaje solicitados en el cartel (H_{m0} , T_p , θ), además, se muestran las relaciones entre parámetros, gráficos de densidad relativa y distribución acumulada que ilustran la distribución de las magnitudes, y rosas de oleaje que muestran las direcciones de las olas.

La Figura 3 muestra las series temporales de los parámetros de H_{m0} , período pico T_p , T_{m02} , y dirección medio θ , correspondientes a los 2792 estados de mar medidos durante el período de estudio. Los valores de los parámetros de oleaje medidos durante el año 2021 se pueden catalogar que se ajustan al comportamiento normal a lo largo del año (iMARES, 2017) y (Alfaro, 2017). Los primeros meses del año, entre enero y abril, las alturas de olas son ligeramente menores y presentan una magnitud promedio de 1.05 metros, aumentan entre los meses de mayo a octubre presentando valores que superan los 2 metros en distintos momentos durante esos meses y su promedio es de 1.53 m.

En relación con el comportamiento del período pico, éste presenta un valor promedio de 13.51 segundos, pero existen valores reportados de hasta 17.9 segundos de máximo y de 5.6 segundos de valores mínimos. El parámetro T_{m02} presenta valores menores al T_p y de media de 7.84 segundos a lo largo del registro. Los valores de la dirección presentan poca variabilidad y como valor medio los 200° aproximadamente, lo cual confirma que la dirección reinante del oleaje que incide en las costas del Pacífico de Costa Rica es sursuroeste.

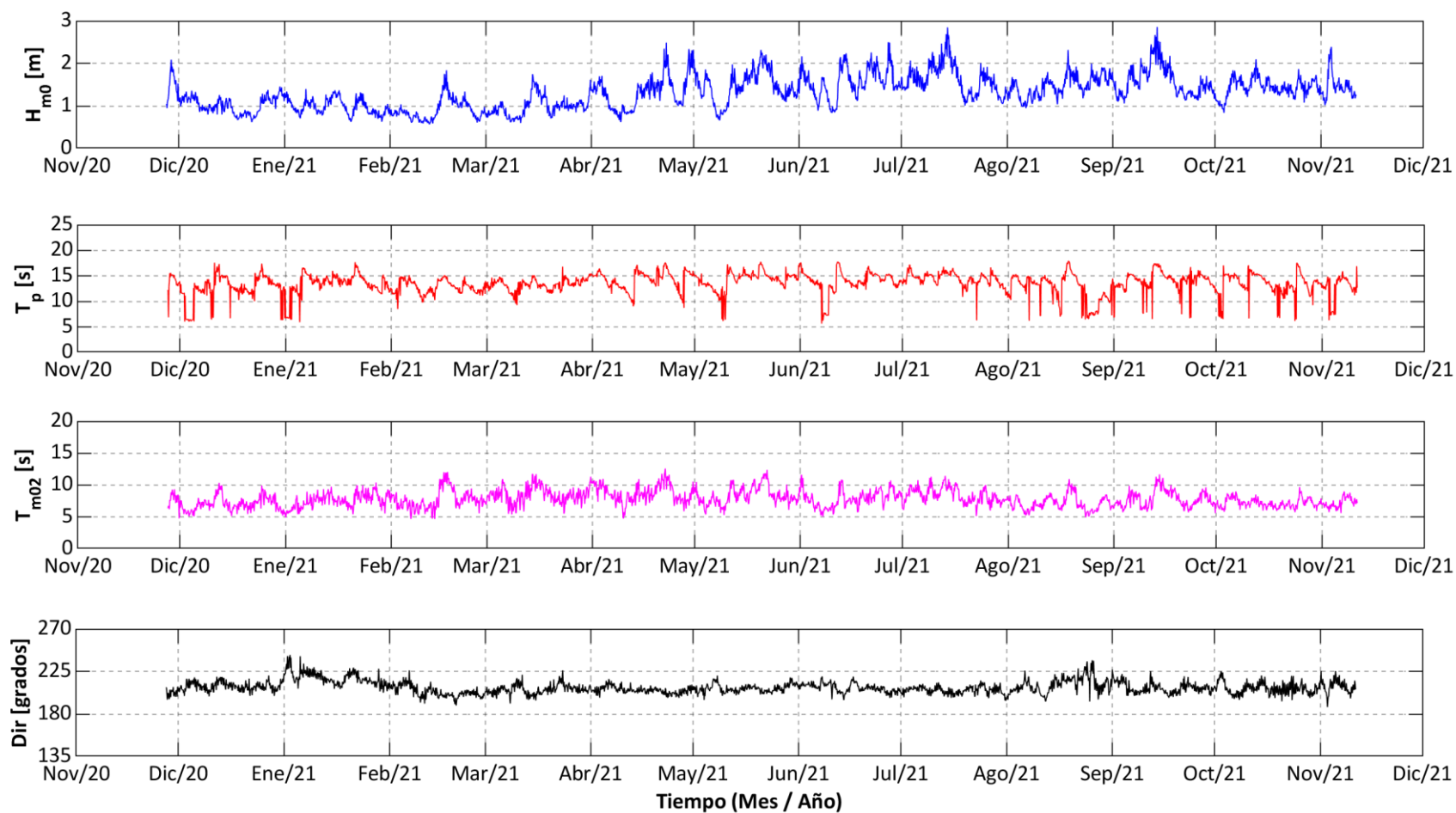


Figura 3. Series temporales de los parámetros H_{m0} , T_p , T_{m02} y θ medidos por el AWAC entre noviembre del 2020 y noviembre 2021.

La Figura 4 corresponde al gráfico de dispersión H_{m0} vs T_p ; en éste se puede observar que existe dos familias de datos diferenciadas, uno con valores de T_p superiores a los 10 segundos y asociados a valores de H_{m0} entre 0.5 metros y hasta 2.5 metros, concentrándose la mayoría de los datos entre los 14 segundos de T_p y 1.5 metros de H_{m0} . La otra familia presenta valores de H_{m0} entre 1 y 2 metros asociados con valores de T_p de aproximadamente 7 segundos en promedio. La primera familia representa el oleaje de mar de fondo o tipo Swell y la segunda es la evidencia de oleaje local o tipo Sea.

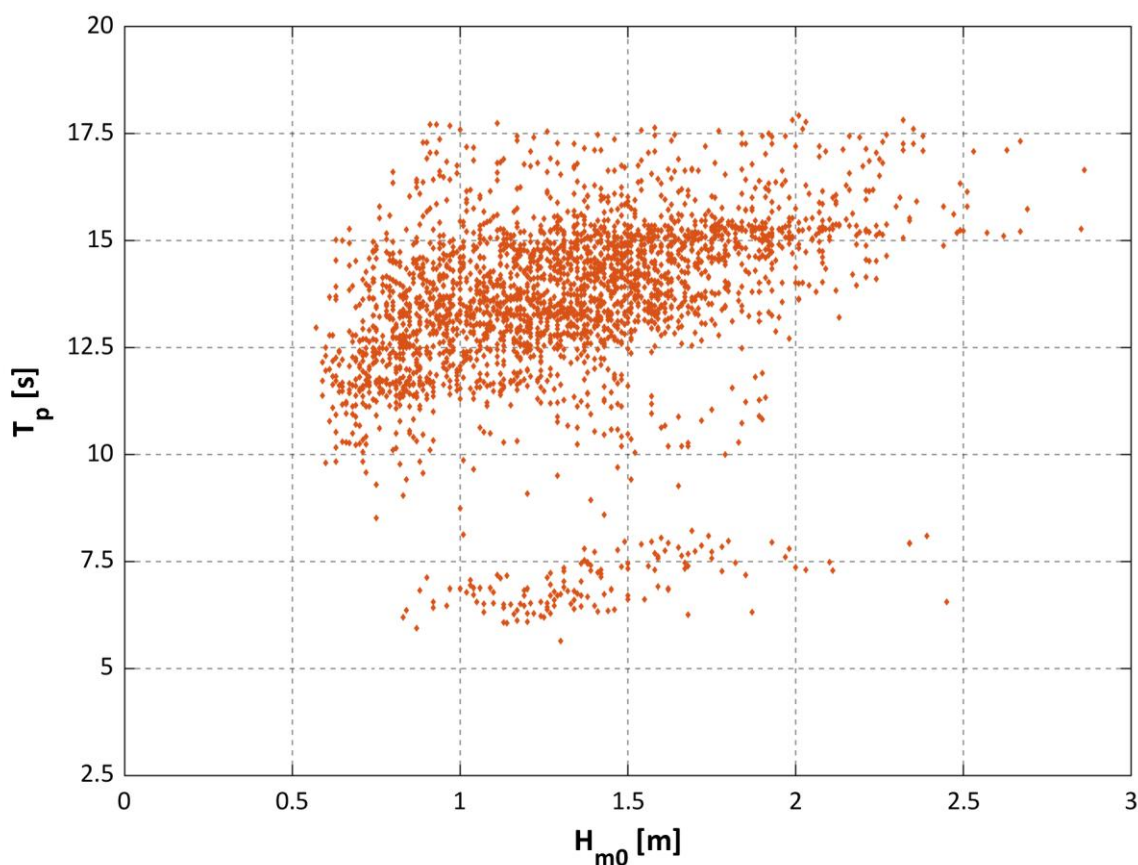


Figura 4. Gráfico de dispersión H_{m0} vs T_p .

La Figura 5 muestra el gráfico de dispersión H_{m0} vs θ ; en éste se destaca que las direcciones medidas durante el período se concentran en una franja entre los 185° y los 243° , lo cual concuerda con lo mostrado en la gráfica de la serie temporal θ de la Figura 3. Estos valores de dirección están asociados a los diferentes valores de H_{m0} , lo que demuestra que el oleaje que incide en las costas del Pacífico proviene del tercer cuadrante.

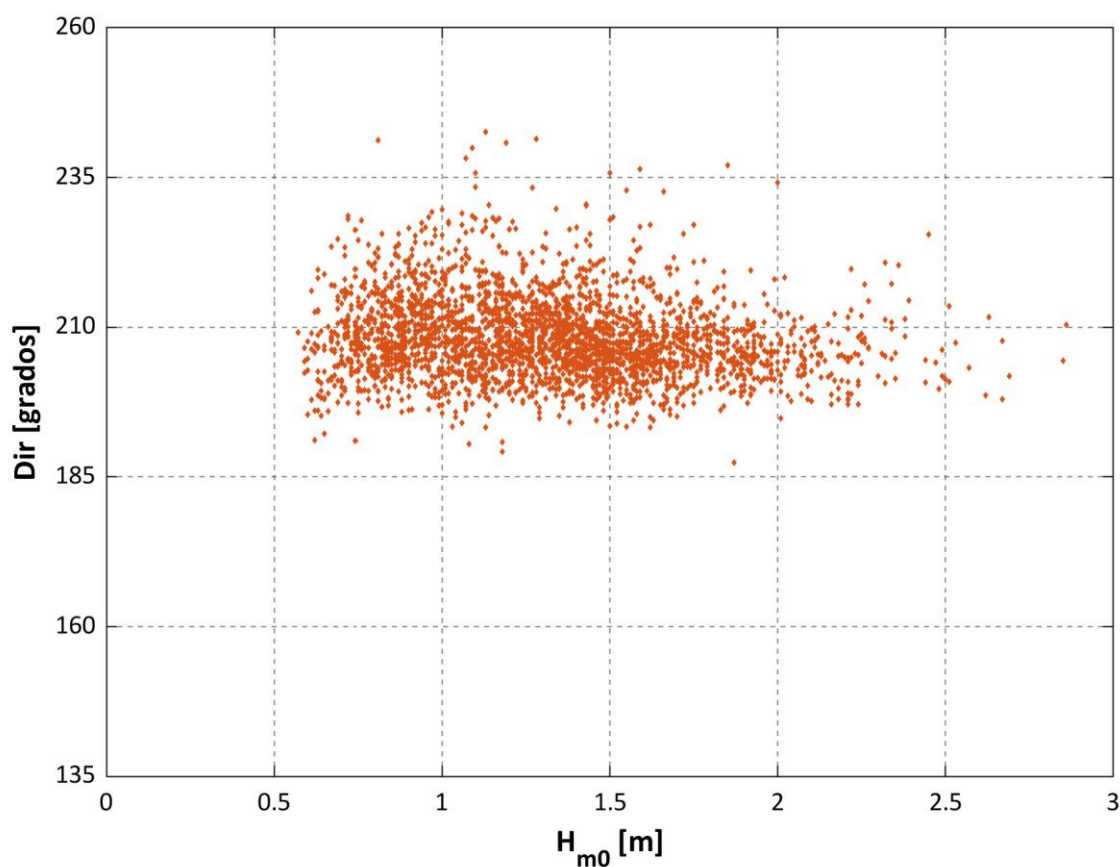


Figura 5. Gráfico de dispersión H_{m0} vs θ .

La Figura 6 muestra los gráficos de frecuencia y probabilidad acumulada para el parámetro H_{m0} . La figura 7A) representa la frecuencia relativa del parámetro H_{m0} agrupado en clases, se observa que el valor medio de H_{m0} es de 1.32 metros con una desviación de 0.39 metros. La figura 7B) también representa como se distribuye las magnitudes de H_{m0} , pero genera información adicional como por ejemplo que el 50 % del tiempo la magnitud de H_{m0} es mayor o menor a 1.30 metros, o que las magnitudes de H_{m0} de 2.01 metros tienen una probabilidad de no excedencia del 95 % del tiempo.

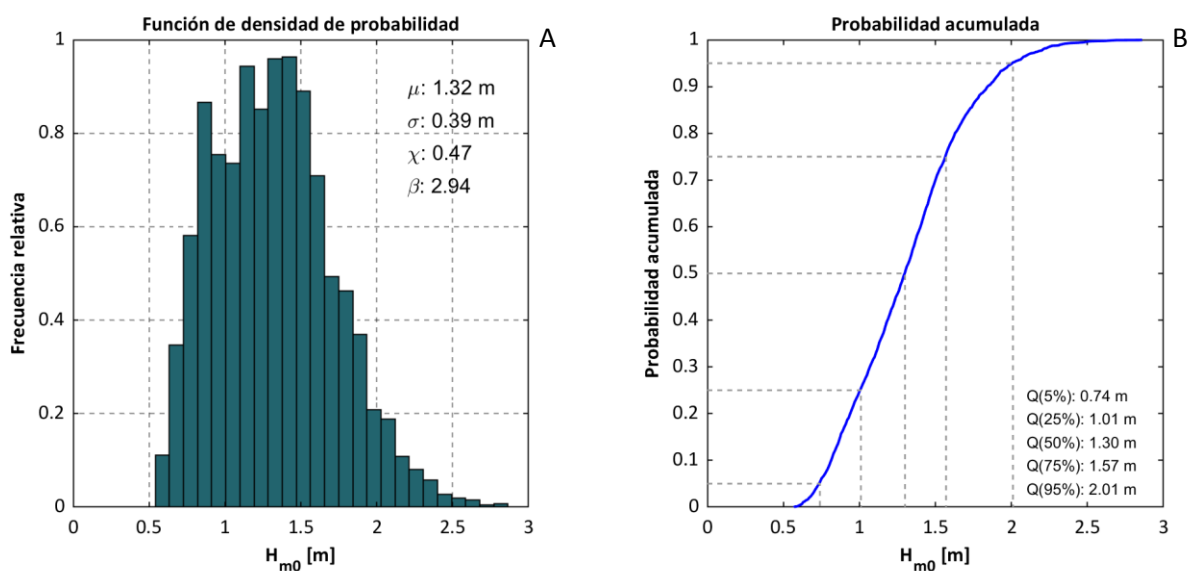


Figura 6. A) Histograma de H_{m0} . B) gráfico de probabilidad acumulada de H_{m0}

La Figura 7 muestra los gráficos de frecuencia y probabilidad acumulada para el parámetro T_p . La figura 8A) representa la frecuencia relativa del parámetro T_p , se observa que el valor medio de T_p es de 13.51 segundos aproximadamente con una desviación de 2.13 segundos. La figura 8B) también representa como se distribuye las magnitudes de T_p , pero genera información como por ejemplo que el 50 % del tiempo la magnitud de T_p es mayor o menor a 13.76 segundos, o que las magnitudes de T_p de 16.29 segundos tiene una probabilidad de no excedencia del 95 % del tiempo, entendiéndose como tiempo el período de medición, el cual es prácticamente el año.

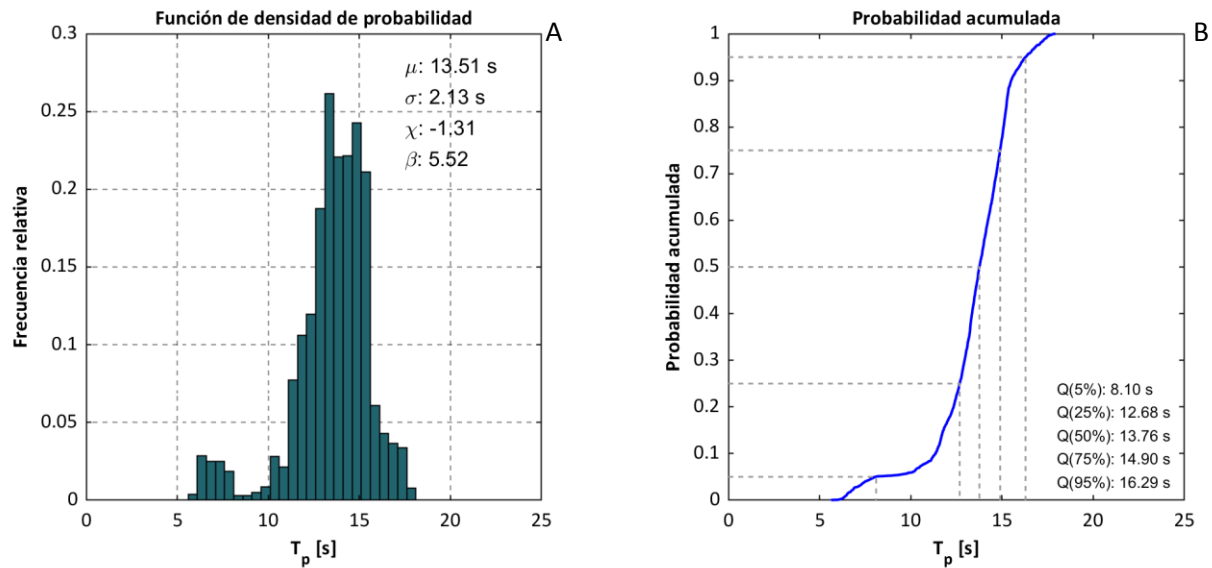


Figura 7. A) Histograma de T_p . B) Gráfico de probabilidad acumulada de T_p

La Figura 8 muestra los gráficos de rosas de oleaje divididas en 36 segmentos correspondiente a los parámetros H_{mo} y T_p . Se constata que el oleaje reinante y dominante durante el período de medición corresponde a la dirección sursuroeste (SSO), lo cual corresponde aproximadamente al 98 % del tiempo, otro 2 % del tiempo proviene de la dirección suroeste (SO). La figura 9A) muestra que las alturas entre 0.5 y 1.5 metros, que son aproximadamente el 60 % del total de las olas medidas, presentan dirección SSO, existen otras magnitudes mayores y menores con menor ocurrencia y que también provienen de la misma dirección. La figura 9B muestra la rosa de T_p , donde se evidencia que aproximadamente el 55 % del tiempo las olas tienen magnitudes entre los 12.5 y 15 segundos, un 23% tienen magnitudes superiores o iguales a 15 segundos y un 22% presentan magnitudes menores a 12.5 segundos.

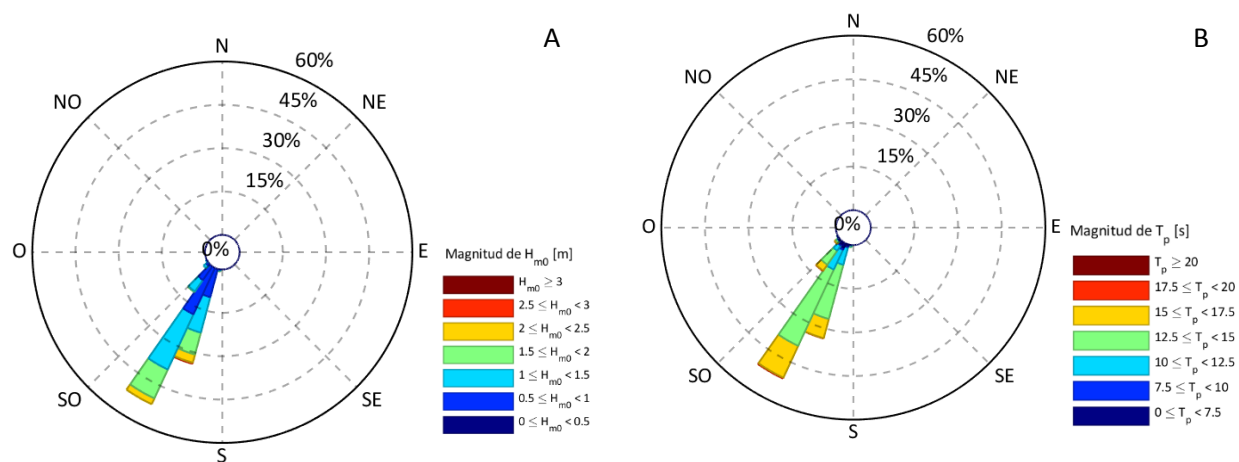


Figura 8. A) Rosa de H_{m0} . B) Rosa de T_p

6. CONCLUSIONES

Se ha logrado medir la variable oleaje en la entrada al Golfo de Nicoya, específicamente en Cabo Blanco, de manera cuasicontinúa generando estados de mar cada 3 horas, mediante el reemplazo oportuno del equipo de medición instalado. Esto contribuye a que la base de datos sea homogénea en el tiempo y por ende en la calidad del análisis estadístico de la información.

A partir de los datos medidos, se ha realizado un análisis de estos mediante técnicas de estadística descriptiva, con el fin de evaluar el comportamiento de cada uno de los parámetros de oleaje.

Los distintos parámetros registrados durante el año 2021 tienen un comportamiento, tanto en magnitud como en dirección, similar a bases de datos instrumentales recolectadas en años previos y de reanálisis que se tienen en este sitio y en lugares cercanos.

Los datos medidos durante el período 2020 -2021 van a ampliar los registros actuales de bases de datos de oleaje, lo que favorecerá en los proyectos de ingeniería que se acometan en un futuro, así como también de otras disciplinas. Asimismo, los datos servirán como insumo para el informe plurianual que se debe de realizar al finalizar el período de esta contratación.



7. ESTIMACIÓN DEL COSTO EN EL PERÍODO MEDIDO

La cantidad de estados de mar medidos durante el período comprendido entre el 27 de noviembre del 2020 al 11 de noviembre del 2021 fue un total de 2792. El cuadro 1 muestra la estimación de cantidades y facturación para el período respectivo.

Cuadro 1. Lista de Cantidades y estimación de facturación para este período de medición.

Item	Nombre de la tarea	Unidad	Cantidad Estimada durante el año	Cantidad medida en el período	Saldo de cantidad	Precio unitario (Colones de Costa Rica)	Total cancelado (Colones de Costa Rica)	Total durante el período (Colones de Costa Rica)
1	Aplicación informática de estimación de altura de ola para la bahía de Caldera	Un	1	1	0	490.000,00	490.000,00	
3	Estados de mar medidos en un año, a partir de la orden de inicio de esta contratación	Un*	2920	2792	128	6500	0	18.148.000,00
							Total monto en esta estimación Colones de Costa Rica	18.638.000,00
							IVA 2 %	372.760,00
							Total a cancelar (colones)	19.010.760,00

* Los precios indicados se mantendrán invariables durante el período de ejecución contractual. Con lo cual se entiende que para los períodos 2020, 2021 y 2022 la cantidad de estados de mar por cada año es aproximadamente 2920 y el precio unitario es de €6.500,00 (seis mil quinientos colones) por estado de mar.



8. BIBLIOGRAFÍA

Alfaro H., (2017). *Estudio de la dinámica del oleaje en el litoral Pacífico de Costa Rica: Metodologías de regionalización y avances en servicios relativos al clima marítimo*. (Tesis Doctoral). Universidad de Cantabria, Santander, España.

iMARES, 2017. *Informe de calibración de los datos de oleaje de la NOAA con mediciones de campo*. informe de consultoría. Contratación Directa No. 2013-CD000470-32800. San José, Costa Rica.

Quiros V. J., 2019. *Caracterización de los parámetros de oleaje de la costa Pacífico de Costa Rica a partir de mediciones instrumentales*. (Trabajo final de graduación). Universidad de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica.



APÉNDICE I

PLANO DE UBICACIÓN



APÉNDICE II

DATOS DE PARÁMETROS DE OLEAJE