

# Proyecto ERAMAC

MAC 2.3/C1

Módulo A  
Tarea A3

INFORME:

**Identificación y caracterización del potencial de  
la energía de las olas en Canarias.**

Entidad responsable: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.

## Módulo A: Tarea A3

# Identificación y caracterización del potencial de la energía de las olas en Canarias.

### ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

#### INTRODUCCIÓN

La energía del oleaje es una fuente de energía limpia y emergente. El *Consejo Mundial de la Energía* (WEC) ha estimado la potencia mundial de este recurso en unos 2 TW, con una generación de electricidad mediante las tecnologías actuales de unos 2000 TWh/año.

La mayor parte de esta energía se concentra en los Océanos Atlántico y Pacífico, entre las latitudes 40° y 65° y con un potencial entre 50-100 kW por metro de frente de ola. En las zonas tropicales, este potencial se encuentra entre 10-20 kW/m.

Canarias está situada en una zona de potencial medio de aproximadamente 25 kW/m. Aunque existen otras zonas de mayor potencial, generalmente se producen temporales devastadores que pueden llegar a destruir las instalaciones para generación con esta energía.

#### BARRERAS EN EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA DEL OLAJE

Durante los últimos 25 años el apoyo a esta energía ha experimentado diversas fluctuaciones. Su implementación ha sido frenada por distintas barreras. Siendo las más importantes:

- Los elevados costes de instalación y funcionamiento de estas plantas han provocado una falta de interés en estos sistemas. Sin embargo, gracias al progreso en las diferentes tecnologías y a la determinación de investigadores y empresas, se ha producido reducciones significativas de los costes.
- Falta de fiabilidad de los sistemas: algunos de los primeros prototipos instalados han sufrido problemas de funcionamiento debido principalmente a los daños producidos por temporales, que han dejado inutilizados parte de estos sistemas.

- Problemas de capacidad de la red eléctrica: la instalación de estos sistemas en zonas aisladas y lejos de los centros urbanos implica la mejora y ampliación de la red eléctrica.
- Dificultades en el diseño de estos sistemas: debido al funcionamiento con regímenes de olas (amplitudes, frecuencias y direcciones) muy variados y siendo necesario el diseño para soportar cargas estructurales en condiciones atmosféricas extremas.
- La falta de información y entendimiento de esta energía por parte de la sociedad ha provocado una demora en su implementación.

En el estado actual es difícil estimar con exactitud la viabilidad y los costes de generación de esta tecnología, debido principalmente a:

- Variación de los rendimientos y fiabilidad del funcionamiento de los diferentes modelos.
- Variación y falta de datos de las condiciones del oleaje.
- Diferentes estimaciones de los costes de construcción y producción.
- Falta de datos de funcionamiento, por lo que se depende del ensayo de modelos y predicciones teóricas.

## ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA

En contraste con otros tipos de energía alternativas, existe un número elevado de conceptos para la conversión de la energía del oleaje. Estos se pueden clasificar en los siguientes tipos genéricos:

- Columna de Agua Oscilante: estructuras huecas que se encuentran parcialmente sumergidas en el mar con la parte inferior abierta.
- Sistemas de llenado: recogen el agua de las olas incidentes para hacer funcionar una o más turbinas.
- Absorbedores puntuales: utilizan el movimiento oscilante vertical de las olas que es transformado por medios mecánicos o hidráulicos.
- Sistemas de '*surging*!': utilizan los desplazamientos horizontales de las olas para actuar sobre un deflector.

La tendencia actual es el diseño de sistemas de generación de entre 1.5-2 MW, o sistemas modulares pequeños de entre 5- 20 kW de potencia nominal, que pueden conectarse para producir en el rango de megavatios.

### Sistemas de costa

Los sistemas de costa se caracterizan por estar fijados en la propia costa. Esto tiene la ventaja de una fácil instalación y mantenimiento, además de no necesitar sistemas de anclaje al fondo marino ni sistemas eléctricos submarinos. Por el contrario el potencial energético será menor, esto puede ser compensado si se instala en puntos de la costa donde se produzcan amplificaciones naturales del oleaje. La instalación de estos sistemas está limitada en gran medida por la estructura de la costa, la amplitud de las mareas, conservación del entorno costero, etc.

### Sistemas “near-shore” o “cerca de costa”

Sistemas para instalar en profundidades menores que 20-30 metros.

### Sistemas “offshore” o “mar adentro”

Este tipo de sistema aprovecharía el régimen de olas con mayor energía que se encuentra en zonas con profundidades mayores de 40 m. Los diseños actuales constan de pequeños módulos que se pueden conectar entre sí para obtener una potencia nominal alta.

## OBJETIVO DEL ESTUDIO

Estudiar las características del oleaje en Canarias y su potencial energético; Siendo el punto de partida previo a la implementación de una planta de obtención de esta energía. Dicho estudio abarca el análisis de los datos ya existentes sobre oleaje en Canarias y un conocimiento detallado de la costa de las islas para poder identificar los puntos con mayor potencial energético.

## ESTRATEGIAS

La consecución de estos objetivos se llevaría a cabo mediante la realización de las siguientes tareas:

- a. Evaluación del clima marítimo y cálculo del potencial energético global de Canarias.
- b. Localización de emplazamientos en costa donde se produzca una amplificación del oleaje debido a efectos de refracción.
- c. Obtención de la batimetría local de la costa.
- d. Estudio local de refracción del oleaje: basado en el estudio de clima marítimo y en el estudio de batimetría local.
- e. Identificación de las limitaciones de acceso: estudiar los emplazamientos teniendo en cuenta su accesibilidad para el montaje, mantenimiento y visitas de la planta.
- f. Identificación de la geometría de la estructura soporte.

- g. Identificación estaciones transformadoras cercanas y sus características.
- h. Identificación de las limitaciones de la red eléctrica.
- i. Medio ambiente: revisar factores medio-ambientales del proyecto.
- j. Identificación de los propietarios del terreno.
- k. Identificación de los planes generales de actuación en costa: establecer las limitaciones que plantean dichos planes para actuaciones futuras.
- l. Acordar parámetros físicos: establecer tipo de planta, capacidad total y diseño.
- m. Estimación de los costes del proyecto.
- n. Identificación de actividades adicionales requeridas: monitorización del oleaje en el emplazamiento, estudio geológico, análisis de la morfología de la costa e impacto medio ambiental.

La última fase sería la instalación de la planta demostrativa basada en el estudio de viabilidad técnico-económico. Es importante tener un plan de actuación para el mantenimiento y la monitorización del funcionamiento de la planta.

La realización de estas tareas permitirían determinar la viabilidad real de la obtención de esta energía en Canarias.

## **ESTUDIO TECNICO**

### **INTRODUCCIÓN**

En el siguiente estudio se hace una recopilación de los datos de oleaje en Canarias y se realiza el cálculo de la potencia media del oleaje en Canarias.

Los datos de oleaje han sido obtenidos a partir de los datos obtenidos por diferentes boyas situadas en Canarias que realizan mediciones de altura y período del oleaje. Estos datos han sido suministrados por Puertos del Estado, organismo dependiente del Ministerio de Fomento español. También se realiza los cálculos de potencia con datos obtenidos por simulaciones numéricas realizadas por Puertos del Estado en diferentes puntos de Canarias.

### **POTENCIA DEL OLAJE**

La energía contenida en el oleaje para un determinado estado del mar se puede describir mediante una función de densidad de probabilidad de la distribución de energía  $S(w, \theta)$  siendo  $\theta$  la dirección de propagación y  $w$  la frecuencia.

La potencia del oleaje se calcula a partir de estas distribuciones o espectros de energía mediante la siguiente ecuación:

$$P = A H_s^2 T_p \text{ [kW/m]}$$

Siendo:

A constante dependiente del tipo de espectro de energía.

$H_s$  altura significativa del oleaje.

$T_p$  es el período de la frecuencia del pico de la distribución de energía.

Para diferentes tipos de espectros energéticos (Pierson-Moskowitz, ISSC, Jonswap,..) los valores de A oscilan entre 0,41 y 0,43. En este estudio se utilizará la expresión general siguiente para el cálculo de la potencia.

$$(1) P = 0,42 H_s^2 T_p \text{ [kW/m]}$$

La potencia se expresa en kW por metro de frente de ola.

Se utiliza los datos de oleaje ordenados en tablas de periodo pico  $T_p$  (segundos) y altura significativa  $H_s$  (metros), mediante la ecuación (1) se calcula la potencia para los datos anuales de oleaje. En la tabla siguiente se muestra un ejemplo del cálculo de la potencia.

Hs / Tp	4	6	8	10	12	14	16	18	20	Total
0,5	0	0	0,041	0,25375	0,5475	0	0	0	0	0,84225
1	0	13,521	38,164	70,445	44,58	14,777	5,2	0	0	186,687
1,5	0	9,045	101,952	130,173	149,08	79,301	13,158	0	0,923	483,633
2	0	0	16,896	51,16	113,04	76,16	16,896	1,476	0	275,628
2,5	0	0	0	8,875	38,062	87,018	48,7	0	0	182,656
3	0	0	0	10,98	13,176	56,259	87,696	3,321	0	171,432
3,5	0	0	0	0	0	31,298	39,788	0	0	71,086
4	0	0	0	0	0	9,072	25,984	0	0	35,056
4,5	0	0	0	0	0	5,811	32,886	7,472	0	46,17
5	0	0	0	0	0	0	24,4	0	0	24,4
5,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total*100	0,00	22,566	157,053	271,888	358,48	359,69	294,70	12,269	0,923	1477,5913

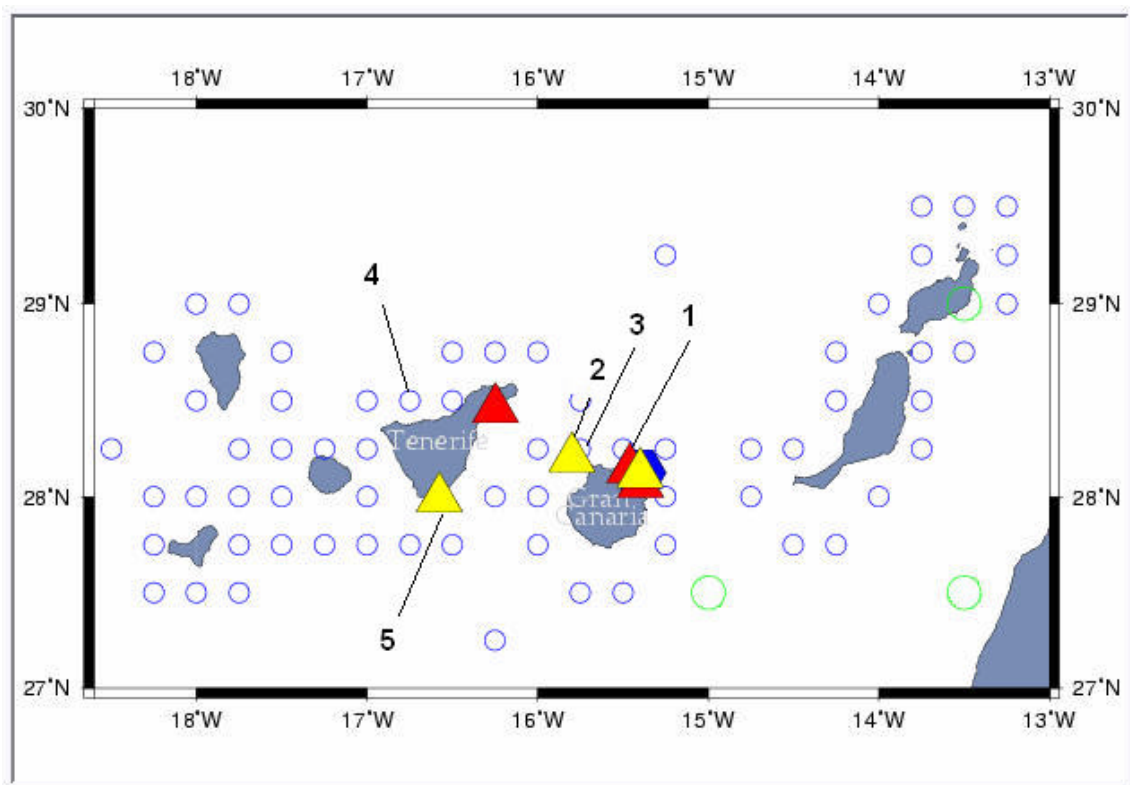
Tabla (1): Potencial (W/m), A=0,5.

## CALCULO DE LA POTENCIA DEL OLEAJE EN CANARIAS

Los puntos donde se realizan los cálculos son los siguientes:

1. Boya Las Palmas.
2. Boya Gran Canaria.

3. Punto de simulación Wana 1017013 (norte Gran Canaria).
4. Punto de simulación Wana 1013014 (norte Tenerife).
5. Boya Tenerife Sur.



Puntos de cálculo de la potencia del oleaje en Canarias Ref: Dpto. Tco. Clima Marítimo – Puertos del Estado- Ministerio de Fomento

#### Boya Las Palmas:

Situada en la bahía del Confital en Las Palmas de Gran Canaria, con lo que la boya se encuentra en una zona protegida y de menor potencial, pero orientada directamente al Norte-Noroeste que es la dirección de oleaje con mayor potencial en Canarias. Los datos son significativos para el estudio de localización de enclaves con alto potencial cerca o en la costa norte de Gran Canaria.

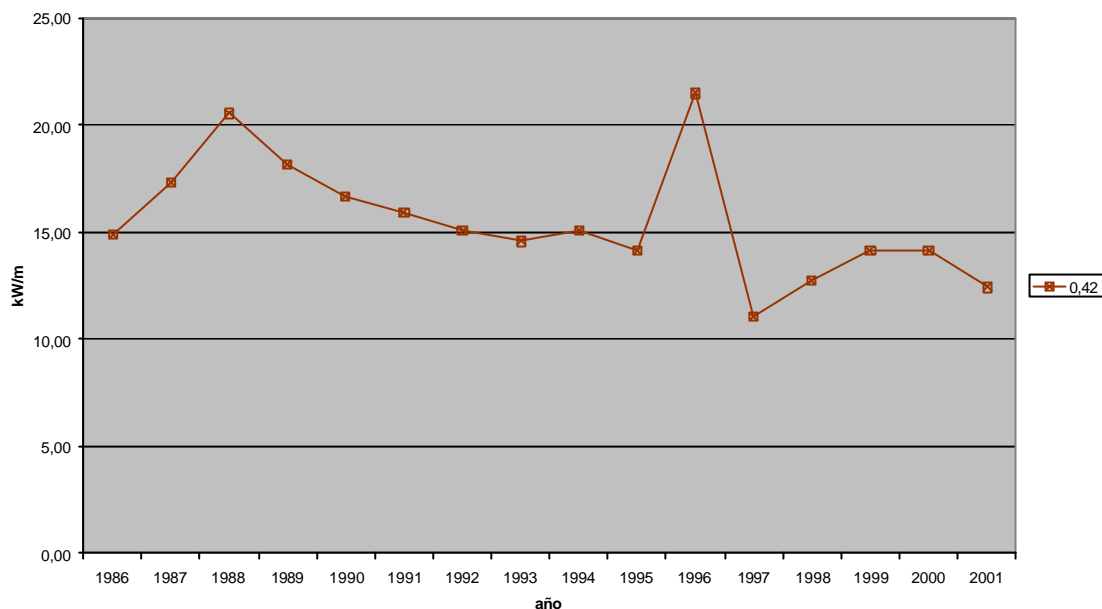




Año / A	0,42
<b>1986</b>	<b>14,90</b>
<b>1987</b>	<b>17,29</b>
<b>1988</b>	<b>20,53</b>
1989	18,18
1990	16,68
1991	15,89
1992	15,07
1993	14,56
1994	15,10
1995	14,12
<b>1996</b>	<b>21,48</b>
1997	11,04
1998	12,78
1999	14,18
2000	14,13
<b>2001</b>	<b>12,41</b>
<b>MEDIA</b>	<b>15,52</b>

Potencia por año en kW/m (Valores en rojo son datos con una eficacia menor que el 85%)

**Potencia del Oleaje (Boya Las Palmas)**



**Boya Gran Canaria:**

Se encuentra situada en el noroeste de Gran Canaria. Los datos obtenidos por esta boya contienen la información del oleaje con mayor potencial de Gran Canaria. Existe una disminución de la componente noroeste del oleaje debido al efecto de “sombra” que produce Tenerife.

Localización y datos de la boya Gran Canaria:

Latitud:	28° 11.4' N
Longitud:	15° 48.6' W
Profundidad:	780 m
Fecha inicial de fondeo:	Junio 1997
Tipo de boya:	<u>Seawatch</u>
Sensor de oleaje:	direccional

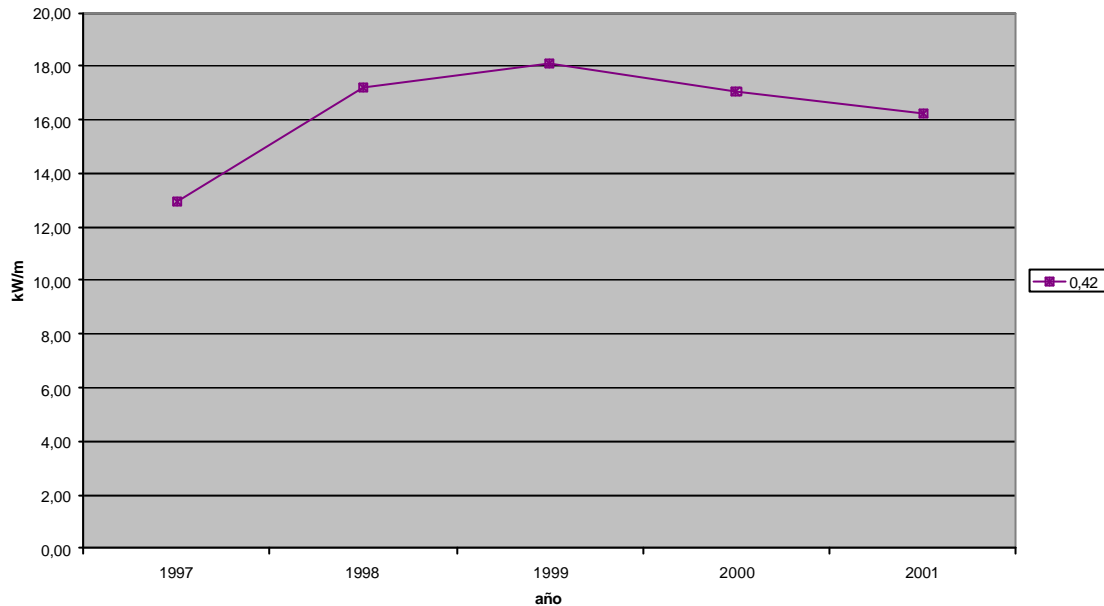


El cálculo de la potencia se ha realizado para todos los años desde 1997 hasta 2001. La media obtenida es de **16,32 kW/m**.

<b>Año / A</b>	<b>0,42</b>
<b>1997</b>	<b>12,98</b>
<b>1998</b>	17,21
<b>1999</b>	18,09
<b>2000</b>	17,06
<b>2001</b>	16,24
<b>MEDIA</b>	<b>16,32</b>

Potencia por año en kW/m (Valores en rojo son datos con una eficacia menor que el 85%)

Potencia del Oleaje (Boya Gran Canaria)



Punto de simulación Wana 1017013 (norte Gran Canaria)

Se ha realizado la simulación mediante un modelo WAN de oleaje (ref: Puertos del Estado).

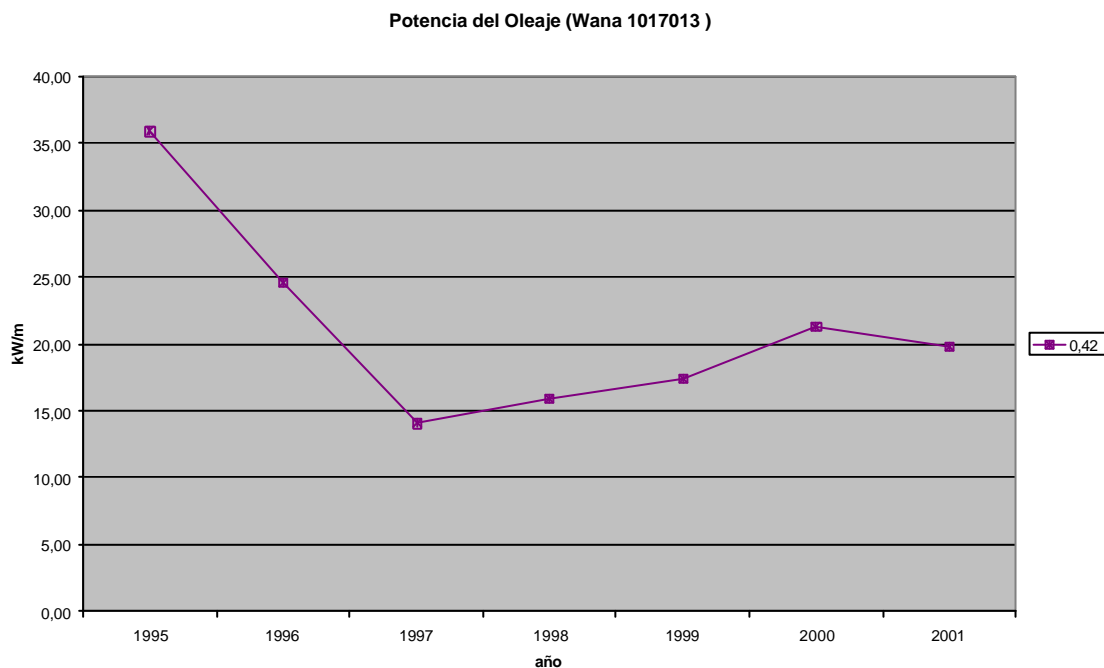
El modelo WAM de generación de oleaje (WAMDI, 1988), en su versión 4 (Günther et al., 1991), integra la ecuación básica de transporte. Esta ecuación describe la evolución de un espectro bidimensional de energía de oleaje con respecto a la frecuencia y dirección sin hacer ninguna presunción inicial sobre la forma del espectro.

La malla del modelo de oleaje define la Costa Atlántica Española con una resolución de un cuarto de grado por lo tanto los datos producidos cerca de la costa ya tienen en cuenta apantallamientos del oleaje por la costa (aunque con la limitación de esta resolución). La versión del modelo utilizado para el Atlántico es de aguas profundas, y por lo tanto no se tiene en cuenta ningún fenómeno producido por el fondo marino. La información producida por el modelo para cada punto de malla es el espectro direccional de energía de oleaje, de donde se puede extraer gran cantidad de información, p.e. Hs, Tp, Tm, dirección media, componentes de mar de viento, de mar de fondo, etc.

El punto de cálculo se encuentra en el noroeste de Gran Canaria. Se han realizado los cálculos de los años 1995 hasta 2001, siendo la media calculada de **21,25 kW/m**.

Año / A	0,42
<b>1995</b>	<b>35,84</b>
1996	24,63
1997	14,04
1998	15,85
1999	17,37
2000	21,26
2001	19,74
<b>MEDIA</b>	<b>21,25</b>

Potencia por año en kW/m (Valores en rojo son datos con una eficacia menor que el 85%)



Punto de simulación Wana 1013014 (norte Tenerife)

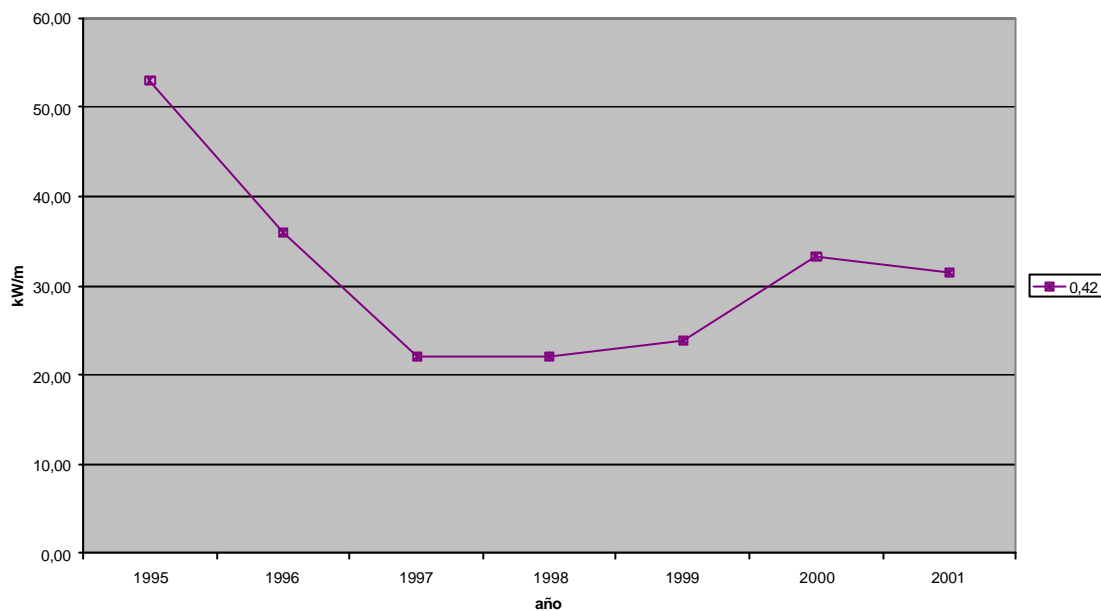
Se ha realizado la simulación mediante un modelo WAN de oleaje (ref: Puertos del Estado).

El punto de cálculo se encuentra en el norte de Tenerife, expuesto a las componentes del oleaje con mayor potencia. Se han realizado los cálculos de los años 1995 hasta 2001, siendo la media calculada de **31,65 kW/m**.

Año / A	0,42
<b>1995</b>	<b>52,90</b>
1996	35,97
1997	22,03
1998	21,98
1999	23,89
2000	33,28
2001	31,48
<b>MEDIA</b>	<b>31,65</b>

Potencia por año en kW/m (Valores en rojo son datos con una eficacia menor que el 85%)

Potencia del Oleaje (Wana 1013014 )



### Boya Tenerife Sur

Situada en el sureste de Tenerife, con lo que la boya se encuentra en una zona protegida y de menor potencial. Los datos son significativos para el estudio de localizaciones que deseen aprovechar el mar de viento existente en Canarias debido a los vientos Alisios.

Localización y datos de la boya Tenerife Sur:

Latitud:	28° 0.0' N
Longitud:	16° 34.8' W
Profundidad:	710 m
Fecha inicial de fondeo:	Abril 1998
Tipo de boya:	<a href="#">Seawatch</a>
Sensor de oleaje:	direccional



El cálculo de la potencia se ha realizado para todos los años desde 1998 hasta 2001. La media obtenida es de **5,15 kW/m**.

Año / A	0,42
<b>1998</b>	<b>5,95</b>
1999	5,09
2000	4,85
2001	4,69
<b>MEDIA</b>	<b>5,15</b>

Potencia por año en kW/m (Valores en rojo son datos con una eficacia menor que el 85%)