

## **Anexo Oleaje**

Octubre de 2004

9M8010.21

A COMPANY OF



**ROYAL HASKONING**

HASKONING NEDERLAND BV  
MARITIME

Barbarossastraat 35  
Apartado de correo 151  
6500 AD Nijmegen  
los Países Bajos  
+31 (0)24 328 42 84 Teléfono  
+31 24 3609 634 Fax  
info@nijmegen.royalhaskoning.com E-mail  
www.royalhaskoning.com Internet  
Arnhem 09122561 CdC

Título del documento    Anexo Oleaje

Título de documento  
abreviado  
Estado  
Fecha    Octubre de 2004

Nombre del proyecto

Número del proyecto    9M8010.21

Autor(s)    Jan-Willem Jongbloed

Comitente

Referencia    9M8010.21/R/JWJ/Nijm

## INDICE

	Página
1 INTRODUCCIÓN	1
2 FUENTES DE INFORMACIÓN DISPONIBLES	3
3 FUENTES UTILIZADAS	5
3.1 Registros en Puerto Quetzal (Guatemala)	5
3.1.1 Oleaje en Puerto Quetzal	5
3.1.2 Transformación de oleaje en Puerto Quetzal a Aguas Profundas	8
3.1.3 Transformación de oleaje de Aguas Profundas a Puerto Caldera	12
3.2 Registros de mediciones de oleaje realizado por la misión japonesa	13
3.3 Datos del BMT	15
4 EVALUACIÓN	17
4.1 Introducción	17
4.2 Criterios de Diseño	17
4.2.1 Período de la ola de diseño	18
4.2.2 Dirección del oleaje	18
4.2.3 Altura de ola	18
4.3 Resumen	23

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1-1 Batimetría de Golfo de Nicoya .....	2
Figura 3-1 Probabilidad de ocurrencia de Periodo Pico y Dirección en Puerto Quetzal ..	6
Figura 3-2 Probabilidad de ocurrencia de Periodo Pico y Ola Significante en Puerto Quetzal.....	6
Figura 3-3 Probabilidad de ocurrencia de Ola significativa y Dirección en Puerto Quetzal .....	8
Figura 3-4 Dirección y periodo pico del oleaje en Aguas Profundas.....	10
Figura 3-5 Ola significativa y periodo pico del oleaje en Aguas Profundas.....	11
Figura 3-6 Distribución de Ts de acuerdo a mediciones de la misión japonesa.....	15
Figura 3-7 Distribución de dirección de oleaje en aguas profundas.....	16
Figura 3-8 Distribución de dirección de oleaje en Golfo de Nicoya.....	17
Figura 4-1 Probabilidad de excedencia de oleaje considerando un periodo representativo de 3 horas.....	19
Figura 4-2 Probabilidad de excedencia de oleaje considerando un periodo representativo de 6 horas.....	20
Figura 4-3 Probabilidad de excedencia de oleaje considerando un periodo representativo de 9 horas.....	21
Figura 4-4 Probabilidad de excedencia de oleaje considerando un periodo representativo de 12 horas.....	22

## INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 3-1 Factor de Shoaling y refracción.....	8
Tabla 3-2 Distribución de altura de oleaje a MLWS -15m y -12m.....	12
Tabla 3-3 Características de oleaje medido por la misión japonesa.....	14
Tabla 3-4 Características del oleaje en aguas profundas según registro de BMT .....	15
Tabla 3-5 Características del oleaje a MLWS -15m basado en registro de BMT .....	16

## 1 INTRODUCCIÓN

Para el diseño de las diferentes alternativas de extensión del rompeolas, espigones de retención de arena y trabajos de dragado, así como la reparación del morro del rompeolas existente, es necesario establecer, analizar y esquematizar la información física del oleaje para poder ser utilizada en formulas de diseño.

El oleaje, para fines de diseño de estructuras marítimas, en forma práctica tradicionalmente se divide en dos tipos de oleaje:

- El oleaje tipo “swell”, es aquel oleaje que se formó por vientos lejanos y que ha avanzado por el océano hasta la zona de interés
- El oleaje tipo “sea”, es aquel oleaje formado por vientos locales y que esta dentro o en la cercanía de la zona de generación

Para fines de diseño del rompeolas solo son de interés las olas tipo “swell”.

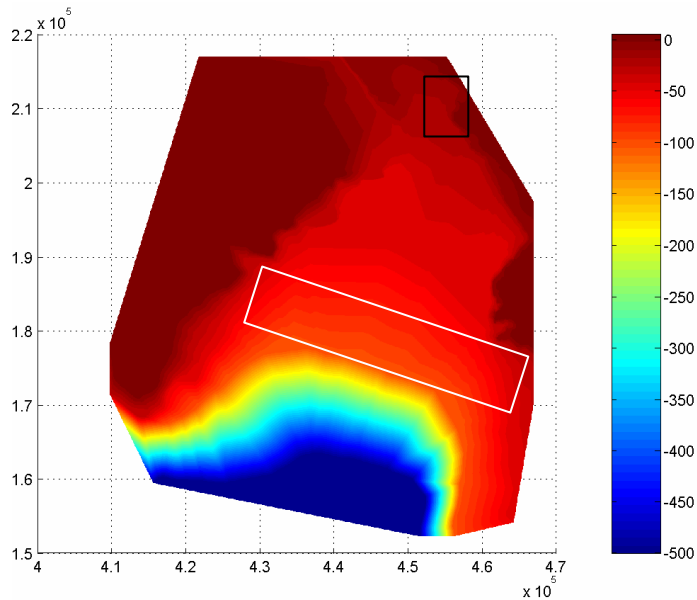
Las olas tipo swell que son de interés para Caldera fueron generadas en los 40 grados de latitud, zona donde ocurren temporales y tormentas en forma regular y por el paso de huracanes entre los trópicos. Una vez generado el oleaje en algún lugar del océano, avanza y se transforma en aguas profundas, principalmente reduciendo la altura y aumentando el período.

Al cercarse a la costa, este oleaje cambia de dirección y de altura. Esto sucede cuando el oleaje comienza a “sentir” el fondo marino el cual causa efectos de refracción y poca profundidad (shoaling).

La siguiente figura muestra el golfo de Nicoya.



La siguiente figura muestra a grandes rasgos la variación de profundidades en la zona del Golfo de Nicoya, expresado en metros.



**Figura 1-1 Batimetría de Golfo de Nicoya**

Para las obras en Caldera es necesario conocer el oleaje a profundidades entre MLWS-6m para el espigón retenedor y MLWS -13 m para el rompeolas.

Para la transformación del oleaje de aguas profundas a la zona e interés se ha utilizado el plano batimétrico del Anexo C.

A continuación se analizarán las fuentes y la información disponible.

## 2 FUENTES DE INFORMACIÓN DISPONIBLES

En general hay tres tipos de fuentes de oleaje, que se relacionan a continuación en secuencia histórica de aparición:

- Estadísticas del British Metereological Office (BMT). Esta es la fuente más antigua que se basa en observaciones visuales sistemáticas, desde hace más de 50 años, por buques mercantes que navegan por los océanos. La mayor parte de las estructuras marítimas en el mundo han sido diseñadas con base en esta información.
- Registros físicos directos del oleaje por medio de oleómetros superficiales o sumergidos. Estos sistemas han entrado en operación aproximadamente desde la década de los años 1960-70. En un inicio solo registraban altura y período y no dirección, y registraban en papel que debía ser retirado y cambiado regularmente. Hoy en día el Wavec de Datawell permite el registro de altura, periodo y dirección en tierra por medio de transmisión inalámbrica de datos.
- Simulación del oleaje por medio de modelos, con base en información de vientos en las zonas de generación. El modelo genera olas con base en vientos y estas olas se desplazan por el océano transformando sus características. Algunos modelos utilizan algún punto de información física en el océano para calibrar el modelo. Para el Océano Pacífico existen modelos como el Wavewatch III de la NOAA (Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos de Norteamérica) y otros. Estos modelos todavía están en estado de desarrollo experimental, calibración y verificación. Por el momento constituyen la fuente menos confiable de información para el diseño de obras marítimas.

Para el caso de Caldera se cuenta específicamente con tres fuentes de información que serán utilizadas.

- Registros de oleaje por medio de un oleómetro Wavec moderno, de última generación, en Puerto Quetzal, ubicado en la costa pacífica de Guatemala a MLWS-30m, de julio del 2002 hasta julio del 2004. Los registros son continuos de altura, periodo y dirección.
- Los registros físicos de altura y período de la Misión Japonesa efectuado por CCI/OCDI a profundidades variando entre MLWS-15m y MLWS -13,5m [Ref 1], con un oleómetro ultrasónico, al sudoeste del rompeolas de Puerto Caldera. En un período total de 7.3 años, entre 1978 y 1985, se obtuvieron un total equivalente a un periodo de 3.3 años de datos de oleaje.
- La información del BMT con más de 50 años de observaciones visuales.

Si bien la altura de ola no es el único parámetro de diseño relevante para el diseño de estructuras como los rompeolas, ha sido tradicionalmente el parámetro de mayor importancia, en gran parte porque las formulas antiguas como la formula de Hudson solo

incorporaban este parámetro del oleaje y a la tercera potencia, dando un impacto sobre el diseño y las dimensiones de la estructura, que hoy en día se considera excesivo.

El oleaje es un fenómeno de ocurrencia probabilístico y por consiguiente siempre existirá la probabilidad de que se presente una altura de ola mayor a cualquier ola que se seleccione para el diseño. Para la utilización del oleaje como parámetro de diseño de estructuras marítimas se utiliza una gráfica de probabilidad de excedencia. De esta gráfica, se selecciona la característica de la ola de diseño, dependiendo del riesgo que se desee aceptar. Cuanto menos riesgo se desee aceptar más altos serán los valores de los parámetros y más costosa será la estructura y a la inversa. Por este motivo es importante establecer los posibles daños, en dinero y en vidas, que puedan ocurrir en el caso de fallar la estructura. Asimismo influye el nivel de desarrollo del país y por lo general países desarrollados que cuentan con más medios optan por aceptar riesgos menores y países menos desarrollados optan por aceptar riesgos mayores para reducir la inversión inicial ya que los recursos se requieren también para otras obras o para el desarrollo socio económico de la población.



### 3 FUENTES UTILIZADAS

#### 3.1 Registros en Puerto Quetzal (Guatemala)

Se cuenta con mediciones del oleaje en Puerto Quetzal. Para poder comparar estas mediciones con las que se realizaron en Puerto Caldera se debe aplicar una serie de transformaciones.

Primero se transforma la distribución del oleaje medido a una profundidad de MLWS -30m en Puerto Quetzal a una distribución en aguas profundas, considerando que la distribución de oleaje en aguas profundas frente a la costa de Guatemala es similar a la de la costa del océano Pacífico de Costa Rica. Luego se transforma la distribución del oleaje en aguas profundas a una distribución a una profundidad de MLWS -15m en Puerto Caldera con el fin de poder comparar la distribución con los registros de CCI/OCDI.

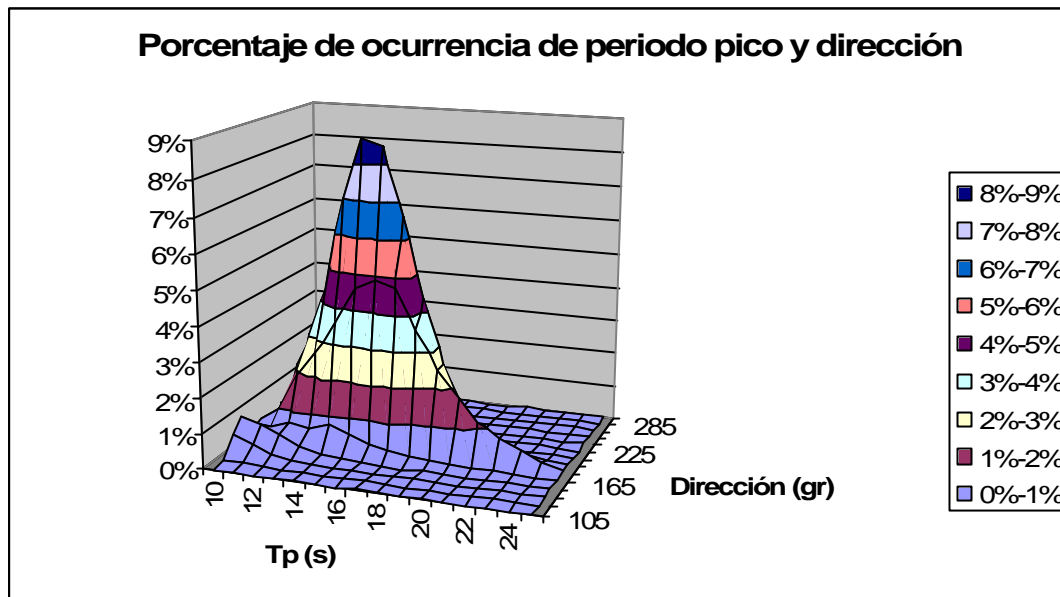
Las transformaciones se han realizado utilizando el modelo hidráulico SWAN, desarrollado por La Universidad Tecnológica de Delft, que transforma matrices de altura, periodo y dirección de oleaje considerando los principales fenómenos tales como refracción, shoaling y fricción de fondo.

##### 3.1.1 Oleaje en Puerto Quetzal

A continuación se presentan tres graficas en 3D representando el porcentaje de ocurrencia de  $H_s$ ,  $T_p$  y la dirección de las olas en Puerto Quetzal, tal como se han medido a MLWS -30m de profundidad.

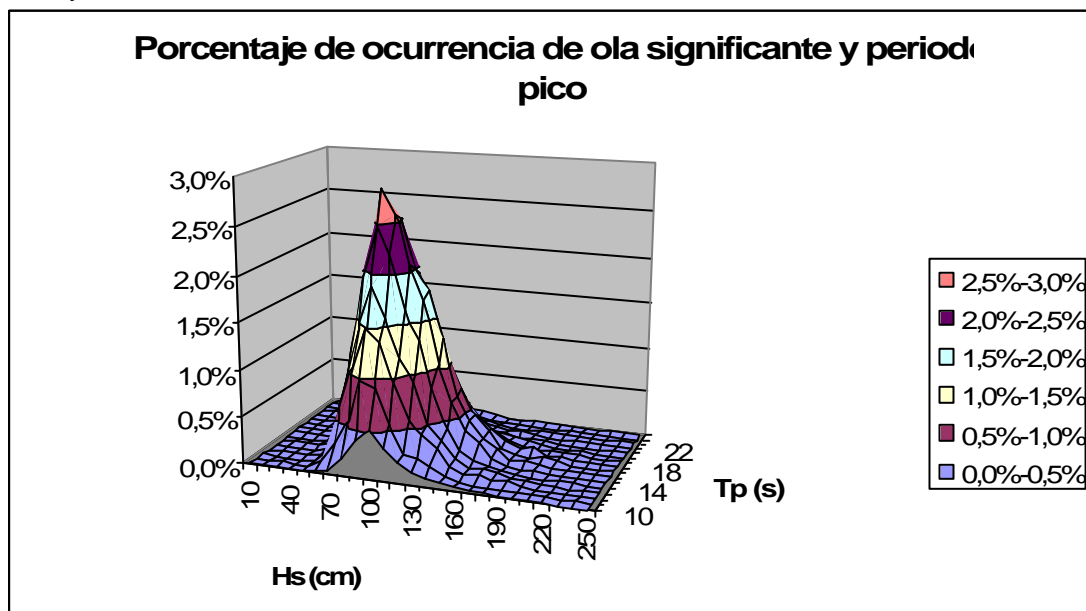
Se observa que para fines prácticos (mas del 83% del tiempo) se puede considerar que todo el oleaje en el sitio de las mediciones proviene de las direcciones entre los  $165^\circ$  y  $180^\circ$ .

Además se observa que el período pico mas frecuente es de 16 segundos y el segundo mas frecuente es de 17 segundos. Los periodos de 15 y 18 segundos ocurren con igual frecuencia. Los periodos más altos están cercanos a los 30 segundos.



**Figura 3-1 Probabilidad de ocurrencia de Periodo Pico y Dirección en Puerto Quetzal**

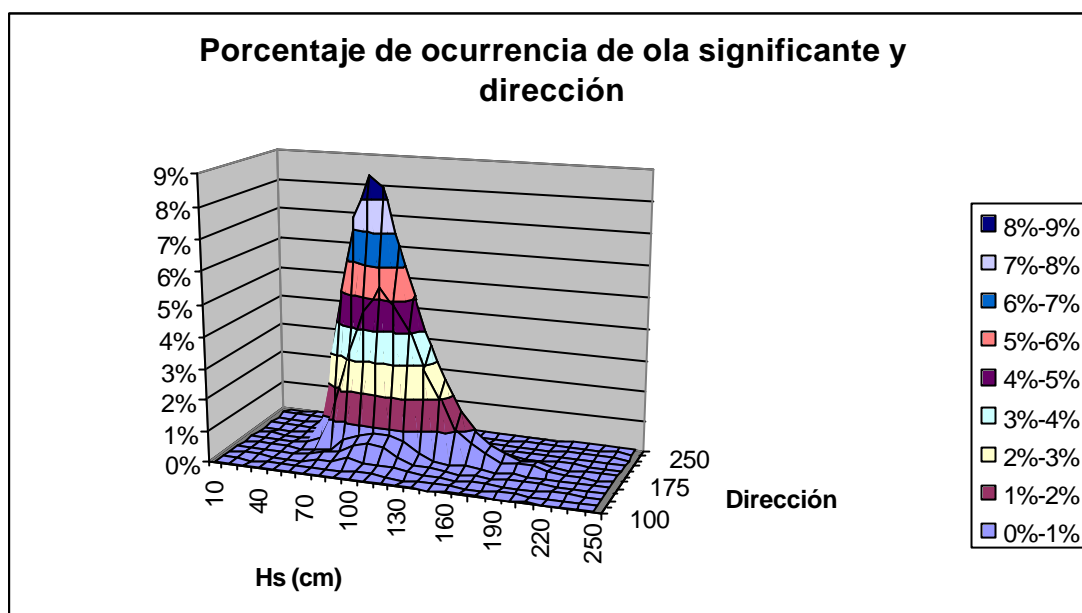
Es usual que no exista una correlación directa y clara entre la altura de ola  $H_s$  y el periodo de la ola  $T_p$ . También en este caso se puede observar en la siguiente figura, que no hay correlación en los datos de Puerto Quetzal.



**Figura 3-2 Probabilidad de ocurrencia de Periodo Pico y Ola Significante en Puerto Quetzal**

La siguiente tabla muestra las mediciones de  $H_s$  y  $T_p$ .

Ola Significante (m)		Period Pico (s)															
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0
10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	50	0	0	1	4	9	12	8	0	3	0	3	1	0	0	0	0
50	60	3	22	40	57	75	95	91	73	47	28	14	5	5	6	1	2
60	70	17	90	203	264	370	381	369	304	230	131	65	42	25	8	14	3
70	80	60	174	345	456	624	644	598	506	321	201	137	74	38	20	12	11
80	90	127	313	474	607	792	910	721	541	372	233	125	70	42	25	12	23
90	100	171	291	435	498	701	825	804	611	380	246	157	66	48	27	16	16
100	110	114	177	306	372	519	661	640	616	378	242	148	96	54	33	10	22
110	120	70	79	178	292	420	546	566	475	315	206	113	74	50	33	10	28
120	130	41	78	140	157	260	332	404	316	229	156	70	52	30	19	16	18
130	140	31	55	102	114	136	209	217	221	184	98	63	47	29	19	7	9
140	150	21	26	46	57	65	117	133	144	121	64	32	25	18	13	3	2
150	160	17	8	20	27	36	78	81	86	83	52	31	17	10	2	2	1
160	170	9	7	27	31	20	36	54	34	41	25	29	7	11	0	2	0
170	180	8	4	16	22	8	8	19	19	25	13	13	12	4	4	1	0
180	190	3	3	18	9	4	2	20	12	39	7	6	3	2	0	1	0
190	200	2	3	5	12	0	7	9	23	8	8	3	0	1	0	0	0
200	210	4	5	1	1	2	3	5	10	10	7	2	1	0	0	0	0
210	220	0	4	0	0	0	1	2	0	2	5	0	0	0	0	0	0
220	230	0	3	0	0	2	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
230	240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	250	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
		699	1,342	2,357	2,980	4,043	4,868	4,741	3,991	2,788	1,725	1,011	592	367	209	107	135



**Figura 3-3 Probabilidad de ocurrencia de Ola significativa y Dirección en Puerto Quetzal**

### 3.1.2 Transformación de oleaje en Puerto Quetzal a Aguas Profundas

Los registros continuos del 8 de julio del 2002 hasta el 31 de julio del 2004 (32236 conjuntos de valores) se han dividido en tramos de 3 horas (5373 conjuntos de valores). Se ha aplicado una refracción uniforme suponiendo que todas las olas giran en dirección a la costa con 30°. Para cada periodo de ola se ha determinado el valor de poca profundidad (shoaling). El oleaje en aguas profundas se obtiene dividiendo el oleaje en Puerto Quetzal por  $K_{sh} \cdot K_r$ . Estos valores han sido verificados con un cálculo del modelo Swan. La siguiente tabla muestra los valores de transformación de Puerto Quetzal a Aguas Profundas.

**Tabla 3-1 Factor de Shoaling y refracción**

Tp(s)	Ksh	Kr	Ksh*Kr
7.00	0.974	0.94	0.916
8.00	0.948	0.94	0.891
9.00	0.927	0.94	0.871
10.00	0.915	0.94	0.860
11.00	0.911	0.94	0.856
12.00	0.913	0.94	0.858
13.00	0.920	0.94	0.865
14.00	0.930	0.94	0.874
15.00	0.943	0.94	0.886



Table X.XX Number of occurrences of parameters in the given classes

### Figura 3-4 Dirección y periodo pico del oleaje en Aguas Profundas

Ola Significante (m)		total	Periodo Pico (s)																
			10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
-	10		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	
10	20	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	30	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	40	285	0	0	1	16	18	39	50	39	22	29	18	14	13	10	11	5	
40	50	2,717	6	35	112	184	312	394	416	376	335	205	139	86	55	28	18	16	
50	60	5,772	38	169	360	513	846	852	888	803	500	346	196	99	64	40	25	33	
60	70	7,494	132	376	582	768	998	1271	1073	813	564	360	233	134	85	49	15	41	
70	80	6,557	254	359	536	610	785	953	952	834	500	329	177	110	61	43	23	31	
80	90	4,452	191	174	340	419	601	680	695	529	355	200	99	79	45	30	9	6	
90	100	2,420	147	87	177	232	291	358	351	309	222	120	61	34	22	4	4	1	
100	110	1,342	71	90	127	113	122	172	185	168	143	72	41	18	15	3	2	0	
110	120	572	41	31	45	50	53	94	78	50	53	28	28	15	4	1	1	0	
120	130	295	40	7	30	44	24	26	32	24	47	14	5	1	1	0	0	0	
130	140	179	22	9	26	23	6	4	22	32	20	10	4	1	0	0	0	0	
140	150	87	13	3	21	14	1	7	8	11	2	7	0	0	0	0	0	0	
150	160	26	6	4	3	3	2	3	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	
160	170	20	10	6	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
170	180	9	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
180	190	5	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
190	200	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
200	210	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
210	220	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
220	230	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
230	240	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
240	250	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			32,236	984	1,355	2,360	2,989	4,061	4,854	4,753	3,988	2,763	1,723	1,001	591	365	208	108	133

Figura 3-5 Ola significativa y periodo pico del oleaje en Aguas Profundas

### 3.1.3 Transformación de oleaje de Aguas Profundas a Puerto Caldera

Con el modelo Swan se ha realizado la transformación del oleaje de aguas profundas a -15m y -12m. Para ello se ha partido de una malla de 200m y dentro de este una malla de 50m. El alcance de la transformación incluye todas las combinaciones de las siguientes alturas y pendientes de olas.

Alturas de olas: 0.50; 1.00; 1.50; 2.00; 2.50; 3.00; 3.50; 4.00

Pendientes: 0.001; 0.003; 0.005; 0.007; 0.009; 0.011

El periodo pico se calculó con base en los valores en aguas profundas de  $H_s$  y la pendiente de la ola. Todos los cálculos se han realizados para la dirección de olas en aguas profundas de  $210^\circ N$ . En total se han calculado  $6 \times 8 = 48$  condiciones.

De acuerdo a los parámetros obtenidos con los cálculos con el modelo SWAN se ha realizado la distribución del oleaje a MLWS -15m y -12m..

**Tabla 3-2 Distribución de altura de oleaje a MLWS -15m y -12m**

Hs (m)		MLWS -15 m		MLWS -12 m	
		Cantidad	Probabilidad de excedencia	Cantidad	Probabilidad de excedencia
0	0,1	0	0,00%	0	0,00%
0,1	0,2	0	0,00%	0	0,00%
0,2	0,3	0	0,00%	0	0,00%
0,3	0,4	1	0,02%	2	0,04%
0,4	0,5	74	1,40%	104	1,97%
0,5	0,6	480	10,33%	584	12,84%
0,6	0,7	904	27,15%	1009	31,62%
0,7	0,8	1138	48,33%	1146	52,95%
0,8	0,9	980	66,57%	949	70,61%
0,9	1	716	79,90%	662	82,93%
1	1,1	475	88,74%	428	90,90%
1,1	1,2	287	94,08%	230	95,18%
1,2	1,3	150	96,87%	116	97,34%
1,3	1,4	71	98,19%	65	98,55%
1,4	1,5	42	98,98%	33	99,16%
1,5	1,6	24	99,42%	22	99,57%
1,6	1,7	17	99,74%	10	99,76%
1,7	1,8	7	99,87%	6	99,87%
1,8	1,9	2	99,91%	2	99,91%
1,9	2	3	99,96%	3	99,96%
2	2,1	1	99,98%	1	99,98%



Hs (m)		MLWS -15 m		MLWS -12 m	
		Cantidad	Probabilidad de excedencia	Cantidad	Probabilidad de excedencia
2,1	2,2	1	100,00%	1	100,00%
2,2	2,3	0	100,00%	0	100,00%
2,3	2,4	0	100,00%	0	100,00%
2,4	2,5	0	100,00%	0	100,00%
Total		5373	100,00%	5373	100,00%

### 3.2 Registros de mediciones de oleaje realizado por la misión japonesa

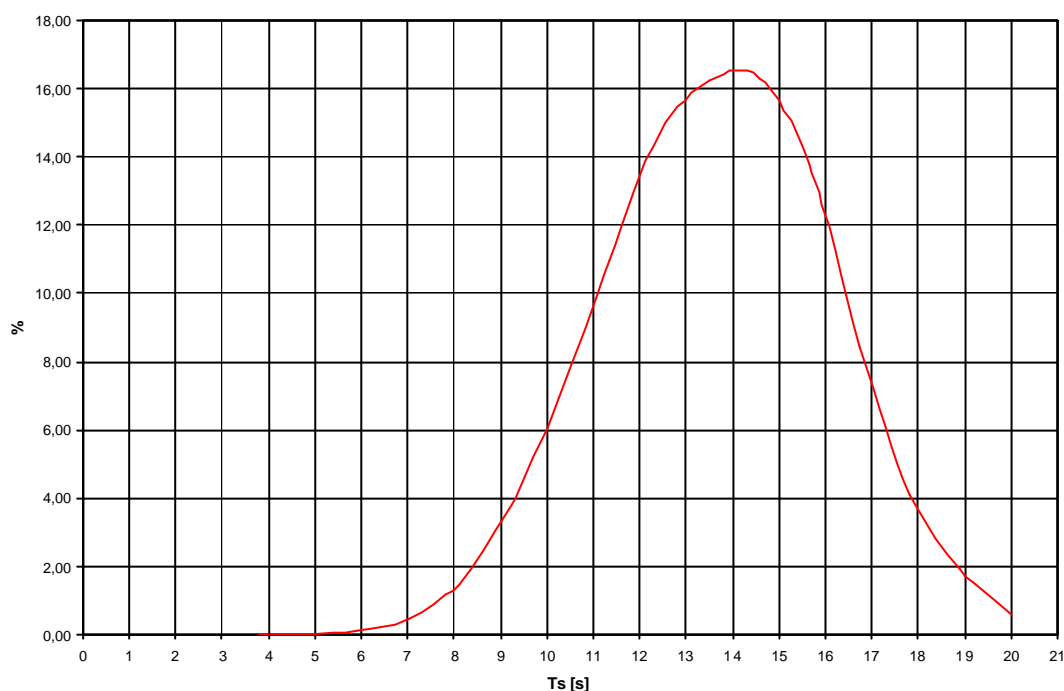
A continuación se presenta la tabla con los resultados de los registros de altura de olas y los periodos medidos por la misión japonesa [Ref.1] a una profundidad de -15m.

Los registros no incluyen direcciones de olas.

**Tabla 3-3 Características de oleaje medido por la misión japonesa**

		Promedio	1,75	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
		T1/3-min [s]	0	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5			
		T1/3-max [s]	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	30	Prob	Probabilidad de Excedencia	
Hs [m]																				[%]	[%]	
min	max																					
0	0,5	0	0	0	8	26	46	66	112	141	104	80	41	15	19	6	3	2	669	5,83	94,17	
0,5	1	2	3	11	38	132	357	689	1020	1340	1390	1211	821	346	98	28	12	8	7506	65,43	28,74	
1	1,5	0	1	1	5	14	15	39	119	191	352	544	634	435	187	74	15	5	2631	22,93	5,81	
1,5	2	1	0	0	0	0	0	3	5	9	15	34	82	145	93	44	18	6	455	3,97	1,84	
2	2,5	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	4	24	49	35	14	5	135	1,18	0,66	
2,5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	27	9	4	51	0,44	0,22	
3	3,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	14	8	0	0	24	0,21	0,01	
3,5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0,01	0,00	
4	4,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	
Total			3	4	12	51	172	419	799	1257	1681	1861	1869	1582	968	470	223	71	30	11472		
Probabilidad [%]			0,03	0,03	0,10	0,44	1,50	3,65	6,96	10,96	14,65	16,22	16,29	13,79	8,44	4,10	1,94	0,62	0,26	100		
			0,01	0,00	0,20	4,98	2,72	0,53	1,04	1,88	7,56	20,96	24,40	15,71	12,48	5,74	0,76	0,90	0,13			

A continuación se presenta la gráfica de distribución de frecuencia de ocurrencia de los periodos  $T_s$ . Se observa que el período de mayor ocurrencia está entre 13 y 15 segundos, con el pico justo por encima de los 14 segundos. Considerando que la relación teórica de  $T_s$  con  $T_p$  es entre 0,9 y 0,95 [Ref. 3], esto corresponde a un  $T_p$  de 15 segundos



**Figura 3-6 Distribución de  $T_s$  de acuerdo a mediciones de la misión japonesa**

### 3.3 Datos del BMT

La información del BMT distingue entre el periodo del año y la dirección. A continuación se presenta la tabla de resumen de los valores totales de altura de olas y los periodos promedios. Esta información se basa en muchas decenas de años de observaciones.

**Tabla 3-4 Características del oleaje en aguas profundas según registro de BMT**

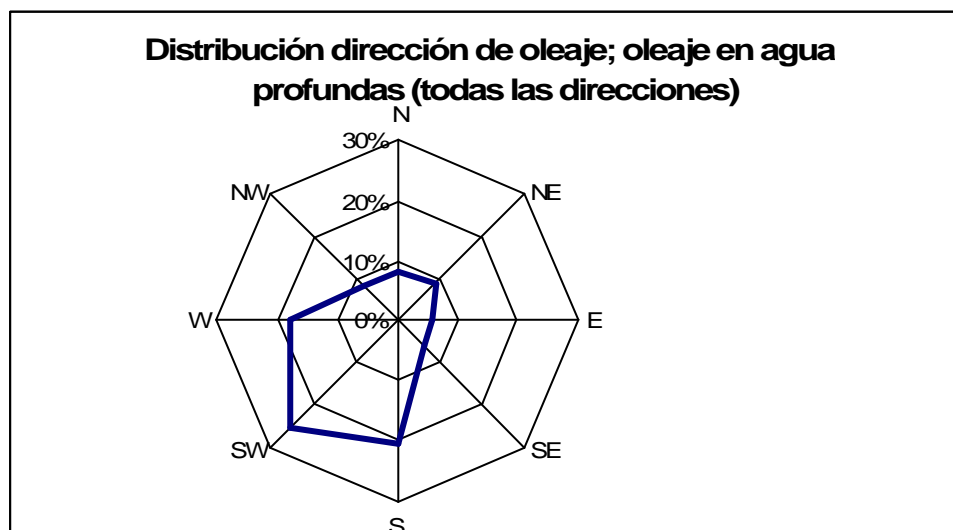
Hs (m)	26	154	300	277	155	62	20	5	1		Obs 1000
> 6											
5 to 6											1
4 to 5			1	1	2	1	1				6
3 to 4		1	6	12	11	7	3	1			41
2 to 3		10	42	63	48	23	8	2	1		196
1 to 2	6	64	159	153	79	28	7	2			498
0 to 1	20	79	92	48	15	3	1				257
Tz	<4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	11~12	12~13	>13

**Tabla 3-5 Características del oleaje a MLWS -15m basado en registro de BMT**

Hs (m)											Obs 1000
> 6											
5 to 6											
4 to 5											
3 to 4	-	-	1	2	3	1	1		-		8
2 to 3	-	9	38	59	47	24	9	2			188
1 to 2	3	36	93	95	53	20	6	2	1		307
0 to 1	23	110	168	121	53	16	4	1	-		497
<b>Tz</b>	<b>&lt;4</b>	<b>4~5</b>	<b>5~6</b>	<b>6~7</b>	<b>7~8</b>	<b>8~9</b>	<b>9~10</b>	<b>10~11</b>	<b>11~12</b>	<b>12~13</b>	<b>&gt;13</b>

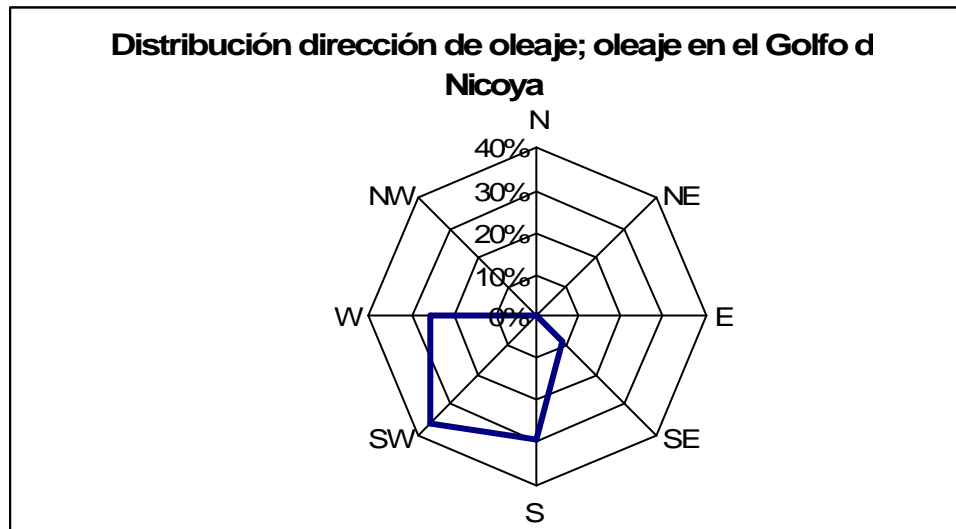
El periodo Tz promedio de mayor frecuencia esta entre 5-7 segundos. Sin embargo esto incluye los periodos de las olas locales (sea) que deben ser eliminados. En vista de que no hay correlación entre altura y período de ola, esta esquematización no es posible y por lo tanto la distribución de períodos de esta fuente no se toma en cuenta para futuros análisis.

El BMT contiene datos de direcciones de olas en aguas profundas, que se muestran en la siguiente gráfica.



**Figura 3-7 Distribución de dirección de oleaje en aguas profundas**

Las mediciones son realizadas en aguas profundas donde se incluyen las olas generadas por vientos locales (sea) que no son relevantes para el oleaje que ocurre en Caldera. Eliminando las direcciones que no pueden llegar a Caldera, se obtiene el gráfico que se presenta a continuación. Se observa la dirección SW predominante.



**Figura 3-8 Distribución de dirección de oleaje en Golfo de Nicoya**

## **4 EVALUACIÓN**

### **4.1 Introducción**

Dependiendo del objetivo la evaluación del oleaje puede variar. Por ejemplo, para los cálculos de transporte de sedimentos a lo largo de la costa, por oleaje, es importante contar con valores promedios o dominantes del oleaje. Este tema se ha tratado en el capítulo sobre el comportamiento morfológico de la costa en Caldera.

Para el diseño de estructuras marítimas, tal como rompeolas y espigones, son importantes los valores extremos del periodo y la altura de ola.

La dirección del oleaje es bastante uniforme, las diferencias en aguas profundas disminuyen a MLWS -15m de profundidad por efecto de la refracción de las olas al acercarse a la costa; para el periodo se puede seleccionar un valor en forma razonada. La evaluación que se presenta a continuación está primordialmente enfocada a determinar la distribución de altura de ola a ser utilizada para el diseño de rompeolas y espigones.

### **4.2 Criterios de Diseño**

Para el diseño de rompeolas en Puerto Caldera se deben seleccionar los valores de tres parámetros del oleaje a MLWS -12 m de profundidad, a saber:

- El período de la ola de diseño
- La dirección de las olas
- La altura de la ola de diseño.

#### 4.2.1 Período de la ola de diseño

Solo las mediciones de Puerto Quetzal y los valores del BMT dan información de la dirección del oleaje. Los registros de CCI/OCDI no contiene este tipo de información. CCI/OCDI resulta en un Ts de 14,5 seg. Mientras que los registros de Quetzal arrojan un valor de Tp de 16 segundos. Esto es muy parecido.

Para fines de diseño se recomienda tomar un valor de 18 segundos.

#### 4.2.2 Dirección del oleaje

Solo las mediciones de Puerto Quetzal y el BMT dan valores de dirección. CCI/OCDI no da estos valores. Según Quetzal la dirección predominante en Caldera está entre 210° -225°. Un promedio aproximado es del orden de 220°. Según el BMT la dirección predominante es de 225°.

Para fines de diseño se recomienda utilizar 220°.

#### 4.2.3 Altura de ola

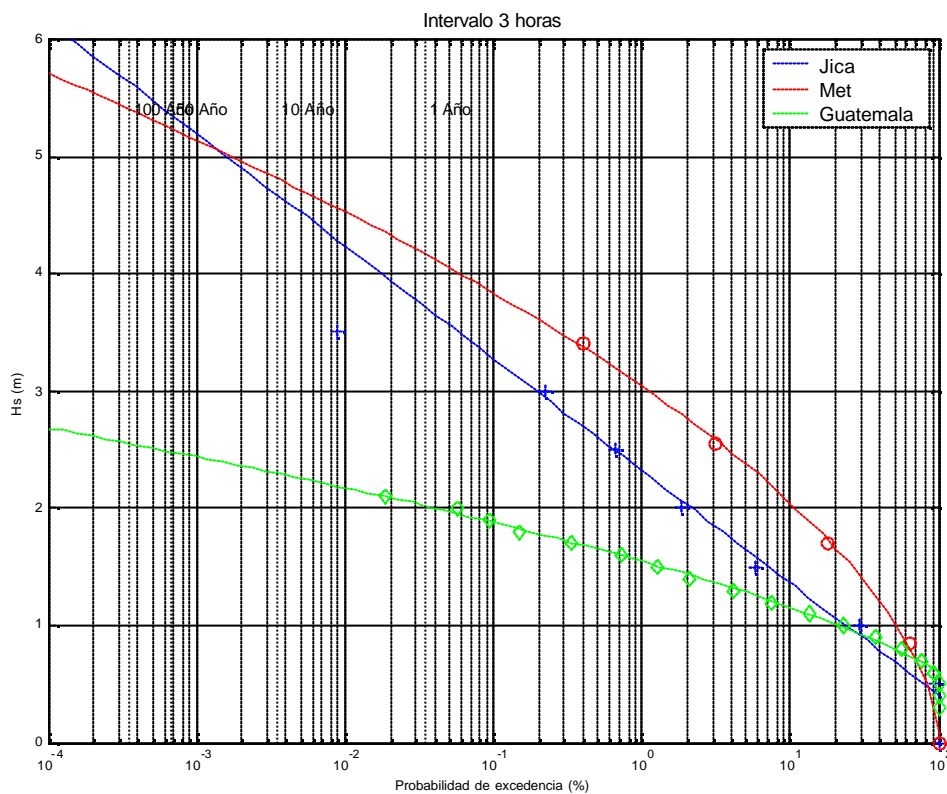
Se cuenta con información de altura de olas de los tres registros, Puerto Quetzal, CCI/OCDI y BMT.

La altura de ola de diseño depende de dos criterios, a saber:

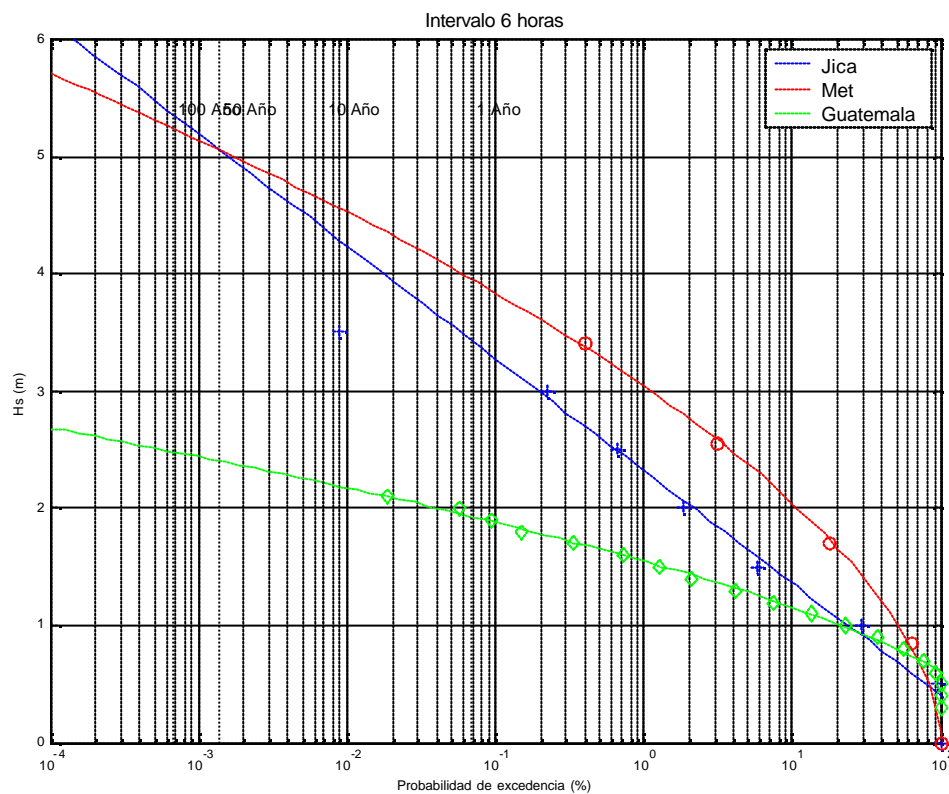
- El período de retorno que se acepte
- La distribución de alturas de ola que se escoja

El período de retorno a su vez depende de la representatividad que se le asigne a un valor de altura de ola. Un Hs representa la altura de ola de una tormenta durante un número de horas. A continuación se ha calculado el periodo de retorno para periodos de representatividad de 3, 6, 9 y 12 horas para una ola.

En las siguientes graficas se muestra el periodo de retorno de 1 en 10, 25 50 y 100 años, que resulta para las tres distribuciones de altura de ola con las que se cuenta.

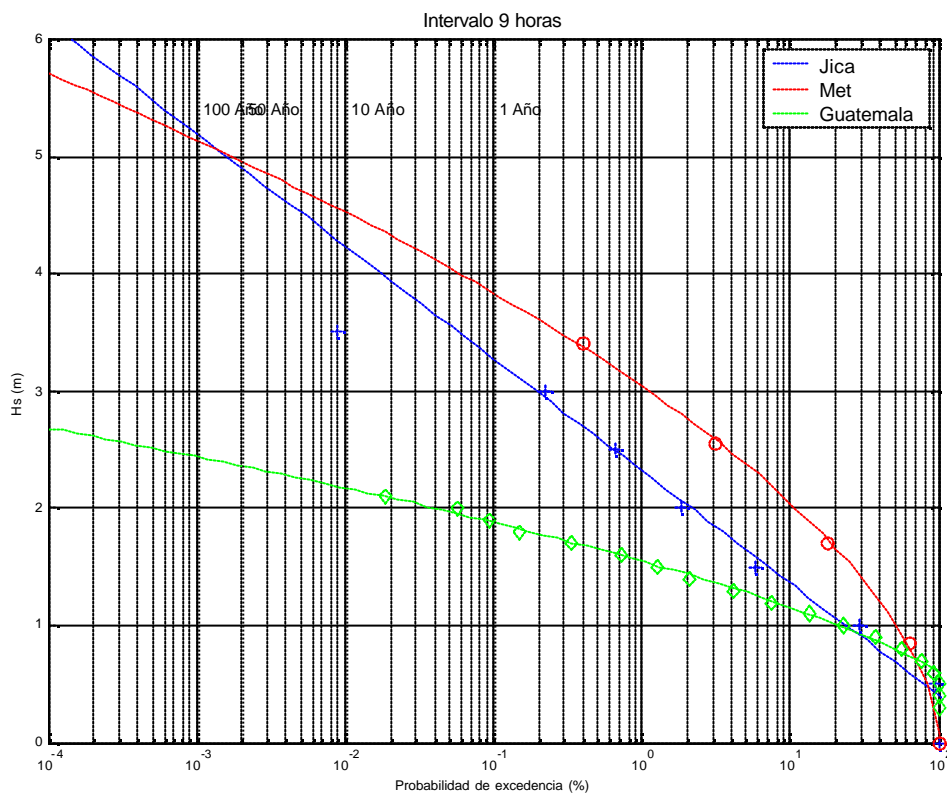


**Figura 4-1 Probabilidad de excedencia de oleaje considerando un periodo representativo de 3 horas**

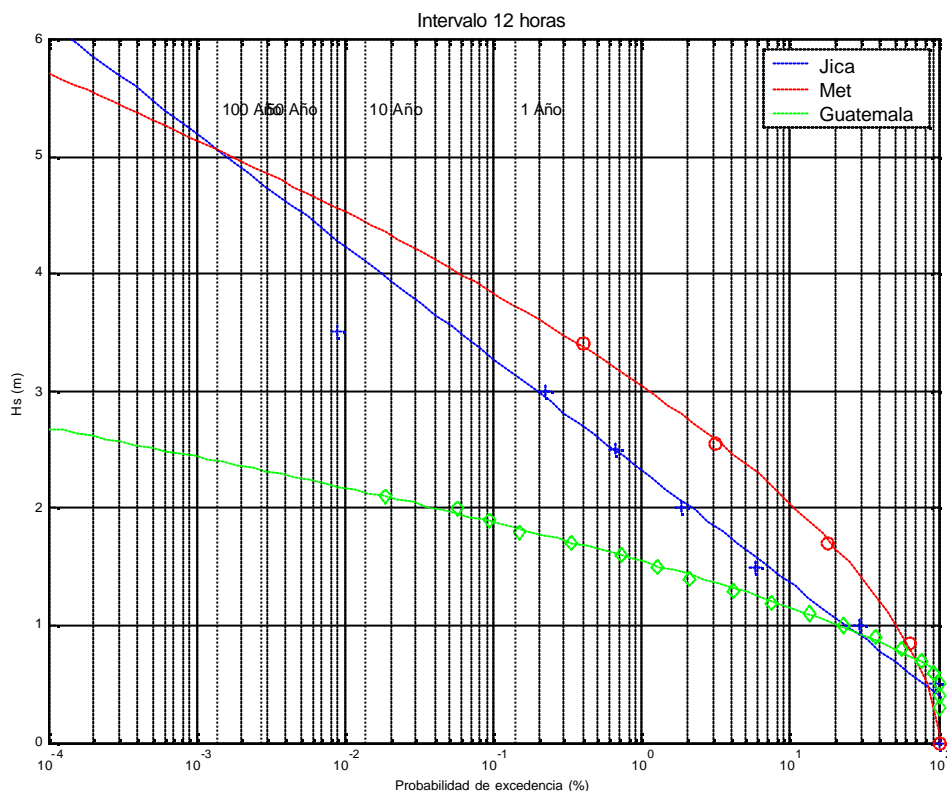


**Figura 4-2 Probabilidad de excedencia de oleaje considerando un periodo representativo de 6 horas**





**Figura 4-3 Probabilidad de excedencia de oleaje considerando un periodo representativo de 9 horas**



**Figura 4-4 Probabilidad de excedencia de oleaje considerando un periodo representativo de 12 horas**

Se observa que la distribución de oleaje de Puerto Quetzal es mucho mas baja que la de CCI/OCDI y la de BMT. Se considera que la de Puerto Quetzal no es representativa para Puerto Caldera por cubrir un periodo de registro muy corto. Asimismo puede haber imprecisiones substanciales en el proceso de transformación teórico del oleaje de Puerto Quetzal a Puerto Caldera.

Las gráficas se basan en una distribución de Weibull y se observa que la distribución de CCI/OCDI y la de Puerto Quetzal cumplen este tipo de distribución, pero la distribución resultante del BMT no cumple porque no forma una línea recta. Para la altura de oleaje, a nuestro juicio lo más confiable es utilizar la información de CCI/OCDI .

Se observa que para periodos de retorno de 1 en 50 y de 1 en 100 años los valores pronosticados por CCI/OCDI y BMT son del mismo orden.

Para tormentas de 3, 6, 9 y 12 horas se observa que el periodo de retorno de 1 en 50 años, la ola  $H_s$  para CCI/OCDI varía entre 4,80 m (12 horas) y 5,30 m (3 horas) y para la información de BMT varía entre 4,85 m (12 horas) y 5,20 m (3 horas).

La siguiente tabla muestra los diferentes valores de la ola.

	3 horas	6 horas	9 horas	12 horas
1 año	4,15	3,95	3,8	3,7
10 años	4,85	4,6	4,5	4,45
50 años	5,3	5,05	4,95	4,9
100 años	5,45	5,3	5,2	5,05

Se recomienda utilizar una ola de diseño  $H_s$  de 5,30 m. Dependiendo de la formula de diseño que se utilice esto significa para la formula de Hudson una altura de ola de diseño de  $H_{10\%} = 1.27 * H_s = 6,15\text{m}$ . Para la formula de van der Meer se aplica el valor  $H_{2\%}$ . En aguas profundas se determina  $H_{2\%}$  de acuerdo a la siguiente relación:

$H_{2\%} = 1,4 * H_s$ . Sin embargo, en aguas menos profundas dicha relación se distorsiona y se determina  $H_{2\%}$  de acuerdo a:

$$H_{2\%} = 1,4 * (1 - 0,03 * (4 + h/H_s)^2).$$

Donde  $h$  es la columna de agua el cual es la suma de la profundidad, marea y el incremento por baja presión durante una tormenta.

En este caso la ola  $H_{2\%} = 6,72\text{ m}$ .

### 4.3 Resumen

Puesto que el objetivo de este anexo es determinar las características del oleaje para el diseño del rompeolas o espigón, se han establecido la altura de la ola de diseño y el periodo.

Se han evaluado y analizado tres fuentes de datos, a saber uno de un registro continuo de oleaje en Puerto Quetzal (costa pacífica de Guatemala), observaciones visuales durante varias décadas de la BMT y mediciones durante y periodo de 3,3 años por una misión japonesa.

La distribución de las olas muestra que las de la BMT y CCI/OCDI coinciden bien mientras que la de Puerto Quetzal es inferior. La ola  $H_s$  a una profundidad de MLWS - 15 con un periodo de retorno de 50 años es de 5,3 metros.

Se recomienda aplicar un periodo de diseño de ola de 18 segundos.

=0=0=0=