

PROPUESTA DE DISEÑO ESTRUCTURA DE PROTECCIÓN PARA CALETA DE PESCADORES ARTESANALES DE ARICA

PABLO I. VERA GALLEGOS

Proyecto para optar al título de Ingeniero Civil Oceánico
Noviembre 2019



RESUMEN

El presente proyecto tiene por objetivo proponer el diseño de una estructura de protección costera para la futura caleta de pescadores artesanales de Arica, localidad de Quiane.

- Recopilar antecedentes y estudiar variables de condiciones naturales del sector.
- Evaluar condiciones de climas de oleaje operacional y extremo en la zona de estudio.
- Determinar niveles de diseño y criterios asociados a la operatividad y funcionamiento de la obra.
- Selección de estructura óptima.

Para poder llevar a cabo lo antes mencionado, fue necesario obtener información de diversas fuentes, dentro de las más destacadas DOP y GSI, los cuales aportaron con los estudios básicos. Además es importante mencionar que los análisis y posterior elección de la estructura óptima fue en base a la utilización de datos de oleaje de libre acceso (NOAA), información que fue calibrada mediante la utilización de modelos matemáticos para la transferencia de oleaje. Esta investigación permitió conocer condiciones de climas de oleaje para determinar las configuraciones de las obras de abrigo para ponerlas a prueba frente a cargas de hidráulicas, variables astronómicas y meteorológicas para así obtener el layout óptimo. En cuanto a los elementos prefabricados propuestos, el autor propone la incorporación de cubípodos, los cuales poseen una relación peso/trabazón importante e interesante para incorporar en el corto plazo a las estructuras de protección costera del país.

INTRUDUCCIÓN

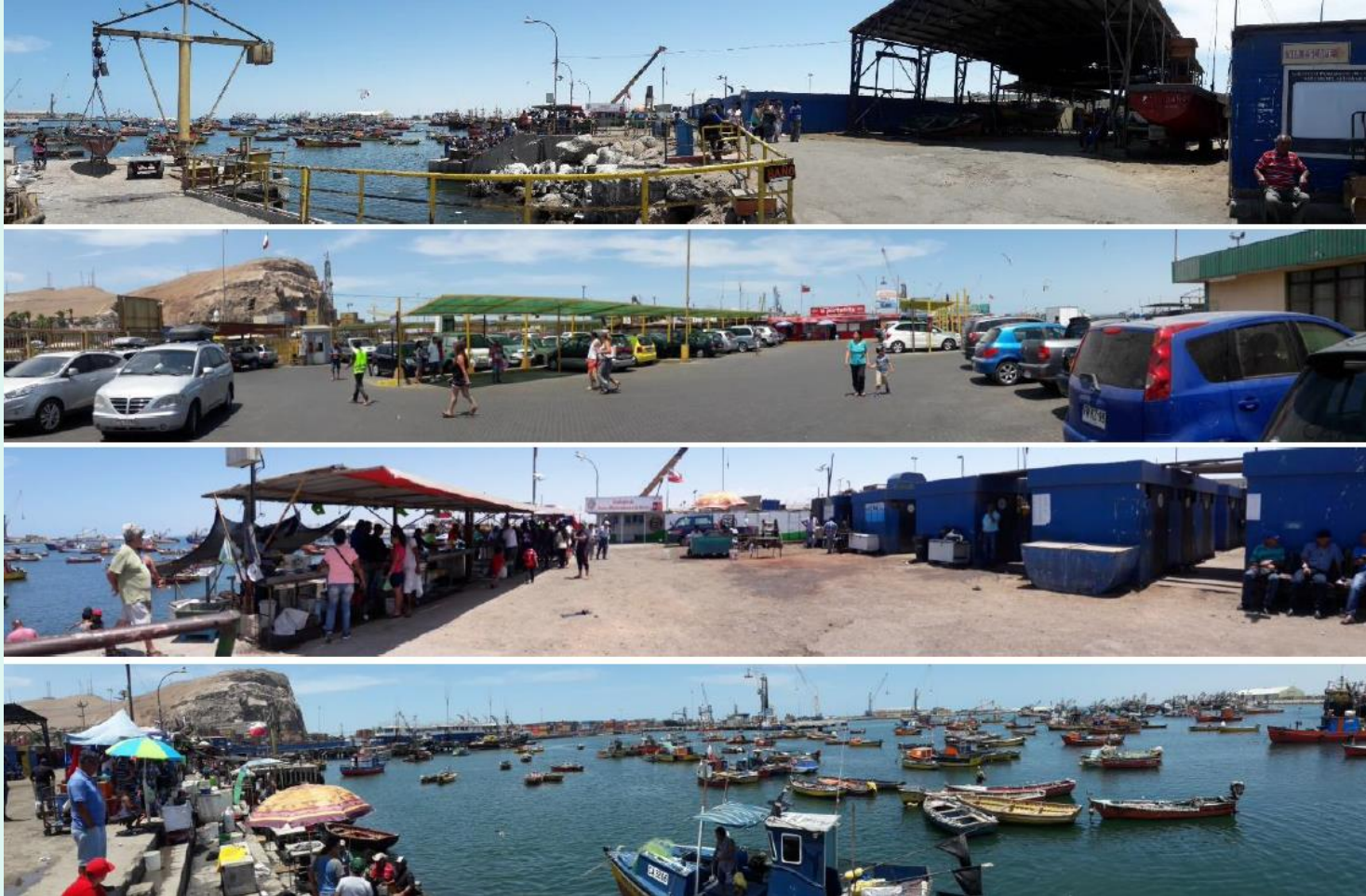


Figura 1: Problemática zona actual.

1.- INTRODUCCIÓN



Figura 2: Reubicación caleta hacia Quiane.



Figura 4: Elementos prefabricados – Cubípodo.

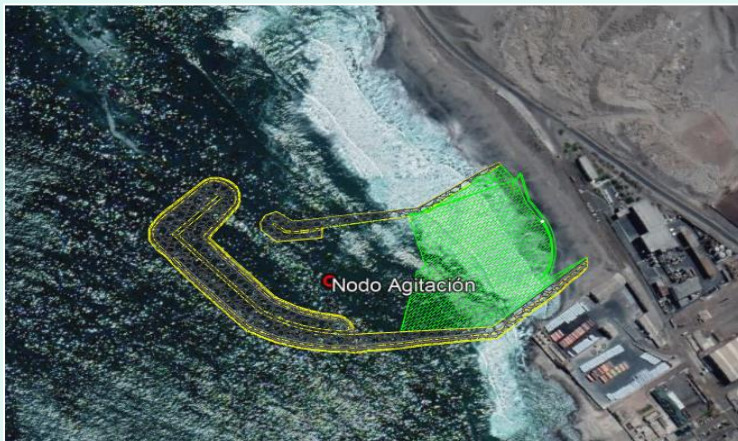


Figura 3: Propuesta de obras de abrigo y futura caleta.

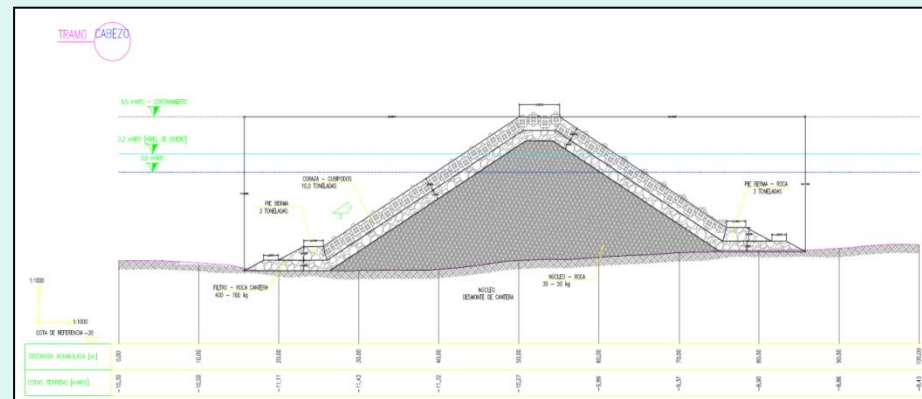


Figura 5: Sección transversal enrocado.

2.- METODOLOGÍA

- ✓ **Bases de diseño:** determinación de periodo de retorno, riesgos, vida útil, etc. Algunos criterios conocidos; ROM, PIANC, etc.
- ✓ **Análisis de datos disponibles:** determinar condiciones de oleaje, niveles del mar, meteorología, batimetría, etc.
- ✓ **Transferencia de oleaje:** se hace necesario determinar o caracterizar la zona de estudio mediante clima de oleaje medio y de largo plazo. Para lo anterior es necesario recurrir a la metodología de transferencia de parámetros de resumen al sitio de interés utilizando modelos matemáticos, técnicas en el estado del arte y propuesta de ajuste de datos transferidos.
- ✓ **Clima de oleaje extremo:** Metodologías Pub. 3201 SHOA, Zhou Liu & Peter Frigaard (2001), Molina, M. (2016), Cárdenas, C., Gómez, J., & Serrano, J. (2014).
- ✓ **Propuesta de Layout:** se proponen layouts y son puestos a prueba mediante modelos matemáticos para verificación de agitación y respuesta frente a cargas por oleaje. La selección óptima debe cumplir con criterios establecidos para el tipo de operación que se realizará en las obras a proyectar.
- ✓ **Clima de oleaje en la zona expuesta a la estructura:** verificación del oleaje por medio de Metodología 1; propagación de la mayoría de los estados de mar desde el sitio de interés hacia el pie del talud del rompeolas principal, la Metodología 2; corresponde a la propagación de la altura de ola de diseño (definida en el sitio de interés) hacia el pie del talud del rompeolas.
- ✓ **Oleaje de diseño:** definición y consideraciones para determinar el oleaje de diseño para cada tramo de estructura, periodo y dirección crítica del oleaje, teniendo en cuenta probabilidades de excedencia y clima medio en base a resultados obtenidos desde el punto anterior.
- ✓ **Diseño del enrocado:** teniendo en cuenta los resultados de los puntos anteriores, se define el diseño del enrocado principal en base a; a) Nivel de diseño b) Diseño hidráulico y c) Diseño de elementos
- ✓ **Presentación de productos finales:** se generan especificaciones técnicas y planos en planta y transversales con la disposición final de los elementos y geometrías del enrocado.

3.- RESULTADOS

✓ Bases de diseño:

a) Vida útil del proyecto, de acuerdo a Criterios establecidos en la ROM 3.1-99 y ROM 1.0-09.

TIPO DE OBRA	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
Infraestructura de carácter general	25 (15)	50 (25)	100 (40)
De carácter industrial específico	15 (10)	25 (15)	50 (25)

NOTA: Las cifras indicadas entre paréntesis podrán utilizarse cuando se mantengan reservas de espacio en planta y alzado que no constituyan limitaciones físicas prácticamente inalterables, entendiéndose por tales las que obliguen a demoler las estructuras que delimiten sus contornos.

Tabla 1: Cálculo vida útil ROM 3.1-99.

TYPE OF SHELTERED OR PROTECTED AREA		ERI ⁷		MINIMUM USEFUL LIFE (L _m) ⁷ (years)
HARBOR AREAS	COMMERCIAL PORT	All vessel types	r ₃ High	50
		Specific vessel types	r ₂ (r ₃) ¹ Medium (high) ¹	25 (50) ¹
	FISHING PORT	r ₂ Medium	25	
	MARINA	r ₂ Medium	25	
	INDUSTRIAL PORT	r ₂ (r ₃) ¹ Medium (High) ¹	25 (50) ¹	
	NAVAL PORT	r ₂ (r ₃) ² Medium (High) ²	25 (50) ²	
	PROTECTION OF FILL MATERIAL OR SHORELINE	r ₂ (r ₃) ³ Medium (High) ³	25 (50) ³	
COASTAL AREAS	DEFENSE AGAINST EXTREME FLOOD EVENTS ⁴	r ₃ High	50	
	PROTECTION OF WATER INTAKE OR DISCHARGE STRUCTURE	r ₂ (r ₃) ⁵ Medium (High) ⁵	25 (50) ⁵	
	SHORELINE PROTECTION AND DEFENSE	r ₁ (r ₃) ⁶ Low (High) ⁵	15 (50) ⁷	
	BEACH DEFENSE AND NOURISHMENT	r ₁ Low	15	

Tabla 2: Cálculo vida útil ROM 1.0-09.

2.- RESULTADOS

✓ Bases de diseño:

b) Riesgo

TABLA 3.2.3.1.2. RIESGOS MÁXIMOS ADMISIBLES PARA LA DETERMINACIÓN, A PARTIR DE DATOS ESTADÍSTICOS, DE VALORES CARACTERÍSTICOS DE CARGAS VARIABLES PARA FASE DE SERVICIO Y CONDICIONES EXTREMAS

a) RIESGO DE INICIACIÓN DE AVERÍAS

REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA.		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
Indice $r = \frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	BAJA	0,50	0,30
	MEDIA	0,30	0,20
	ALTA	0,25	0,15

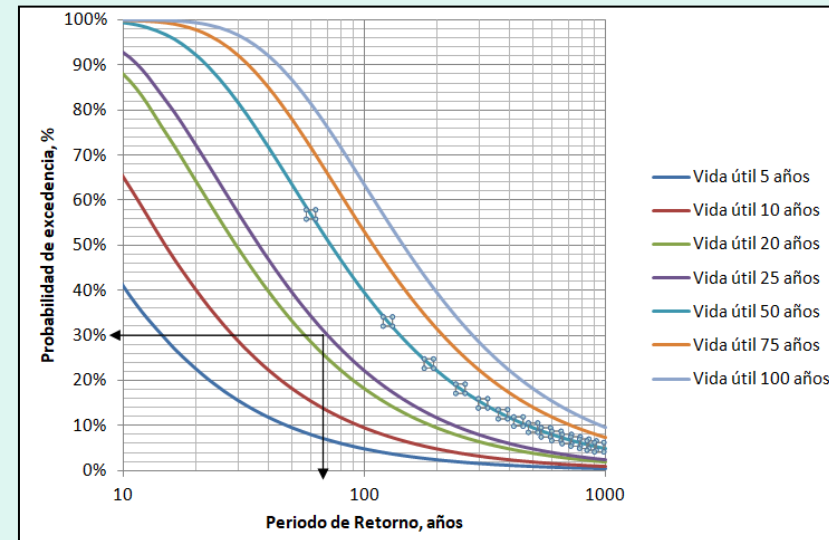
b) RIESGO DE DESTRUCCIÓN TOTAL

REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA.		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
Indice $r = \frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$	BAJA	0,20	0,15
	MEDIA	0,15	0,10
	ALTA	0,10	0,05

Se adoptará como riesgo máximo admisible el de iniciación de averías o el de destrucción total según las características de deformabilidad y de posibilidad o facilidad de reparación de la estructura resistente.
 Para obras rígidas o de rotura frágil sin posibilidad de reparación se adoptará el riesgo de destrucción total.
 Para obras flexibles, semirrígidas o de rotura en general reparable (daños menores que un nivel prefijado función del tipo estructural) se adoptará el riesgo de iniciación de averías.
 En este tipo de obras podrá adoptarse también el riesgo de destrucción total, definiendo para cada tipo estructural el nivel de daños aceptado como de destrucción total. La acción resultante se considerará como accidental.

Tabla 3: Riesgo ROM 3.1-99.

c) Periodo de retorno



3.- RESULTADOS

✓ Análisis de datos disponibles:

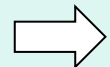
- a) Oleaje medido en terreno
- 36 días de mediciones ADCP
- RDI Workhorse Sentinel 600 khz.
- Profundidad media 18 metros.



Figura 8: Vista aérea ubicación estudio de olas

Altura Significativa [m]	Periodo Peak [s]											Total	A(%)	C(%)
	0- 2	2- 4	4- 6	6- 8	8- 10	10- 12	12- 14	14- 16	16- 18	18- 20	20 +			
0- 0,5												0	0,00	100,00
0,5- 1				1	2	28	29	14	3	2		79	26,96	100,00
1- 1,5				1	2	34	6	54	15	4	2	117	59,39	73,04
1,5- 2						1	10	13	5			29	9,90	13,65
2- 2,5								3	4			7	2,39	3,75
2,5 +									2	2		4	1,37	1,37
Total	0	0	0	2	4	63	101	84	29	8	2	293		
A(%)	0,00	0,00	0,00	0,68	1,37	21,50	34,47	28,67	9,90	2,73	0,68	N° Datos		
C(%)	100,00	100,00	100,00	100,00	99,32	97,95	76,45	41,98	13,31	3,41	0,68			

Tabla 4: Distribución de frecuencias Hs / Tp, medición ADCP.



3.- RESULTADOS

✓ Análisis de datos disponibles:

a) Oleaje medido en terreno

Dirección [°]	Periodo Peak [s]										Total	A(%)	C(%)
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20			
N											0	0,00	100,00
NNE											0	0,00	100,00
NE											0	0,00	100,00
ENE											0	0,00	100,00
E											0	0,00	100,00
ESE											0	0,00	100,00
SE											0	0,00	100,00
SSE											0	0,00	100,00
S											0	0,00	100,00
SSW											0	0,00	100,00
SW			2	4	56	54	55	18	6	2	197	67,24	100,00
WSW					7	47	29	11	2		96	32,76	32,76
W											0	0,00	0,00
WNW											0	0,00	0,00
NW											0	0,00	0,00
NNW											0	0,00	0,00
Total	0	0	0	2	4	63	110	84	29	8	293		
A(%)	0,00	0,00	0,00	0,68	1,37	21,50	34,47	28,67	9,90	2,73	0,68		N° Datos
C(%)	100,00	100,00	100,00	100,00	99,32	97,95	76,45	41,90	13,31	3,41	0,68		

Tabla 5: Distribución de frecuencias Hs/Tp, medición ADCP.

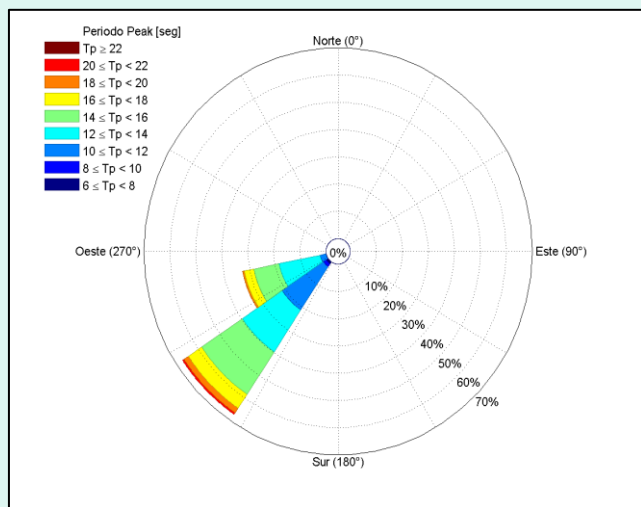


Figura 9: Rosa de oleaje Dir/Tp.

Dirección [°]	Altura Significativa [m]						Total	A(%)	C(%)
	0- 0,5	0,5- 1	1- 1,5	1,5- 2	2- 2,5	2,5+			
N							0	0,00	100,00
NNE							0	0,00	100,00
NE							0	0,00	100,00
ENE							0	0,00	100,00
E							0	0,00	100,00
ESE							0	0,00	100,00
SE							0	0,00	100,00
SSE							0	0,00	100,00
S							0	0,00	100,00
SSW							0	0,00	100,00
SW		48	120	21	4	4	197	67,24	100,00
WSW		31	54	8	3		96	32,76	32,76
W							0	0,00	0,00
WNW							0	0,00	0,00
NW							0	0,00	0,00
NNW							0	0,00	0,00
Total	0	79	174	29	7	4	293		
A(%)	0,00	26,96	59,39	9,90	2,39	1,37	N° Datos		
C(%)	100,00	100,00	73,04	13,65	3,75	1,37			

Tabla 6: Distribución de frecuencias Dp/Hs, medición ADCP.

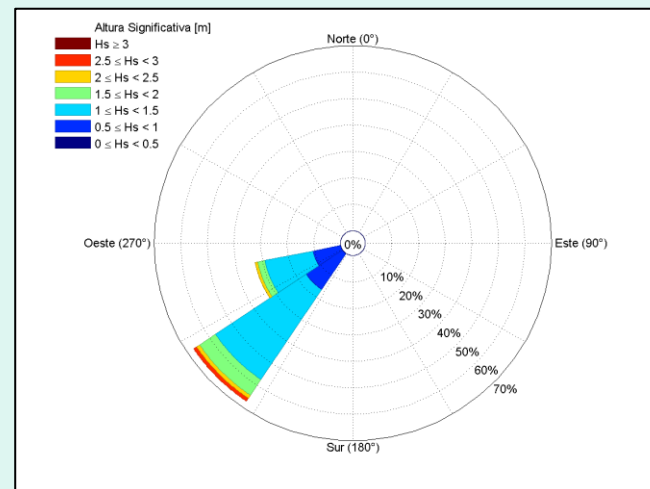


Figura 10: Rosa de oleaje Dir/Hs.

3.- RESULTADOS

Figura 11 : Medición/Pronóstico

✓ Análisis de datos disponibles:

b) Nivel del mar

36 días de mediciones ADCP

RDI Workhorse Sentinel 600 khz.

Profundidad media 18 metros.

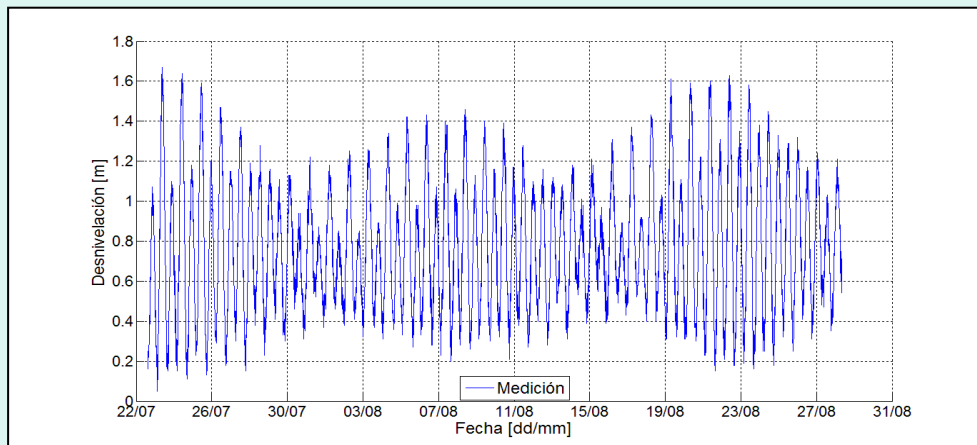
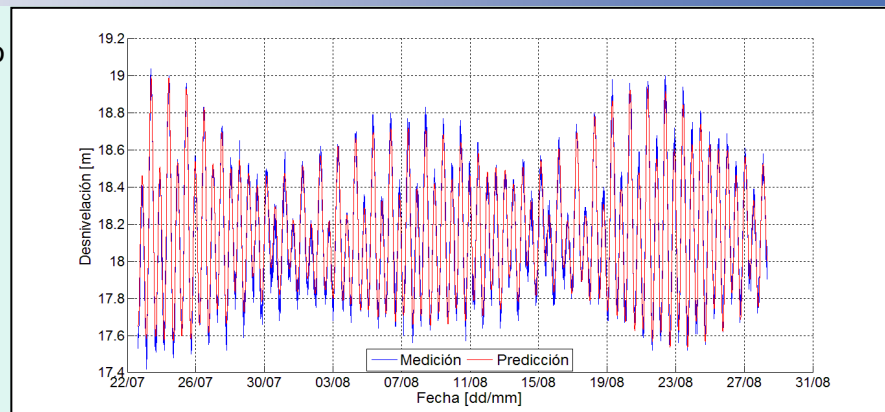


Figura 12: Nivel del mar al NRS filtrado.

Planos de marea c/r NRS	Nivel [mNRS]
Nivel medio del mar	0,77
Altura media de la pleamar	1,23
Altura media de la bajamar	0,31
Altura media de la pleamar más alta	1,35
Altura media de la bajamar más baja	0,28
Altura de la pleamar más alta	1,67
Altura de la bajamar más baja	0,05

Tabla 10: Planos de marea con respecto al NRS calculado.

N° orden	Constituyente	Frecuencia [cph]	Amplitud [m]	Fase [°]
1	*MM	0,0015122	0,0265	21,46
2	MSF	0,0028219	0,0211	14,48
3	ALP1	0,0343966	0,004	328,36
4	2Q1	0,0357064	0,003	117,72
5	*Q1	0,0372185	0,0171	254,87
6	*O1	0,0387307	0,0865	291,28
7	NO1	0,0402686	0,0037	212,31
8	*K1	0,0417807	0,1603	350,58
9	*J1	0,0432929	0,0108	28,86
10	OO1	0,0448308	0,0074	3,57
11	UPS1	0,046343	0,0044	351,78
12	*EPS2	0,0761773	0,0069	169,22
13	*MU2	0,0776895	0,0215	232,85
14	*N2	0,0789992	0,079	223,16
15	*M2	0,0805114	0,3506	267,93
16	*L2	0,0820236	0,0089	297,76
17	*S2	0,0833333	0,1261	298,72
18	ETA2	0,0850736	0,0011	326,31
19	*MO3	0,1192421	0,006	189,3
20	*M3	0,1207671	0,0083	52,38
21	MK3	0,1222921	0,0024	271,23
22	SK3	0,1251141	0,0025	172,34
23	MN4	0,1595106	0,0011	23,41
24	M4	0,1610228	0,0015	113,3
25	SN4	0,1623326	0,0012	236,99
26	MS4	0,1638447	0,0001	296,11
27	S4	0,1666667	0,0003	161,2
28	2MK5	0,2028035	0,0023	289,65
29	2SK5	0,2084474	0,0013	164,84
30	2MN6	0,2400221	0,001	256
31	M6	0,2415342	0,001	201,91
32	2MS6	0,2443561	0,0017	310,59
33	2SM6	0,2471781	0,001	320,33
34	3MK7	0,2833149	0,0008	116,58
35	M8	0,3220456	0,0009	104,26

Tabla 9: Análisis armónico

3.- RESULTADOS

✓ Análisis de datos disponibles:

a) Oleaje aguas profundas

Datos oleaje NOAA 92 km al SW de Arica.

Total de 30 años de valores Hs, Tp, Dp.

File Name	Size	Date
nww3.hs.199910.grb	9.9 MB	1/10/02 20:00:00
nww3.hs.199911.grb	9.3 MB	1/10/02 20:00:00
nww3.hs.199912.grb	10.0 MB	1/10/02 20:00:00
nww3.hs.200001.grb	10.2 MB	1/10/02 20:00:00
nww3.hs.200002.grb	9.6 MB	1/10/02 20:00:00



Figura 13: Vista aérea ubicación datos de olas profundas.

Altura Significativa	Periodo Peak [s]										Total	A(%)	C(%)
	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22+			
0,5-1				7		1					8	0,01	100,00
1-1,5		31	161	999	944	620	264	83	26		3128	3,57	99,99
1,5-2	18	138	1078	6250	8425	5174	2434	606	172	2	24297	27,72	96,42
2-2,5		154	680	4597	13344	8260	3465	794	230	6	31530	35,97	68,71
2,5-3		67	194	1389	6453	7015	2385	480	98	6	18087	20,63	32,74
3-3,5		3	71	229	1776	3807	1330	238	40	2	7496	8,55	12,11
3,5-4			13	35	238	1219	758	117	16		2396	2,73	3,56
4-4,5			1	6	4	237	273	53	4		578	0,66	0,82
4,5-5						21	88	19			128	0,15	0,16
5-5,5							13	2			15	0,02	0,02
5,5+							1				1	0,00	0,00
Total	18	393	2198	13512	31184	26354	11011	2392	586	16	87664		
A(%)	0,02	0,45	2,51	15,41	35,57	30,06	12,56	2,73	0,67	0,02	N° Datos		
C(%)	100,00	99,98	99,53	97,02	81,61	46,04	15,98	3,42	0,69	0,02			

Tabla 11: Distribución de frecuencias Hs / Tp, aguas profundas.

3.- RESULTADOS

✓ Análisis de datos disponibles:

a) Oleaje aguas profundas

Dirección [°]	Altura Significativa [m]											Total	A(%)	C(%)
	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5	2,5-3	3-3,5	3,5-4	4-4,5	4,5-5	5-5,5	5,5+			
N												0	0,00	100,00
NNE												0	0,00	100,00
NE												0	0,00	100,00
ENE												0	0,00	100,00
E												0	0,00	100,00
ESE												0	0,00	100,00
SE												0	0,00	100,00
SSE												0	0,00	100,00
S			3	1								4	0,00	100,00
SSW		573	6426	10470	7161	3394	1116	228	55	10		29433	33,57	100,00
SW	7	1344	13311	17273	10071	4011	1200	330	73	3		47912	54,65	66,42
WSW		384	1524	1381	455	60	13					3823	4,36	11,77
W		142	551	499	89	9						1290	1,47	7,41
WNW	1	453	2288	1802	305	22	7					4878	5,56	5,93
NW		32	194	98								324	0,37	0,37
NNW												0	0,00	0,00
Total	8	3128	24297	31530	18087	7496	2396	578	128	15	1	87664		
A(%)	0,01	3,57	27,72	35,97	20,63	8,55	2,73	0,66	0,15	0,02	0,00			N° Datos
C(%)	100,00	99,99	96,42	68,71	32,74	12,11	3,56	0,82	0,16	0,02	0,00			

Tabla 12: Distribución de frecuencias Dp/Hs, aguas profundas.

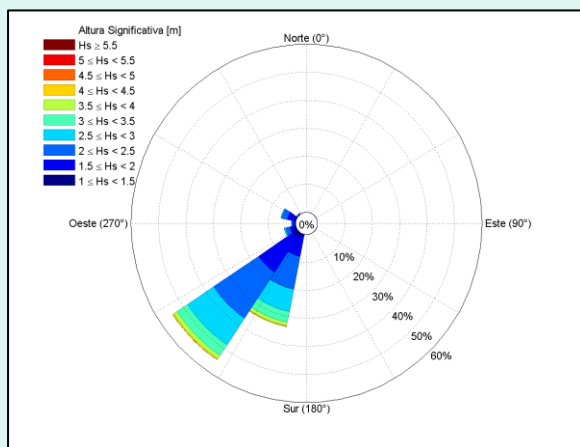


Figura 14: Rosa de oleaje Dir/Tp, aguas profundas.

Dirección [°]	Periodo Peak [s]										Total	A(%)	C(%)
	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22+			
N											0	0,00	100,00
NNE											0	0,00	100,00
NE											0	0,00	100,00
ENE											0	0,00	100,00
E											0	0,00	100,00
ESE											0	0,00	100,00
SE											0	0,00	100,00
SSE											0	0,00	100,00
S	2	2									4	0,00	100,00
SSW	16	389	1991	6593	10012	7485	2418	418	60	1	29433	33,57	100,00
SW		2	200	6655	18716	14627	5234	1472	266	10	47912	54,65	66,42
WSW			4	264	1189	1737	577	52			3823	4,36	11,77
W					115	819	320	31	5		1290	1,47	7,41
WNW					72	1636	2290	648	227	5	4878	5,56	5,93
NW						50	175	71	28		324	0,37	0,37
NNW											0	0,00	0,00
Total	18	393	2198	13512	31184	26354	11011	2392	586	16	87664		
A(%)	0,02	0,45	2,51	15,41	35,57	30,06	12,56	2,73	0,67	0,02			N° Datos
C(%)	100,00	99,98	99,53	97,02	81,61	46,04	15,98	3,42	0,69	0,02			

Tabla 13: Distribución de frecuencias Dp/Tp, aguas profundas.

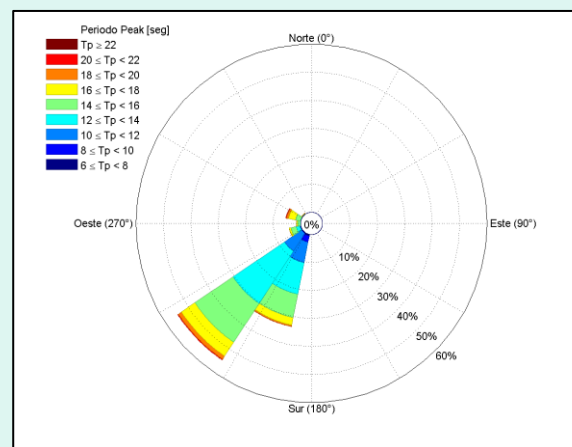


Figura 15: Rosa de oleaje Dir/Hs, aguas profundas.

3.- RESULTADOS

✓ Transferencia de oleaje:



Figura 16: Esquema Transferencia oleaje desde nodo NOAA hasta sector de interés.

3.- RESULTADOS

✓ Transferencia de oleaje: Preproceso

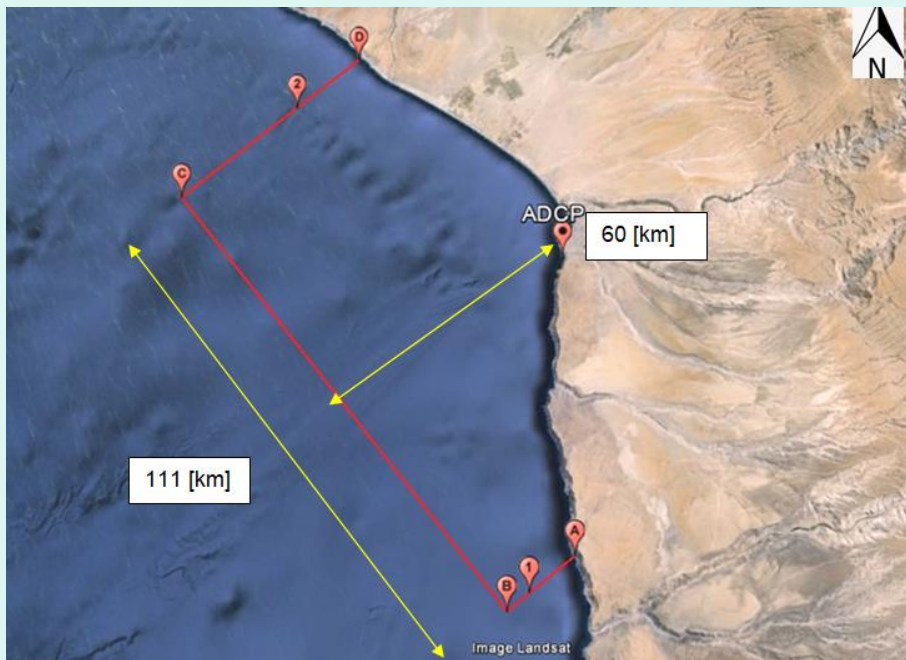


Figura 17: Dominio y condiciones de borde Modelo de transferencia

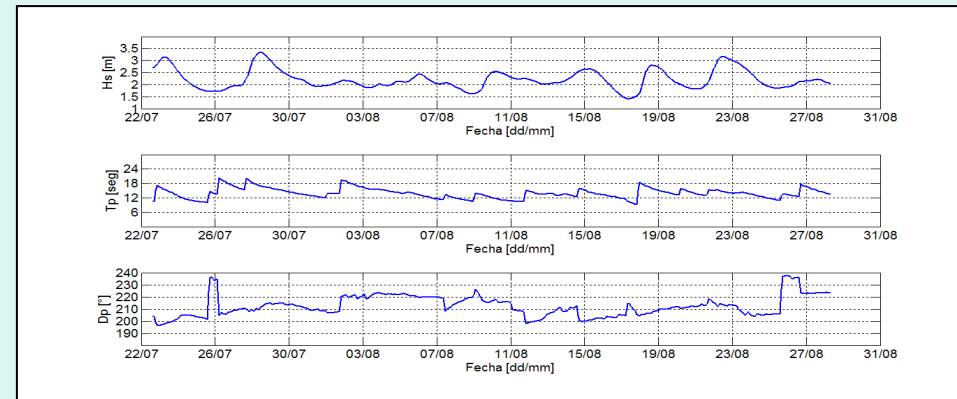


Figura 18: Datos Oleaje ventana de tiempo, aguas profundas.

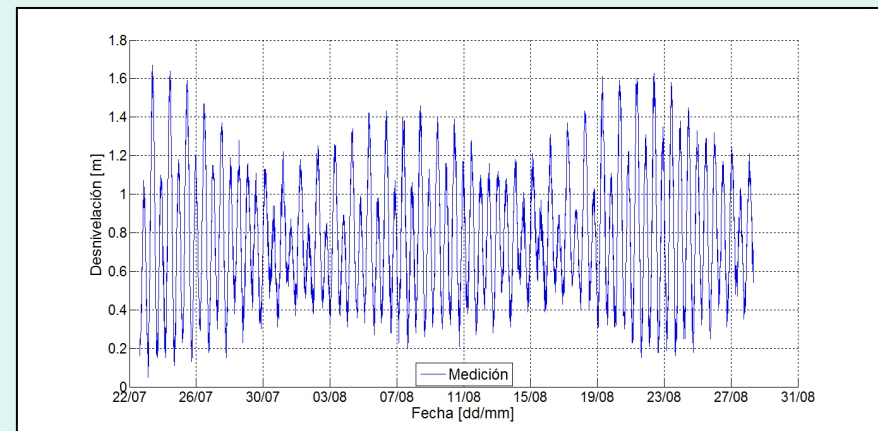


Figura 19: Datos nivel del mar al NRS.

3.- RESULTADOS

✓ Transferencia de oleaje: Preproceso

Información batimétrica

Carta N° 1000: Rada de Arica a Bahía de Mejillones lado Sur.

Carta N° 1100: Rada de Arica a Bahía de Iquique.

Carta N° 1111: Rada y puerto de Arica.

Levantamiento batimétrico campaña 2013.

Línea de costa desde imágenes Tiff Google Earth.

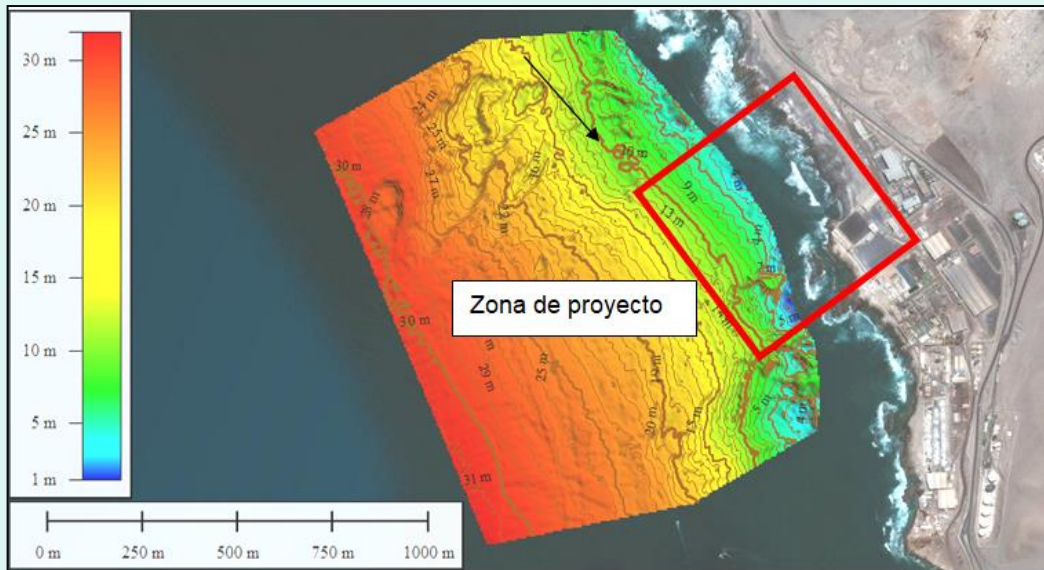


Figura 21: Batimetría de precisión.

[Volver.](#)

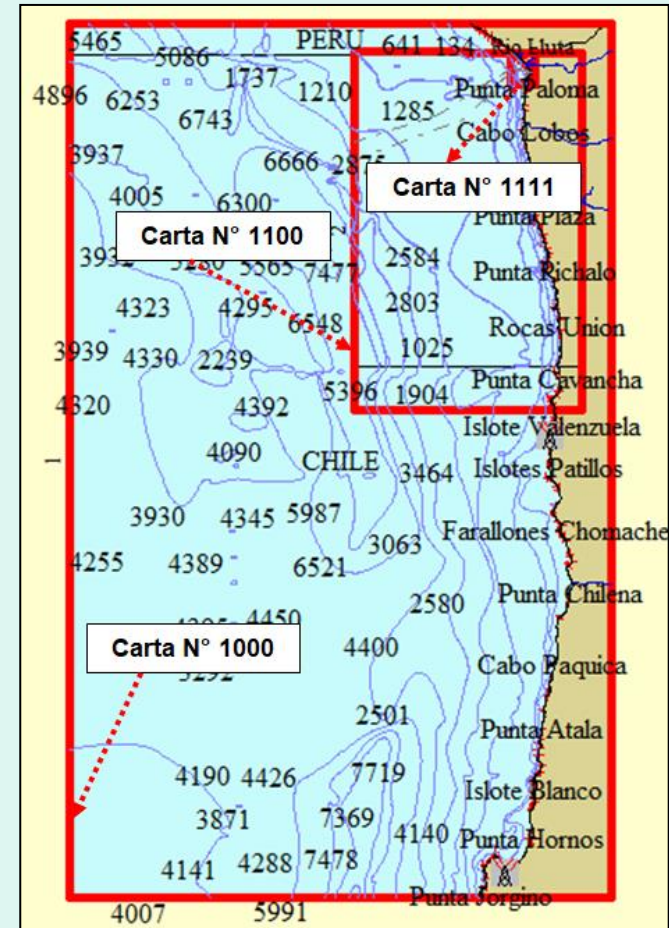


Figura 20: Cartas digitalizadas SHOA.

3.- RESULTADOS

✓ Transferencia de oleaje: Preproceso

Modelo batimétrico MIKE 21 SW

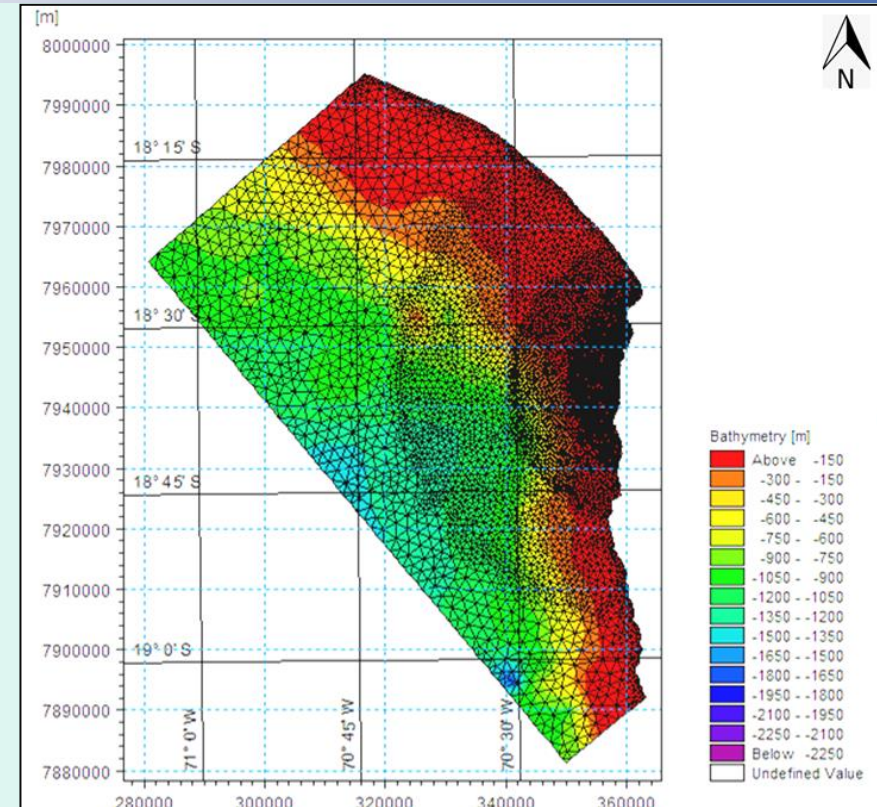
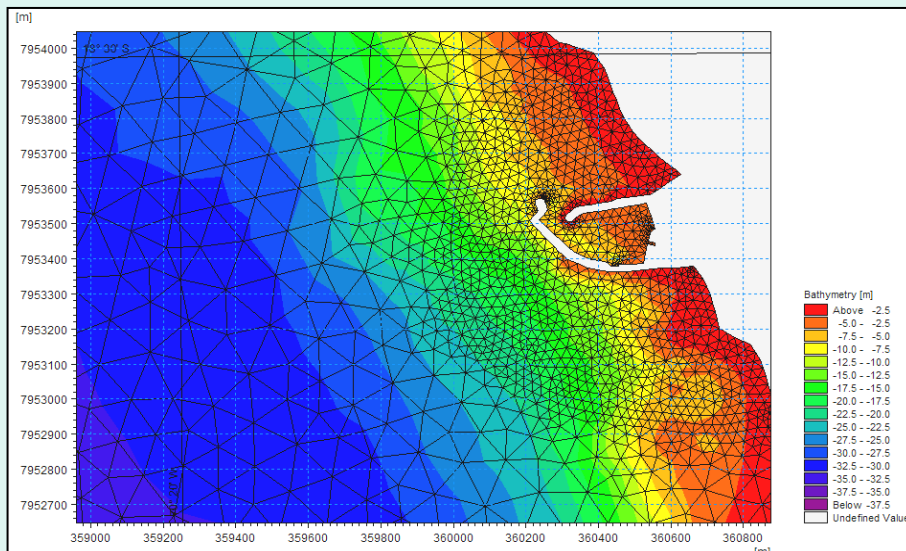


Figura 22: Modelo batimétrico vista lejana.

Figura 23: Modelo batimétrico vista cercana zona de interés con estructura.

Modelo numérico MIKE 21 SW – Arica, consideraciones: Proceso

- 1.- Resolución del dominio - Iteraciones N. Raphson con valores de convergencia preestablecidos.
- 2.- Discretización direccional en 32 direcciones.
- 3.- Fricción de fondo grano de arena representativo.
- 4.- Espectros sintéticos Jonswap.
- 5.- Resultados puntuales (Posición ADCP y en todo el dominio).

3.- RESULTADOS

✓ Transferencia de oleaje: Postproceso

Alternativa de calibración datos simulados con respecto a datos medidos (mismo punto).

Ajuste en aguas profundas:

Clases	Hs [m]
Clase 1	<1
Clase 2	1 - 1,5
Clase 3	1,5 - 2
Clase 4	2 - 2,5
Clase 5	2,5 - 3
Clase 6	3 - 3,5

Tabla 14: Clases Hs.

Clases	Tp [s]
Clase 1	<6
Clase 2	6 - 8
Clase 3	8 - 10
Clase 4	10 - 12
Clase 5	12 - 14
Clase 6	14 - 16
Clase 7	16 - 18
Clase 8	18 - 20
Clase 9	>20

Tabla 15: Clases Tp.

$$\text{Diferencia media } H_S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_S \text{ medido} - H_S \text{ simulado})$$

$$\text{Diferencia media } T_P = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (T_P \text{ medido} - T_P \text{ simulado})$$

siendo n, m : tamaño de la muestra

$$\begin{aligned} \text{Factor de ajuste } H_S &= (\text{Diferencia media } H_S) * F_S \\ &= \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_S \text{ medido} - H_S \text{ simulado}) \right) * F_S \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Factor de ajuste } T_P &= (\text{Diferencia media } T_P) * F_S \\ &= \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (T_P \text{ medido} - T_P \text{ simulado}) \right) * F_S \end{aligned}$$

F_S : factor de ajuste

3.- RESULTADOS

✓ Transferencia de oleaje: Postproceso

Alternativa de calibración datos simulados con respecto a datos medidos (mismo punto).

Resultado proceso iterativo de ajuste:

Clases	Hs [m]	Diferencia media
Clase 1	<1	0,000
Clase 2	1 - 1,5	0,006
Clase 3	1,5 - 2	-0,019
Clase 4	2 - 2,5	-0,024
Clase 5	2,5 - 3	0,050
Clase 6	3 - 3,5	0,181

Tabla 16: Diferencias medias Hs.

Clases	Tp [s]	Diferencia media
Clase 1	<6	0,000
Clase 2	6 - 8	0,000
Clase 3	8 - 10	0,000
Clase 4	10 - 12	1,910
Clase 5	12 - 14	0,822
Clase 6	14 - 16	1,524
Clase 7	16 - 18	-0,162
Clase 8	18 - 20	-0,925
Clase 9	>20	-0,455

Tabla 17: Diferencias medias Tp.

Clases	Hs [m]	Diferencia media	F. ponderación	Factor ajuste
Clase 1	<1	0,000	0,000	0,000
Clase 2	1 - 1,5	0,006	1,000	0,006
Clase 3	1,5 - 2	-0,019	1,200	-0,023
Clase 4	2 - 2,5	-0,024	1,500	-0,035
Clase 5	2,5 - 3	0,050	1,200	0,061
Clase 6	3 - 3,5	0,181	1,500	0,271

Tabla 18: Factores de ajuste Hs.

Clases	Tp [s]	Diferencia media	F. ponderación	Factor ajuste
Clase 1	<6	0,000	0,000	0,000
Clase 2	6 - 8	0,000	0,000	0,000
Clase 3	8 - 10	0,000	0,000	0,000
Clase 4	10 - 12	1,910	0,500	0,955
Clase 5	12 - 14	0,822	0,500	0,411
Clase 6	14 - 16	1,524	0,500	0,762
Clase 7	16 - 18	-0,162	0,500	-0,081
Clase 8	18 - 20	-0,925	0,500	-0,463
Clase 9	>20	-0,455	0,500	-0,228

Tabla 19: Factores de ajuste Tp.

3.- RESULTADOS

✓ Transferencia de oleaje: Postproceso

Alternativa de calibración datos simulados con respecto a datos medidos (mismo punto).

Resultado calibración alternativa:

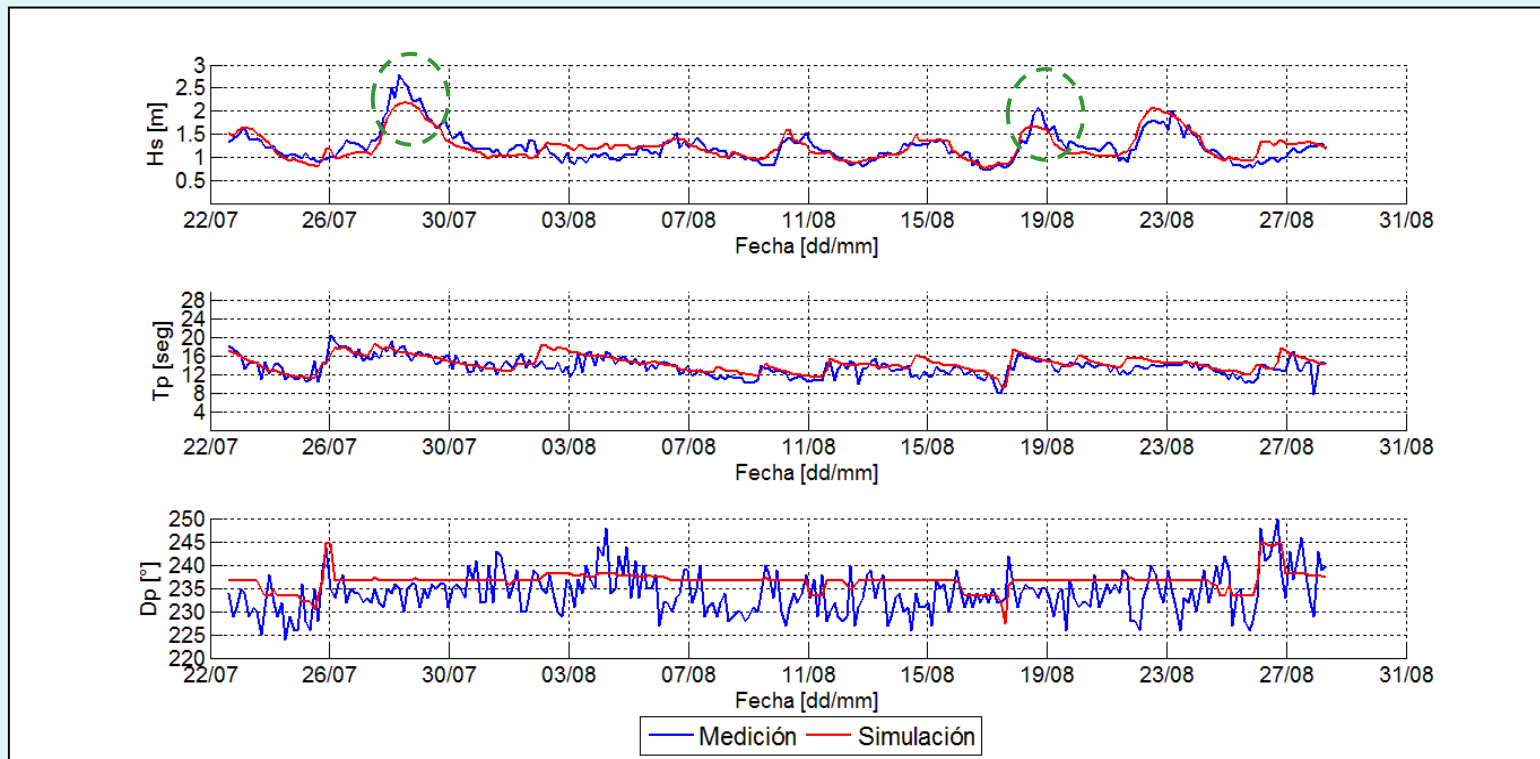


Figura 24: Resultado calibración alternativa.

3.- RESULTADOS

✓ Transferencia de oleaje: Postproceso

Alternativa de calibración datos simulados con respecto a datos medidos (mismo punto). BONDAD DEL AJUSTE.

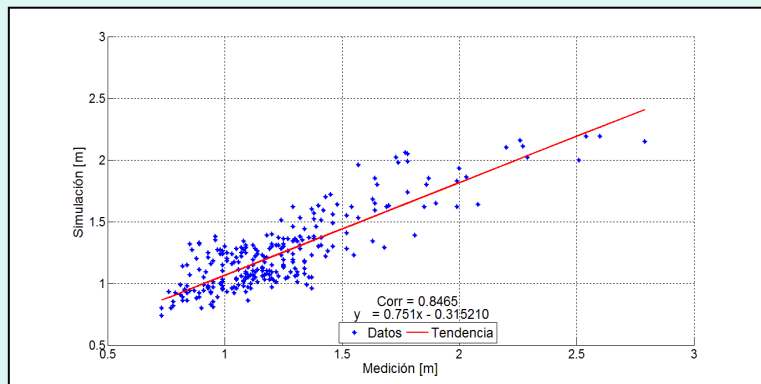


Figura 25: Bondad Hs simulado vs medido.

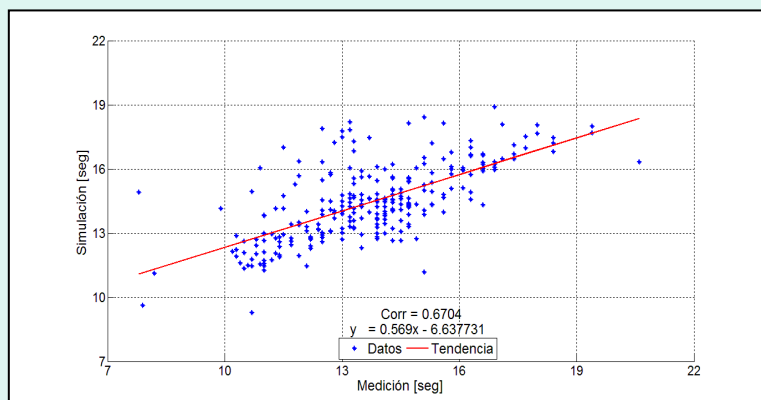


Figura 26: Bondad Tp simulado vs medido.

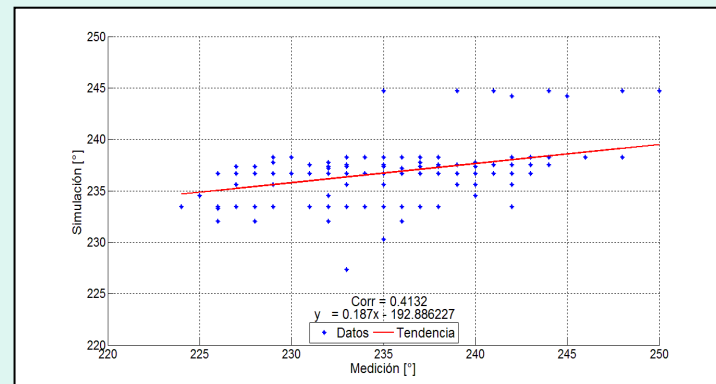


Figura 27: Bondad Dp simulado vs medido.

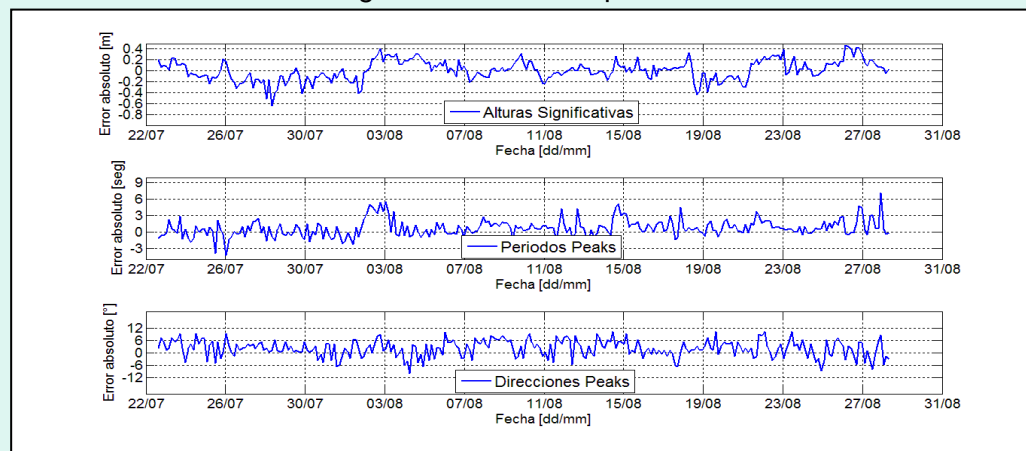


Figura 28: Bondad Dp simulado vs medido.

3.- RESULTADOS

✓ Transferencia de oleaje: Análisis de datos de oleaje aguas profundas con datos ajustados

Con los resultados del post-proceso de la transferencia de oleaje, específicamente con la “Alternativa de calibración”, es que los datos de aguas profundas fueron modificados. A continuación se presenta el resultado del clima de oleaje:

Altura Significativa [m]	Periodo Peak [s]										Total	A(%)	C(%)
	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22+			
0,5-1				7	1						8	0,01	100,00
1-1,5		31	161	999	94	620	264	83	26		3128	3,57	99,99
1,5-2	18	138	1078	6250	8425	5174	2434	606	172	2	24297	27,72	96,42
2-2,5	154	690	4507	13311	8260	3465	704	230	6		31530	35,97	68,71
2,5-3	67	194	1389	6453	7015	2385	480	98	6		18087	20,63	32,74
3-3,5	3	71	229	1775	3807	1330	238	40	2		7496	8,55	12,11
3,5-4			13	35	236	1219	758	117	16		2396	2,73	3,56
4-4,5			1	6	4	237	273	53	4		578	0,66	0,82
4,5-5						21	88	19			128	0,15	0,16
5-5,5							13	2			15	0,02	0,02
5,5+								1			1	0,00	0,00
Total	18	393	2198	13512	31184	26354	11011	2392	586	16	87664		
A(%)	0,02	0,45	2,51	15,41	35,57	30,06	12,56	2,73	0,67	0,02	N° Datos		
C(%)	100,00	99,98	99,53	97,02	81,61	46,04	15,98	3,42	0,69	0,02			

Tabla 20: Distribución de frecuencias Hs/Tp.

Dirección [°]	Periodo Peak [s]										Total	A(%)	C(%)
	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22+			
N											0	0,00	100,00
NNE											0	0,00	100,00
NE											0	0,00	100,00
ENE											0	0,00	100,00
E											0	0,00	100,00
ESE											0	0,00	100,00
SE											0	0,00	100,00
SSE											0	0,00	100,00
S											4	0,00	100,00
SSW	16	389	1991	6593	10062	7485	2418	418	60	1	29433	33,57	66,42
SW	2	203	6655	19716	14627	5231	1172	266		10	47912	54,65	66,42
WSW					1183	1737	577	52			3823	4,36	11,77
W			4	264	115	819	320	31	5		1290	1,47	7,41
WNW					72	1636	2290	648	227	5	4878	5,56	5,93
NW						50	175	71	28		324	0,37	0,37
NNW											0	0,00	0,00
Total	18	393	2198	13512	31184	26354	11011	2392	586	16	87664		
A(%)	0,02	0,45	2,51	15,41	35,57	30,06	12,56	2,73	0,67	0,02	N° Datos		
C(%)	100,00	99,98	99,53	97,02	81,61	46,04	15,98	3,42	0,69	0,02			

Tabla 21: Distribución de frecuencias Dp/Tp.

Dirección [°]	Altura Significativa [m]											Total	A(%)	C(%)
	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5	2,5-3	3-3,5	3,5-4	4-4,5	4,5-5	5-5,5	5,5+			
N												0	0,00	100,00
NNE												0	0,00	100,00
NE												0	0,00	100,00
ENE												0	0,00	100,00
E												0	0,00	100,00
ESE												0	0,00	100,00
SE												0	0,00	100,00
SSE												0	0,00	100,00
S			3									4	0,00	100,00
SSW		573	6426	10770	7161	3394	1116	228	55	10		29433	33,57	100,00
SW	7	1544	13311	17773	10077	4011	1260	350	73	5	1	47912	54,65	66,42
WSW		384	1524	1337	455	60	13					3823	4,36	11,77
W		142	551	419	89	9						1290	1,47	7,41
WNW	1	453	2288	1832	305	22	7					4878	5,56	5,93
NW		32	194									324	0,37	0,37
NNW												0	0,00	0,00
Total	8	3128	24297	31530	18087	7496	2396	578	128	15	1	87664		
A(%)	0,01	3,57	27,72	35,97	20,63	8,55	2,73	0,66	0,15	0,02	0,00	N° Datos		
C(%)	100,00	99,99	96,42	68,71	32,74	12,11	3,56	0,82	0,16	0,02	0,00			

Tabla 22: Distribución de frecuencias Dp/THs.

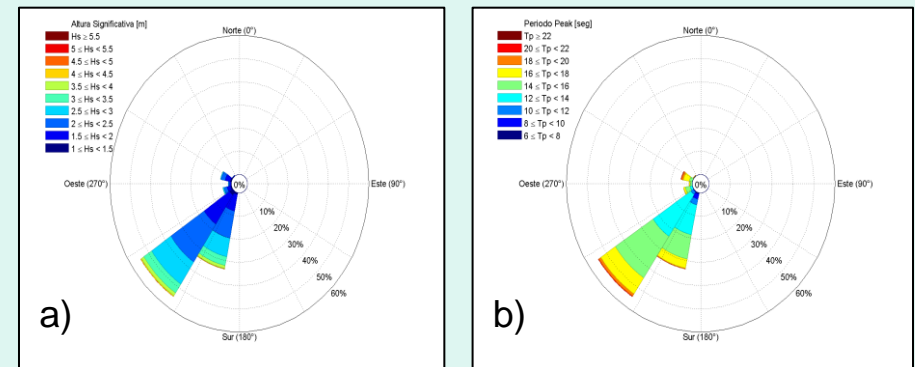


Figura 32: a) Rosa Oleaje Dp/Hs y b) Rosa Oleaje Dp/Tp.

3.- RESULTADOS

✓ Transferencia de oleaje: Análisis de datos de oleaje aguas profundas: comparación datos originales vs ajustados.

Datos Originales

- a) Rangos frecuentes Hs entre 1,5 a 3 m (84,32%)
- b) Rango Hs con mayor ocurrencia 2 a 2,5 (35,97%)
- c) Rangos frecuentes Tp entre 12 a 16 s (65,63%)
- d) Rango Tp con mayor ocurrencia entre 12 a 14 s (35,57%)
- e) Direcciones frecuentes SW y SSW (88,22%)
- f) Dirección SW con el 54,65%

Datos ajustados

- Rangos frecuentes Hs entre 1,5 a 3 m (84,32%)
- Rango Hs con mayor ocurrencia 2 a 2,5 (35,97%)
- Rangos frecuentes Tp entre 12 a 16 s (65,63%)
- Rango Tp con mayor ocurrencia entre 12 y 14 s (35,57)
- Direcciones frecuentes SW y SSW (88,22%)
- Dirección SW con el 54,65%

*Los climas de oleaje no variaron.

3.- RESULTADOS

✓ Transferencia de oleaje: Modelación para obtención de coeficientes de agitación

- a) Modelo a utilizar: Mike 21 SW (con el cual se calibraron los datos anteriormente)
- b) Casos unitarios a modelar

Límites	Hs [m]	Tp [s]	Dp [°]
Mínimo	0,93	5,26	189,50
Máximo	5,50	23,69	308,67

Tabla 23: Límites de datos de oleaje aguas profundas.

Variables	Mínimo	Máximo	Intervalo
Periodos [s]	4,00	24,00	2,00
Direcciones [°]	180,00	315,00	15,00

Tabla 24: Límites e intervalos de casos unitarios

- c) Combinaciones: Total de 110 estados de mar unitarios.
- d) Coeficientes de agitación resultantes

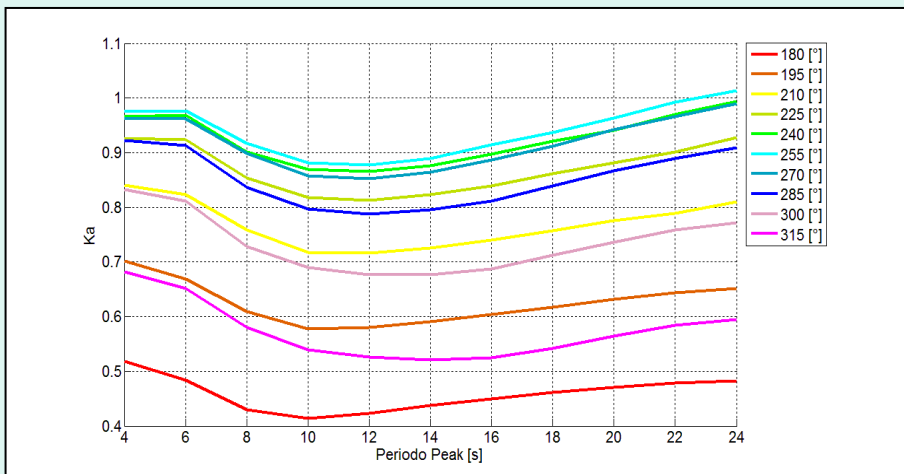


Figura 33: Coeficientes de cambio en la altura de ola Ka.

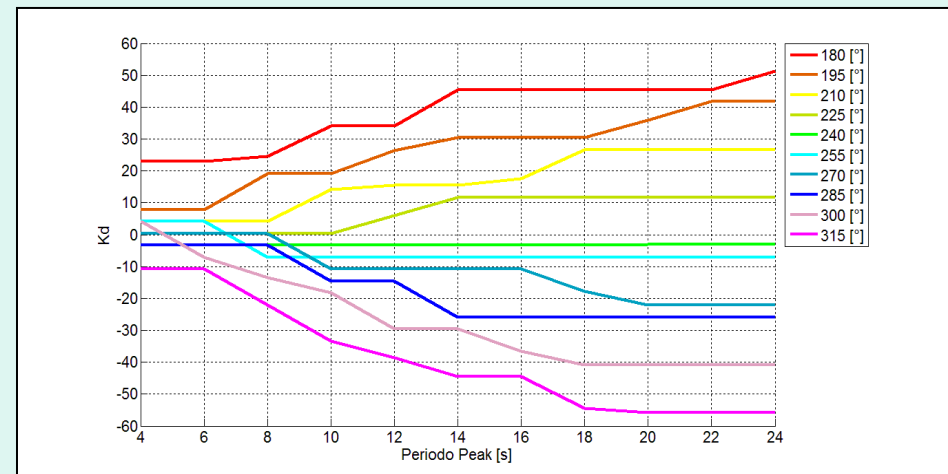


Figura 34: Coeficientes de cambio en la dirección de ola Kd.

3.- RESULTADOS

✓ Transferencia de oleaje: Aplicación de coeficientes a Datos aguas profundas

Transferencia de olas en parámetros de resumen con un método propio basado en transferencia cuasi purista de Nicolau (2006).

Clases	Dirección [°]	Rango de dirección [°]	Periodo [s]	Rango de periodo [s]
Clase 1	180	180 - 187,5	4	4 - 5
Clase 2	195	187,5 - 202,5	6	5 - 7
Clase 3	210	202,5 - 217,5	8	7 - 9
Clase 4	225	217,5 - 232,5	10	9 - 11
Clase 5	240	232,5 - 247,5	12	11 - 13
Clase 6	255	247,5 - 262,5	14	13 - 15
Clase 7	270	262,5 - 277,5	16	15 - 17
Clase 8	285	277,5 - 292,5	18	17 - 19
Clase 9	300	292,5 - 307,5	20	19 - 21
Clase 10	315	307,5 - 315	22	21 - 23
Clase 11	-	-	24	23 - 24

Tabla 25: Clases utilizadas para transferencia de parámetros de resumen.

30 años de parámetros de resumen de oleaje NOAA aguas profundas llevados al sitio de interés.

Clima de oleaje mediano y largo plazo

$$H_s \text{ transferido} = H_s \text{ aguas profunda} * K_a$$

$$D_p \text{ transferido} = D_p \text{ aguas profundas} \pm K_d$$

```
HsAP=datos(:,1);
HsAS=zeros(length(HsAP),1);
TP=datos(:,2);
DpAP=datos(:,3);
DpAS=zeros(length(DpAP),1);
tr=[5:2:23 24];
dr=[180 187.5:15:307.5 315];
for l=1:length(tr)-1;
    for k=1:length(dr)-1;
        for j=1:length(datos);
            if TP(j)>=tr(l) && TP(j)<tr(l+1) && DpAP(j)>=dr(k) && DpAP(j)<dr(k+1);
                HsAS(j,1)=HsAP(j)*Ka(l,k); DpAS(j,1)=DpAP(j)+Kd(l,k);
            end
        end
    end
end
```


3.- RESULTADOS

✓ Transferencia de oleaje: Clima de oleaje zona de estudio (datos 1980-2009).

Altura Significativa [m]	Periodo Peak [s]									Total	A(%)	C(%)
	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22			
0,5-1		30	154	105	298	240	116	41	10	1014	1,16	100,00
1-1,5	18	256	1325	1979	11217	5243	2910	684	154	23789	27,14	98,84
1,5-2	103	582	1440	15708	14324	5028	982	234	16	38034	43,39	71,71
2-2,5	4	121	197	3908	9458	4013	448	113	7	18269	20,84	28,32
2,5-3		15	21	470	2571	1930	167	47	4	5225	5,96	7,48
3-3,5			2	9	368	604	56	13		1072	1,22	1,52
3,5-4					35	162	25	1		224	0,26	0,30
4-4,5					8	21	4			33	0,04	0,04
4,5-5						3	1			4	0,00	0,00
+5										0	0,00	0,00
Total	18	393	2198	3453	31610	32295	14787	2308	572	87664		
A(%)	0,02	0,45	2,51	3,94	36,06	36,84	16,87	2,63	0,65	0,03	N° Datos	
C(%)	100,00	99,98	99,53	97,02	93,08	57,03	20,19	3,32	0,69	0,03		

Tabla 26: Distribución de frecuencias Hs/Tp.

Dirección [°]	Altura Significativa [m]								Total	A(%)	C(%)	
	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5	2,5-3	3-3,5	3,5-4	4-4,5				4,5-5
N										0	0,00	100,00
NNE										0	0,00	100,00
NE										0	0,00	100,00
ENE										0	0,00	100,00
E										0	0,00	100,00
ESE										0	0,00	100,00
SE										0	0,00	100,00
SSE										0	0,00	100,00
S										0	0,00	100,00
SSW	18	301	193	34	2					548	0,63	100,00
SW	662	17478	29425	14026	4171	798	164	21	4	67350	76,83	99,37
WSW	107	3629	708	3508	1045	273	60	12		15731	17,94	22,55
W	227	2381	1314	111	7	1				4035	4,60	4,60
WNW										0	0,00	0,00
NW										0	0,00	0,00
NNW										0	0,00	0,00
Total	1014	23789	38034	18269	5225	1072	224	33	4	87664		
A(%)	1,16	27,14	43,39	20,84	5,96	1,22	0,26	0,04	0,00	0,00	N° Datos	
C(%)	100,00	98,84	71,71	28,32	7,48	1,52	0,30	0,04	0,00	0,00		

Tabla 27: Distribución de frecuencias Dp/Hs.

Dirección [°]	Periodo Peak [s]									Total	A(%)	C(%)	
	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22				22+
N										0	0,00	100,00	
NNE										0	0,00	100,00	
NE										0	0,00	100,00	
ENE										0	0,00	100,00	
E										0	0,00	100,00	
ESE										0	0,00	100,00	
SE										0	0,00	100,00	
SSE										0	0,00	100,00	
S										0	0,00	100,00	
SSW	18	179	351							548	0,63	100,00	
SW	214	1045	9807	27015	24080	6485	700	171	6	67350	76,83	99,37	
WSW			2	66	3655	6336	4268	1089	249	16	15731	17,94	22,55
W					40	1300	2084	451	152	8	4035	4,60	4,60
WNW										0	0,00	0,00	
NW										0	0,00	0,00	
NNW										0	0,00	0,00	
Total	18	393	2198	3453	31610	32295	14787	2308	572	87664			
A(%)	0,02	0,45	2,51	3,94	36,06	36,84	16,87	2,63	0,65	0,03	N° Datos		
C(%)	100,00	99,98	99,53	97,02	93,08	57,03	20,19	3,32	0,69	0,03			

Tabla 28: Distribución de frecuencias Dp/Tp.

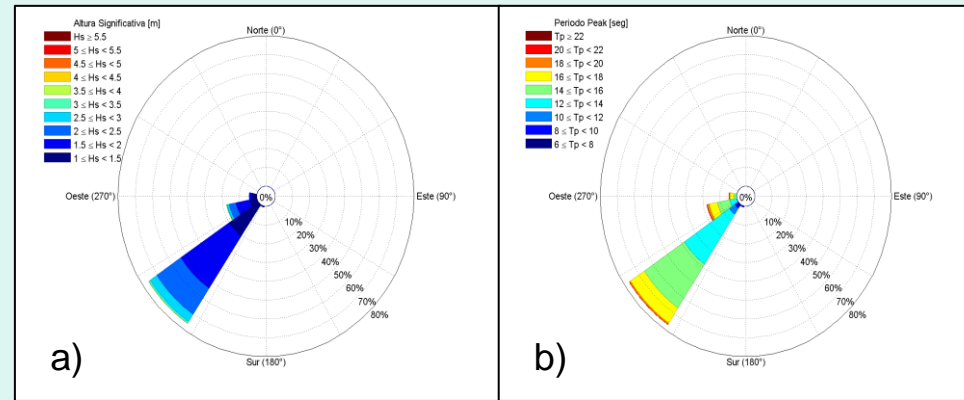


Figura 35: a) Rosa Oleaje Dp/Hs y b) Rosa Oleaje Dp/Tp.

3.- RESULTADOS

✓Clima de oleaje extremo: En zona de estudio.

Fecha	Hs [m]	Tp [s]	Dp [°]
21-05-1980 0:00	3,64	17,20	235,27
03-08-1981 21:00	4,15	17,02	236,30
09-06-1982 18:00	3,78	18,22	235,04
15-07-1983 15:00	4,04	18,14	236,99
06-07-1984 18:00	3,85	16,49	230,89
26-05-1985 15:00	4,14	17,50	229,46
25-08-1986 12:00	3,64	17,04	234,54
26-07-1987 21:00	4,16	15,41	237,53
22-11-1988 0:00	4,06	18,00	231,10
17-06-1989 3:00	3,71	17,79	232,18
28-07-1990 15:00	3,68	16,93	229,28
26-07-1991 3:00	4,24	17,81	232,60
23-08-1992 12:00	4,74	18,20	231,48
29-07-1993 0:00	3,61	16,46	231,57
19-06-1994 9:00	4,10	17,62	229,95
17-05-1995 21:00	3,27	17,13	233,84
29-05-1996 0:00	4,08	17,05	239,20
05-10-1997 0:00	3,53	15,01	232,31
29-05-1998 21:00	3,70	17,06	242,49
01-06-1999 15:00	3,44	17,78	237,72
29-07-2000 0:00	3,46	17,38	233,25
12-05-2001 18:00	2,91	17,32	230,19
10-08-2002 3:00	3,25	17,50	234,87
14-06-2003 6:00	3,75	17,10	241,88
24-06-2004 6:00	3,53	16,20	232,30
10-09-2005 21:00	3,16	13,46	235,73
03-06-2006 3:00	3,71	17,15	236,17
06-09-2007 9:00	3,96	17,75	229,65
17-07-2008 18:00	3,59	16,07	232,82
06-07-2009 9:00	3,54	16,44	238,93
Min	2,91	13,46	229,28
Max	4,74	18,22	242,49
Promedio	3,75	17,01	234,19

Tabla 29: Olas extremas máximo anual.

Resumen	Distribución Weibull 95% de confianza			
	Hs [m] - k=0,75	Hs [m] - k=1,00	Hs [m] - k=1,40	Hs [m] - k=2,0
Correlación	0,88	0,92	0,96	0,98
RMS	0,31	0,17	0,10	0,06
Periodo retorno [años]	Hs [m]	Hs [m]	Hs [m]	Hs [m]
2	3,62	3,64	3,67	3,70
5	3,90	3,97	4,03	4,06
10	4,16	4,22	4,26	4,26
15	4,32	4,37	4,38	4,36
20	4,44	4,48	4,47	4,43
25	4,54	4,56	4,53	4,49
30	4,62	4,63	4,59	4,53
35	4,69	4,68	4,63	4,56
40	4,75	4,73	4,67	4,59
45	4,80	4,77	4,70	4,61
50	4,85	4,81	4,73	4,64
55	4,89	4,85	4,75	4,65
60	4,93	4,88	4,78	4,67
65	4,97	4,91	4,80	4,69
70	5,01	4,93	4,82	4,70
75	5,04	4,96	4,84	4,72
80	5,07	4,98	4,85	4,73
85	5,10	5,01	4,87	4,74
90	5,13	5,03	4,89	4,75
95	5,15	5,05	4,90	4,76
100	5,18	5,06	4,91	4,77

Tabla 30: Análisis extremo oleaje anual.

3.- RESULTADOS

✓ Propuesta de alternativa de abrigo: Alternativas.

Consideraciones:

-Oleaje proviene desde el SW con más del 77% de ocurrencia. Dirección WSW 17%. Sin embargo, el total de los datos transferidos al sitio de interés abarcan direcciones entre el SSW y W.

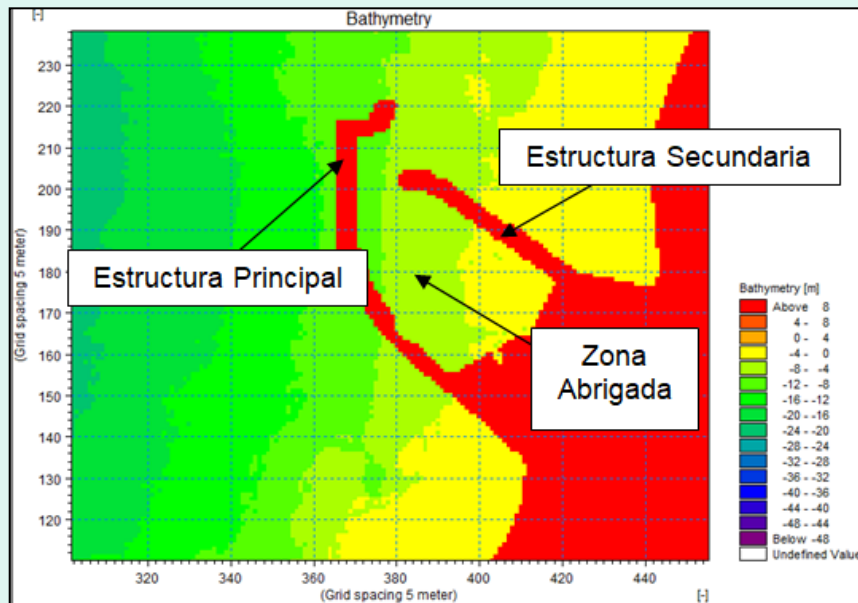


Figura 36: Tipología 1.

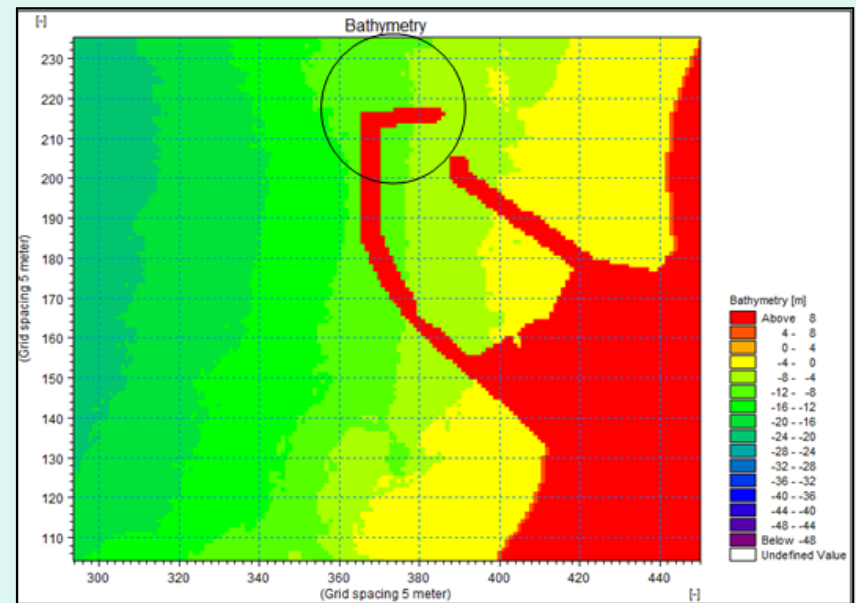


Figura 37: Tipología 2.

Ambas tipologías fueron puestas a prueba mediante análisis de agitación utilizando modelo MIKE 21 BW Boussinesq Waves.

3.- RESULTADOS

✓ Propuesta de alternativa de abrigo: Modelación MIKE 21 BW.

- a) Casos unitarios a simular: Direcciones 225° 240° 255° y 270° para periodos peaks entre los 8 y 20 segundos con un intervalo de 2 segundos (28 estados de mar unitario).
- b) Consideraciones del modelo.
 - I. Direcciones modeladas deben ser capaces de propagar el oleaje en esa dirección.
 - II. Dominio del modelo extensión mínima de 4 a 5 veces la longitud de onda, estimada a una profundidad máxima desde donde será propagada.
 - III. Línea de costa extensa para evitar efectos de errores en los límites del dominio.
 - IV. Se generaron 4 grillas de cálculo para la generación de los modelos
 - V. La condición de borde cerrada corresponde a la línea de costa en toda su extensión.
 - VI. Condición de borde abierta se consideró desde donde se propaga el oleaje.
 - VII. Las forzantes corresponden al punto a)., incluyendo el nivel del mar.
 - VIII. Batimetría utilizada Idem a Diapositiva [16](#).
 - IX. La malla de cálculo posee un área de 4.880.000 m² (X: 2.400 m, Y: 2.000 m), DX-DY 5m (192.000 elementos).
 - X. Planificación del modelo en MIKE 21 BW Model Setup Planner.
 - XI. Revisión del número de Courant para cada caso simulado: Paso del tiempo de 0,05 segundos para asegurar la estabilidad numérica para una simulación de 180 minutos.

3.- RESULTADOS

✓ Propuesta de alternativa de abrigo: Modelación MIKE 21 BW.

c) Parámetros de la modelación

I. Esponja numérica: realizada por defecto, valor extremo = 7 decreciendo en 20 capas en potencia de 0,7.

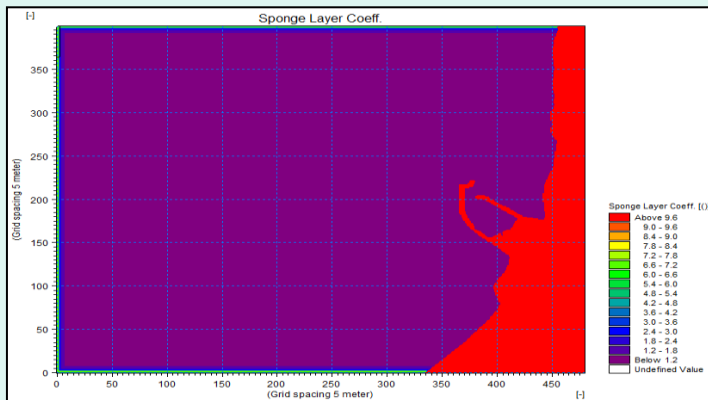


Figura 38: Esponja tipología 1 Grilla 225° .

II. Porosidad: Parámetro dependiente de la reflexión y del periodo de la onda.

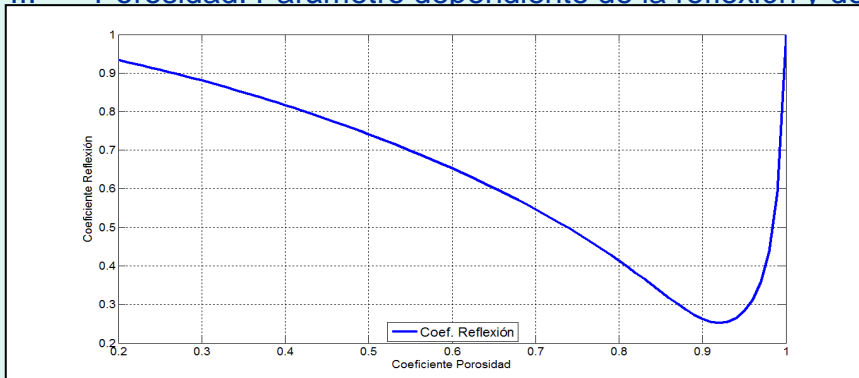


Figura 39: Coeficientes de reflexión/porosidad para 8 segundos.

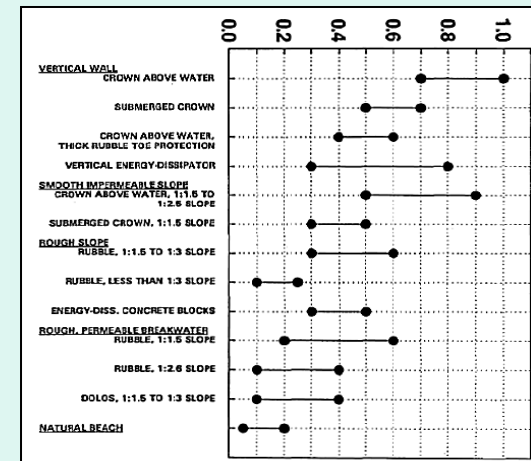


Figura 40: Coeficientes de reflexión según tipología.

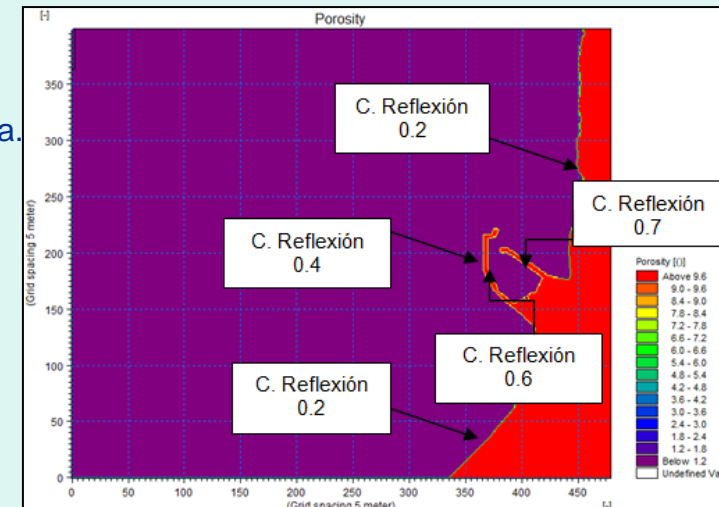


Figura 41: Coeficiente de porosidad Grilla 225° .

3.- RESULTADOS

✓ Propuesta de alternativa de abrigo: Modelación MIKE 21 BW, control.

d) Puntos de control para verificación de convergencia y calibración del modelo.: Se consideró controlar el modelo en tres puntos.

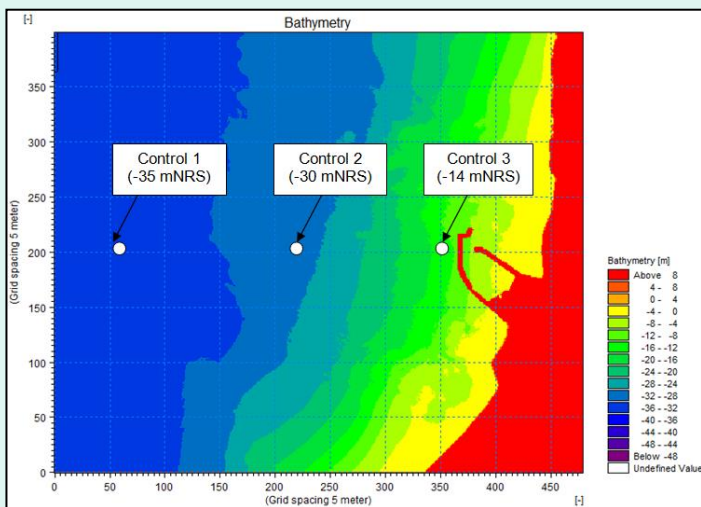


Figura 42: Puntos de control modelo 225° .

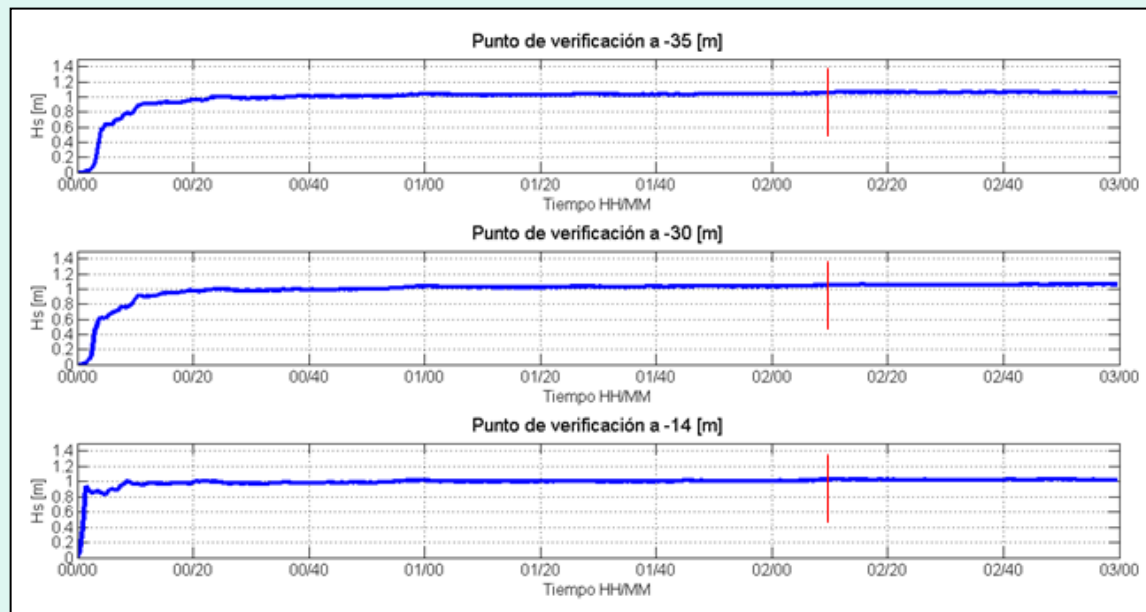


Figura 43: Verificación de convergencia modelo 225° 8 s Tp.

3.- RESULTADOS

✓ Propuesta de alternativa de abrigo: Modelación MIKE 21 BW, Postproceso.



Altura Significativa [m]	Periodo Peak [s]										Total	A(%)	C(%)
	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22+			
0-0,05			822	26	5						853	1,63	100,00
0,05-0,1			845	2771	8013	187	107	15			11938	22,85	98,37
0,1-0,15			1	433	14261	4527	1256	148	26		20652	39,53	75,52
0,15-0,2				14	1193	8978	2167	180	45		12577	24,07	35,99
0,2-0,25					10	3781	1339	41	17		5188	9,93	11,92
0,25-0,3						560	313	24	9		906	1,73	1,99
0,3-0,35						48	73	3			124	0,24	0,25
0,35-0,4						1	7	1			9	0,02	0,02
Total	0	0	1668	3244	23482	18082	5262	412	97	0	52247		
A(%)	0,00	0,00	3,19	6,21	44,94	34,61	10,07	0,79	0,19	0,00		N° Datos	
C(%)	100,00	100,00	100,00	96,81	90,60	45,65	11,05	0,97	0,19	0,00			

Tabla 31: Distribución de frecuencias Hs/Tp Dir 225° alternativa 2.

Altura Significativa [m]	Periodo Peak [s]										Total	A(%)	C(%)
	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22+			
0-0,05			6	45	29						80	0,29	100,00
0,05-0,1				164	5981	1874	742	168	24		8953	32,32	99,71
0,1-0,15					1994	7689	3405	527	102		13717	49,51	67,39
0,15-0,2					25	2223	1750	239	81		4318	15,59	17,88
0,2-0,25						177	363	44	13		597	2,16	2,29
0,25-0,3						9	22	7			38	0,14	0,14
Total	0	0	6	209	8029	11972	6282	985	220	0	27703		
A(%)	0,00	0,00	0,02	0,75	28,98	43,22	22,68	3,56	0,79	0,00		N° Datos	
C(%)	100,00	100,00	100,00	99,98	99,22	70,24	27,03	4,35	0,79	0,00			

Tabla 32: Distribución de frecuencias Hs/Tp Dir 240° alternativa 2.

3.- RESULTADOS

✓ Propuesta de alternativa de abrigo: Modelación MIKE 21 BW, Post-proceso.

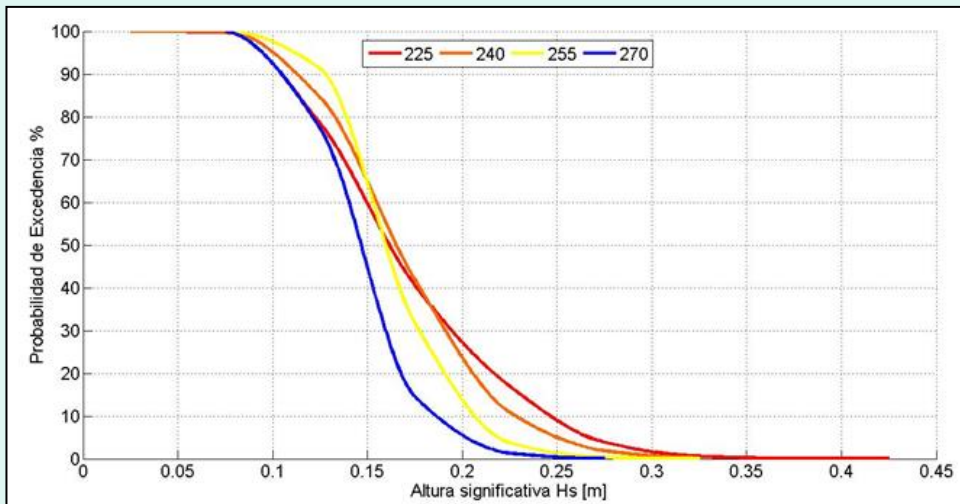


Figura 45: Probabilidades de excedencia Hs, nodo agitación alternativa 1.

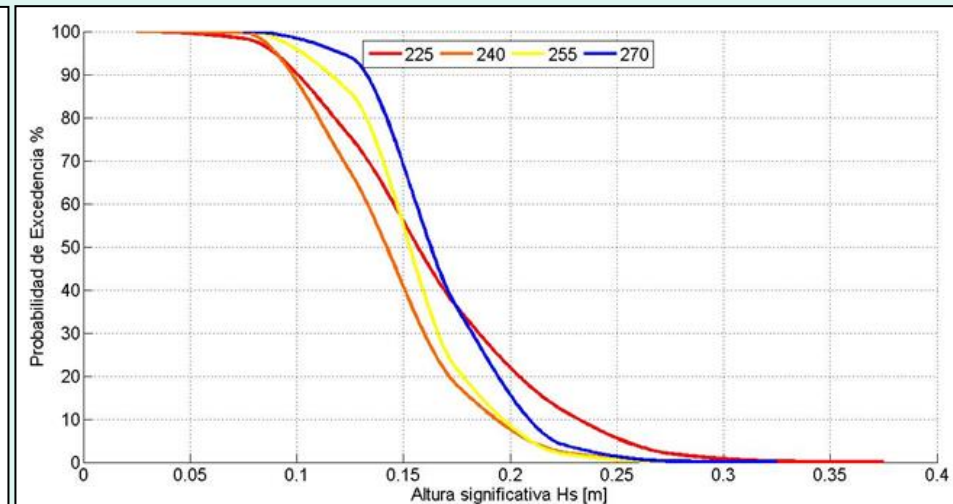


Figura 46: Probabilidades de excedencia Hs, nodo agitación alternativa 2.

3.- RESULTADOS

✓ Propuesta de alternativa de abrigo: Selección de alternativa.

	Velocidad absoluta del viento $V_{10,1 \text{ min}}$	Velocidad absoluta de la corriente $V_{c,1 \text{ min}}$	Altura de ola H_s
— Transportadores de Gases Licuados			
< 60.000 m ³	22 m/s	1.5 m/s	1.2 m/s
> 60.000 m ³	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m/s
— Mercantes de carga general, Pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m
— Portacontenedores, Ro-Ros y Ferries	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
— Transatlánticos y Cruceros (1)	22 m/s	1.5 m/s	0.5 m
— Pesqueros de pesca fresca	22 m/s	1.5 m/s	0.8 m
• Acciones en sentido transversal al muelle			
— Petroleros			
< 30.000 TPM	20 m/s	0.7 m/s	1.0 m
30.000-200.000 TPM	20 m/s	0.7 m/s	1.2 m
> 200.000 TPM	20 m/s	0.7 m/s	1.5 m
— Graneleros			
Cargando	22 m/s	0.7 m/s	1.0 m
Descargando	22 m/s	0.7 m/s	0.8 m
— Transportadores de Gases Licuados			
< 60.000 m ³	18 m/s	0.5 m/s	0.8 m
> 60.000 m ³	18 m/s	0.5 m/s	1.0 m
— Mercantes de carga general, Pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	0.7 m/s	0.8 m
— Portacontenedores, Ro-Ros y Ferries	22 m/s	0.5 m/s	0.3 m
— Transatlánticos y Cruceros (1)	22 m/s	0.5 m/s	0.3 m
— Pesqueros de pesca fresca	22 m/s	0.7 m/s	0.4 m

Tabla 33: Condiciones límites naves menores y mayores ROM 3.1-99.

Ship Length (m)	Beam/Quartering Seas		Head Seas	
	Period (s)	Height H_s (m)	Period (s)	Height H_s (m)
4 - 10	< 2	0.20	< 2.5	0.20
	2 - 4	0.10	2.5 - 4	0.15
	> 4	0.15	> 4	0.20
10 - 16	< 3	0.25	< 3.5	0.30
	3 - 5	0.15	3.5 - 5.5	0.20
	> 5	0.20	> 5.5	0.30
20 m	< 4	0.30	< 4.5	0.30
	4 - 6	0.15	4.5 - 7.0	0.25
	> 6	0.25	> 7.0	0.30

Tabla 34: Criterios de operación embarcaciones en puertos (PIANC 95).

Condición	Excedencia	No Excedencia
Alternativa 1	0,05%	99,95%
Alternativa 2	0,01%	99,99%

Tabla 35: Probabilidades de excedencia ambas alternativas.

3.- RESULTADOS

✓ Clima de oleaje en zona expuesta del rompeolas principal.

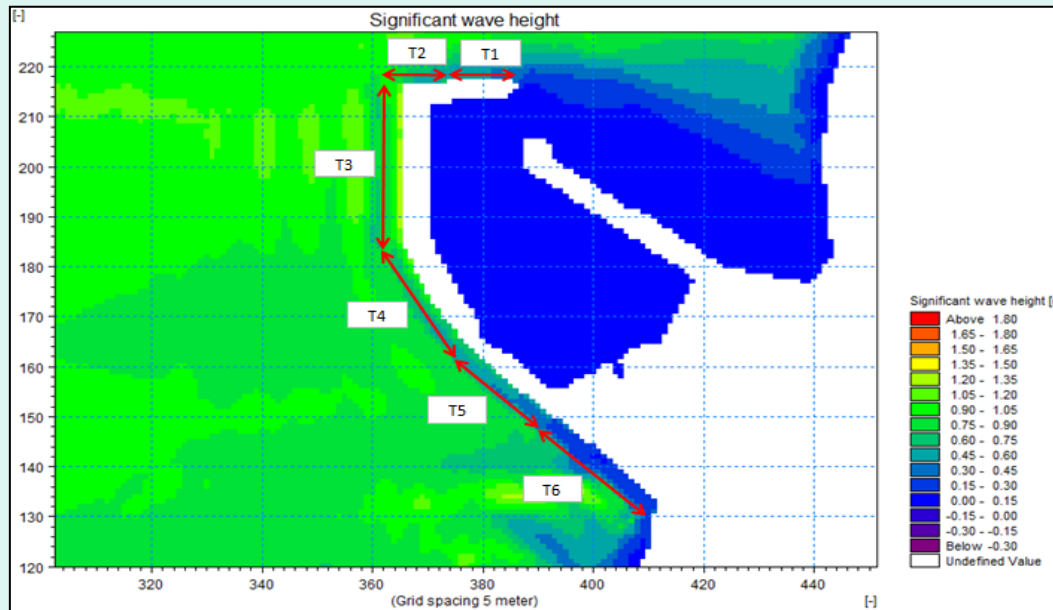


Figura 47: División por tramos rompeolas principal.

✓ Metodologías de caracterización del oleaje al pie del talud.

- Metodología 1: Clima de oleaje medio con el 99% del total de los 30 años de estados de mar propagados desde el sitio de interés hacia la estructura, utilizando los coeficientes de agitación generados en el punto anterior para distintos periodos y direcciones.
- Metodología 2: Utilizando el clima de oleaje extremo, se propagó la altura de ola extrema hacia la estructura utilizando los coeficientes de agitación generados en el punto anterior para distintos periodos y direcciones.

3.- RESULTADOS

✓ Clima de oleaje en zona expuesta del rompeolas principal.

I. Metodología 1: Transferencia de parámetros de resumen desde sitio de interés hasta pie de estructura.

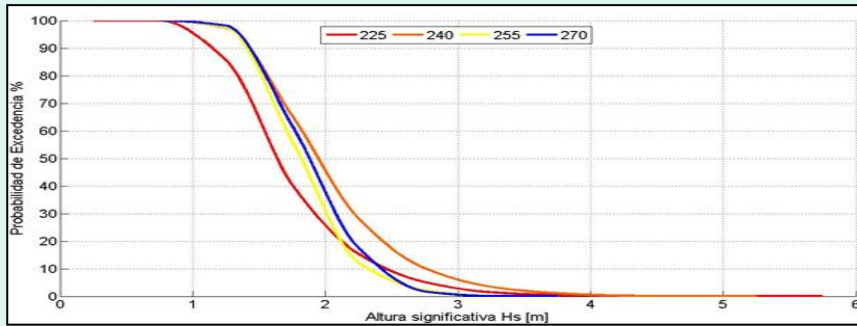


Figura 48: P. de excedencia Tramo 1.

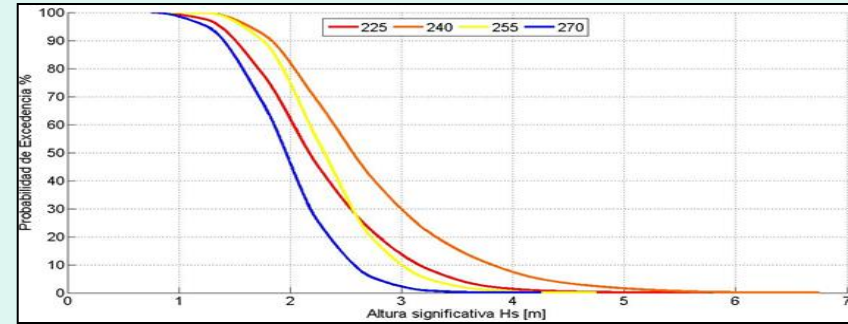


Figura 51: P. de excedencia Tramo 4.

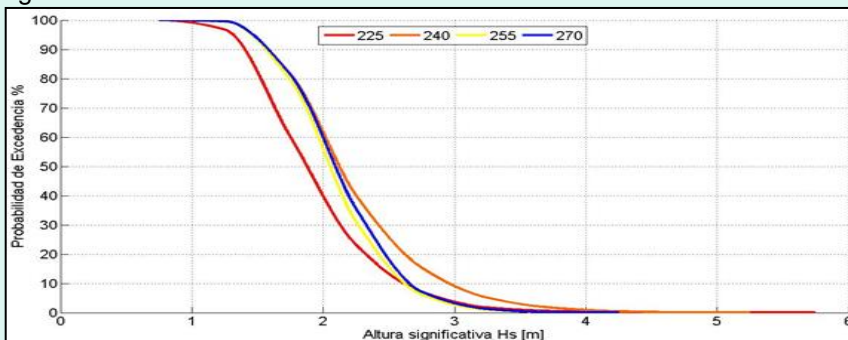


Figura 49: P. de excedencia Tramo 2.

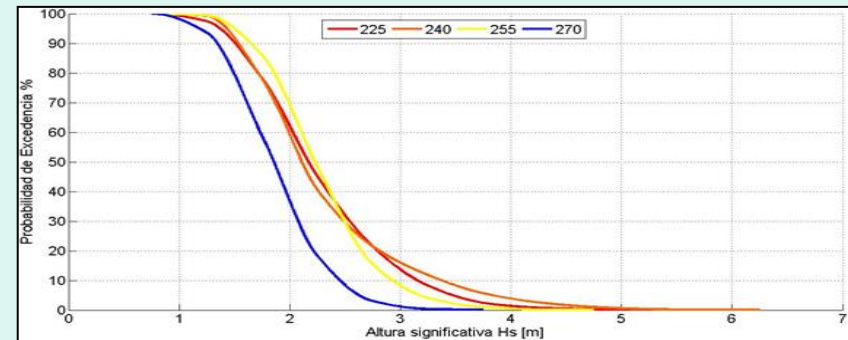


Figura 52: P. de excedencia Tramo 5.

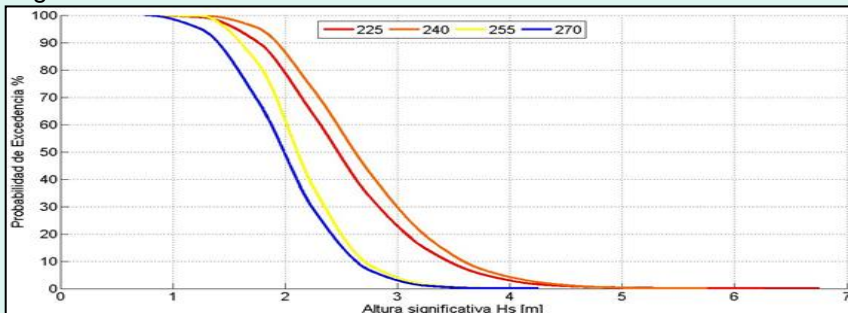


Figura 50: P. de excedencia Tramo 3.

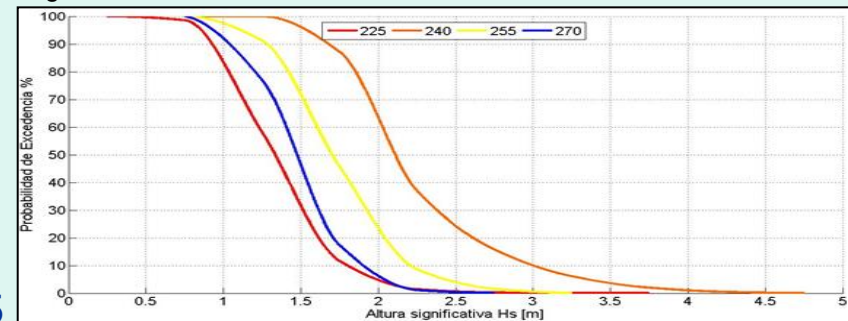


Figura 53: P. de excedencia Tramo 6.

3.- RESULTADOS

✓ Clima de oleaje en zona expuesta del rompeolas principal.

I. Metodología 2: Se transfirió altura de ola extrema hacia el pie del talud del rompeolas.

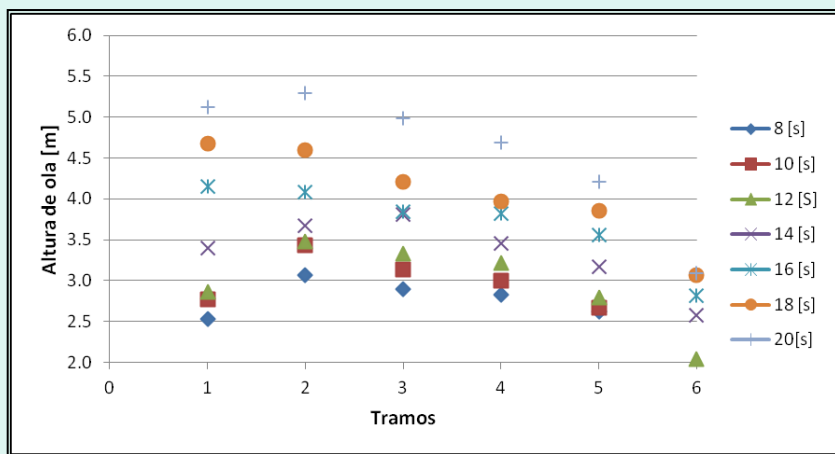


Figura 54: Oleaje extremo pie estructura, dirección 225° .

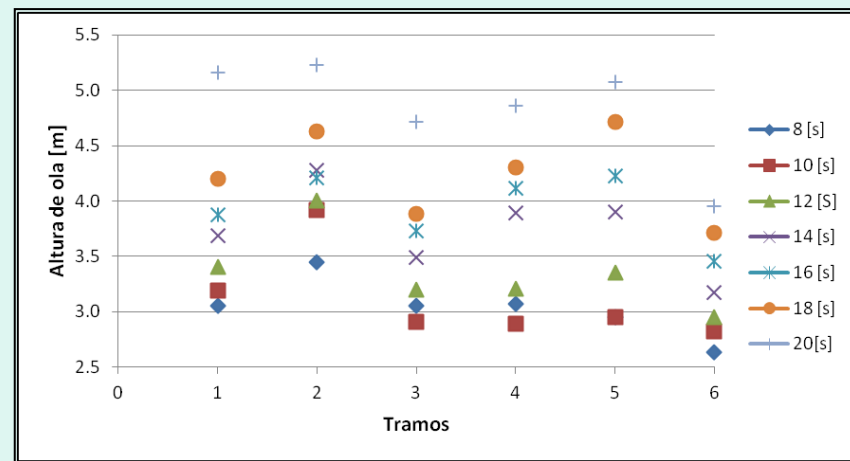


Figura 56: Oleaje extremo pie estructura, dirección 255° .

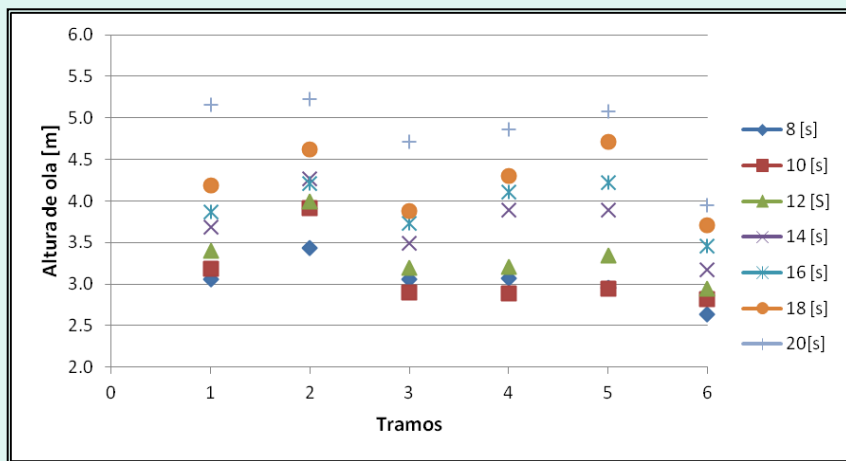
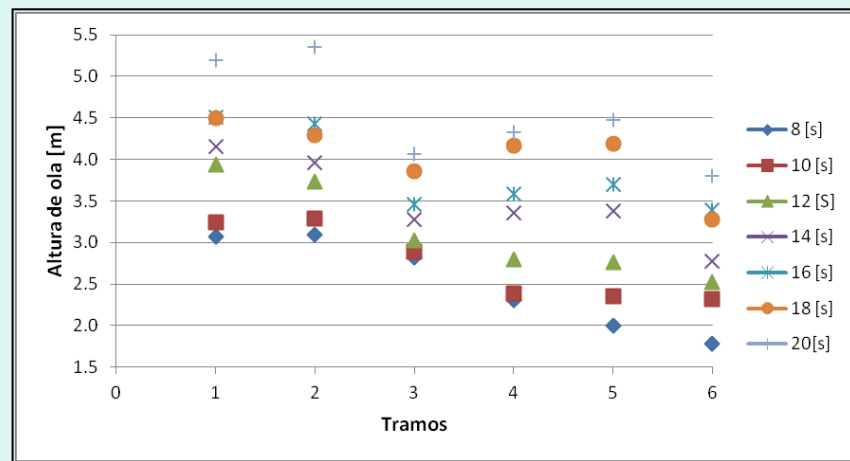


Figura 55: Oleaje extremo pie estructura, dirección 240° .



36 Figura 57: Oleaje extremo pie estructura, dirección 270° .

3.- RESULTADOS

✓ Clima de oleaje en zona expuesta del rompeolas principal: oleaje de diseño.

a) Consideraciones

- I. Periodo del oleaje más frecuente entre los 12 y 16 segundos (73%), por tanto, periodo de diseño será de 16 segundos.
- II. Direcciones más frecuentes SW y WSW, 77% y 18% respectivamente, se considerará que la dirección de diseño es la SW.

Dirección SW - Periodo Peak 16 [s]					
Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
4,2 [m]	4,1 [m]	3,8 [m]	3,8 [m]	3,6 [m]	2,8 [m]
Tramo 11'		Tramo 22'		Tramo 33'	Tramo 44'

Tabla 36: Oleaje de diseño para cada tramo en cuestión.

3.- RESULTADOS

✓ Diseño de la escollera

a) Nivel de diseño

- I. Marea astronómica: se considera utilizar la pleamar más alta 1,67 mNRS.
- II. Efectos de presión atmosférica: se considera +0,22 m, producto de consulta P. Atmos. A Estación Lluta Bajo Agromet.
- III. Efecto del viento: +0,3 m.

$$Z_{DISEÑO} = Z_{AST} + Z_{MPA} + S_{VIENTO} = 2,2 \text{ mNRS.}$$

b) Sobrepaso admisible

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V _{max} (l per m)
Significant damage or sinking of larger yachts; H _{m0} > 5 m	>10	>5,000 – 30,000
Significant damage or sinking of larger yachts; H _{m0} = 3-5 m	>20	>5,000 – 30,000
Sinking small boats set 5-10 m from wall; H _{m0} = 3-5 m Damage to larger yachts	>5	>3,000-5,000
Safe for larger yachts; H _{m0} > 5 m	<5	<5,000
Safe for smaller boats set 5-10 m from wall; H _{m0} = 3-5 m	<1	<2,000
Building structure elements; H _{m0} = 1-3 m	≤1	<1,000
Damage to equipment set back 5-10m	≤1	<1,000

Tabla 37: Criterios sobrepasos medios admisibles (EurOtop II, 2018).

3.- RESULTADOS

✓ Diseño de la escollera

c) Sobrepaso estimado

- I. Se considerará un factor de rugosidad de 0,52 para el caso de las rocas (2 layers)
- II. Factor de rugosidad de 0,5 para el caso de los cubos (2 layers)
- III. Factor de rugosidad de 0,46 para cubípodos (1 layers).
- IV. Se ha determinado inicialmente 2 capas de rocas y 2 capa para cubos y 1 para cubípodos.
- V. Se ha considerado utilizar cotas de coronamiento 5,5 mNRS, 6,0 mNRS y 6,5 mNRS.

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^3}} = 0.1035 * \exp \left[- \left(1.35 \frac{R_c}{H_{m0} * \gamma_f * \gamma_\beta} \right)^{1.3} \right]$$

Para pendientes 1:2 a 1:4/3

q: Caudal de sobrepaso medio por metro lineal de estructura
g: Aceleración de gravedad
H_{m0}: Altura de ola al pie de la obra
R_c: Francobordo¹⁹ del rompeolas
γ_f: Factor de reducción por el tipo de coraza
γ_β: Factor de reducción por el efecto de oblicuidad del oleaje

Para determinar factor de reducción por oblicuidad del oleaje

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0063|\beta| \text{ para } 0^\circ \leq |\beta| \leq 80^\circ$$

Para $|\beta| > 80^\circ$ utilizar $\beta = 80^\circ$.

Beta es el ángulo que forma el frente de oleaje incidente frente a la estructura, en esta casi es 0° por tanto el factor es igual a la unidad.

Tabla 38: Formulación para calculo de sobrepaso espigón simple (EurOtop II, 2018).

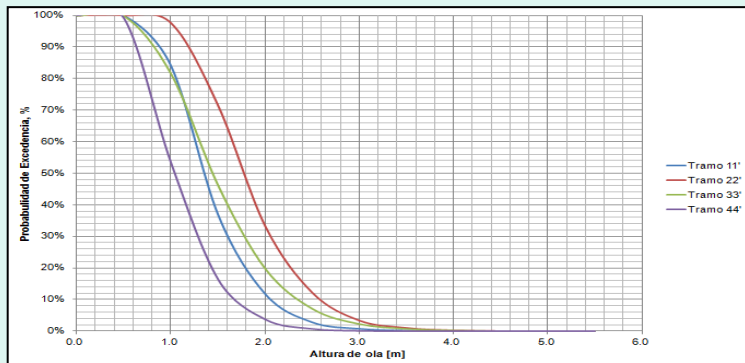


Figura 58: Excedencia 30 años de oleaje al pie de la obra.

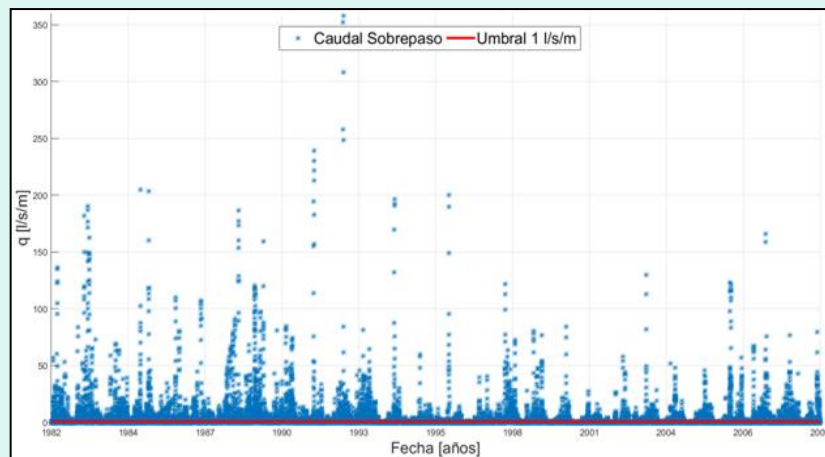


Figura 59: Caudales de sobrepaso Tramo 11 cota +5,5 mNRS Rocas

3.- RESULTADOS

✓ Diseño de la escollera

c) Sobrepasso estimado

Resumen Roca 2 capas	Tramo 11'	Tramo 22'	Tramo 33'	Tramo 44'
Cota 5,5	13,37%	36,80%	21,86%	4,43%
Cota 6,0	6,86%	22,67%	13,36%	1,92%
Cota 6,5	3,34%	13,87%	8,07%	0,85%

Tabla 39: Excedencia caudal sobrepasso admisible Roca.

Resumen Roca 2 capas	Tramo 11'	Tramo 22'	Tramo 33'	Tramo 44'
Cota 5,5	1,33	5,50	3,52	0,30
Cota 6,0	0,57	2,57	1,68	0,11
Cota 6,5	0,25	1,22	0,82	0,04

Tabla 42: Caudal medio de sobrepasso para cada tramo de estructura, elemento Roca. Unidad Q l/sxm.

Resumen Cubo 2 capas	Tramo 11'	Tramo 22'	Tramo 33'	Tramo 44'
Cota 5,5	10,91%	31,64%	18,79%	3,35%
Cota 6,0	5,09%	18,91%	11,05%	1,41%
Cota 6,5	2,47%	10,88%	6,38%	0,60%

Tabla 40: Excedencia caudal sobrepasso admisible Cubo.

Resumen Cubo 2 capas	Tramo 11'	Tramo 22'	Tramo 33'	Tramo 44'
Cota 5,5	1,00	4,27	2,75	0,21
Cota 6,0	0,41	1,93	1,27	0,08
Cota 6,5	0,18	0,89	0,60	0,03

Tabla 43: Caudal medio de sobrepasso para cada tramo de estructura, elemento Cubos. Unidad Q l/sxm.

Resumen Cubípodo 1 capas	Tramo 11'	Tramo 22'	Tramo 33'	Tramo 44'
Cota 5,5	7,20%	23,50%	13,81%	2,00%
Cota 6,0	3,17%	13,33%	7,74%	0,80%
Cota 6,5	1,45%	6,85%	4,15%	0,30%

Tabla 41: Excedencia caudal sobrepasso admisible Cubípodo.

Resumen Cubípodo 1 capas	Tramo 11'	Tramo 22'	Tramo 33'	Tramo 44'
Cota 5,5	0,60	2,70	1,76	0,12
Cota 6,0	0,23	1,15	0,77	0,04
Cota 6,5	0,09	0,50	0,35	0,01

Tabla 44: Caudal medio de sobrepasso para cada tramo de estructura, elemento Cubípodos. Unidad Q l/sxm.

3.- RESULTADOS

✓ Diseño de la escollera

d) Estabilidad del enrocado

I. Elementos tipo Roca: Van der Meer 1998(*Pag38Doc) oleaje en aguas poco profundas, teniendo en cuenta lo siguiente, pendiente 1/2 (V/H).

- Densidad de la roca: 2.700,0 [kg/m³]
- Densidad de agua de mar: 1.025,0 [kg/m³]
- Pendiente del talud: 1/2 (V/H)
- Nivel de daños: Inicio de averías mínimo
- Número olas de tormentas: 3.000
- Permeabilidad: 40%
- Tipo de ola: Plunging & Surging
- 2 Capas de rocas

Olas tipo *plunging*

$$\frac{H_{2\%}}{\Delta D_{n50}} = 8,7 p^{0,18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0,2} \xi_m^{-0,5}$$

Olas tipo *surging*

$$\frac{H_{2\%}}{\Delta D_{n50}} = 1,4 p^{-0,13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0,2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^p$$

P: factor de permeabilidad notacional

S: nivel de daños

N: número de olas (duración de la tormenta)
*H*_{2%}: altura de ola excedida por un 2% en el pie de la estructura
 según una distribución del tipo R se considera como 1,39*H*_s

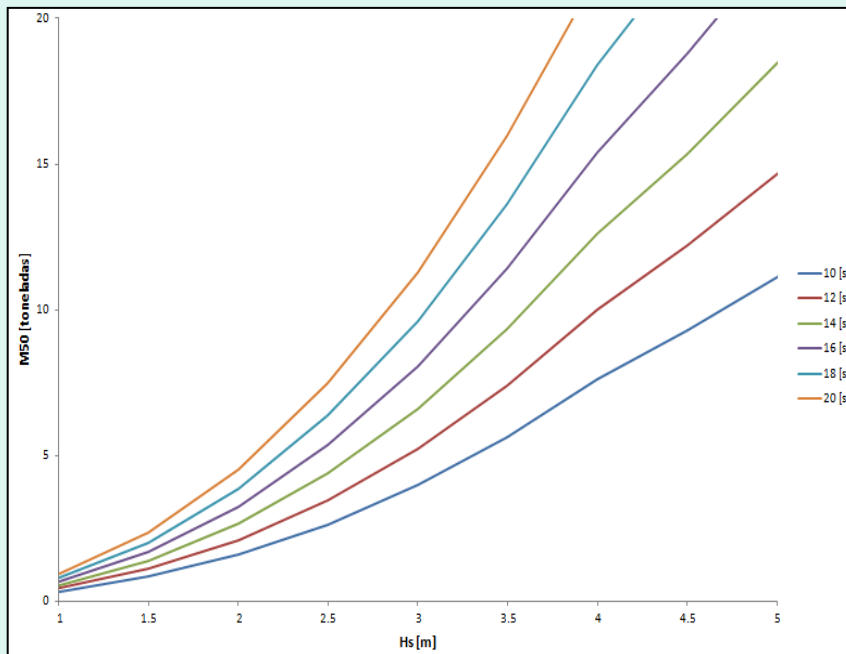


Figura 60: M50 Van der Meer 1998, roca, ola Plunging.

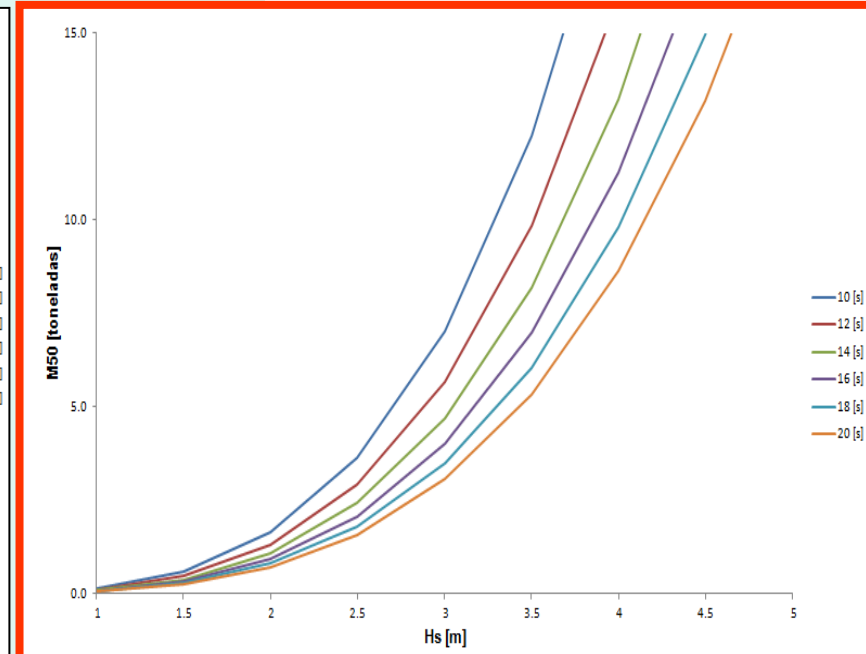


Figura 61: M50 Van der Meer 1998, roca, ola Surging.

3.- RESULTADOS

✓ Diseño de la escollera

d) Estabilidad del enrocado

II. Elementos tipo Cubo: Van der Meer 1998 dos capas y estructura sin rebase, considerando una pendiente de $\frac{1}{2}$ (V/H).

- Altura de la ola al pie de la obra
- Densidad del hormigón: 2.400,0 $[kg/m^3]$
- Densidad de agua de mar: 1.025,0 $[kg/m^3]$
- Pendiente del talud: 1/2 (V/H)
- Nivel de daños: Inicio de averías mínimo
- Número olas de tormentas: 3.000,0
- Permeabilidad: 40%
- 2 Capa de este elemento

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(\frac{6.7 N_{od}^{0.4}}{N_z^{0.3}} + 1.0 \right) s_m^{-0.1} \quad (\text{Ec. 4-36})$$

H_s : altura de ola al pie de la obra

$$\Delta: \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1$$

N_z : número de olas

N_{od} : número de unidades desplazadas fuera de la coraza en un ancho de banda de al menos un D_n
 s_m : esbeltez de la ola

La formulación propuesta anteriormente es válida para oleaje sin rotura, irregular y pendiente del talud de 1:1.5, con un parámetro de Iribarren entre $3 < \xi_m < 6$.

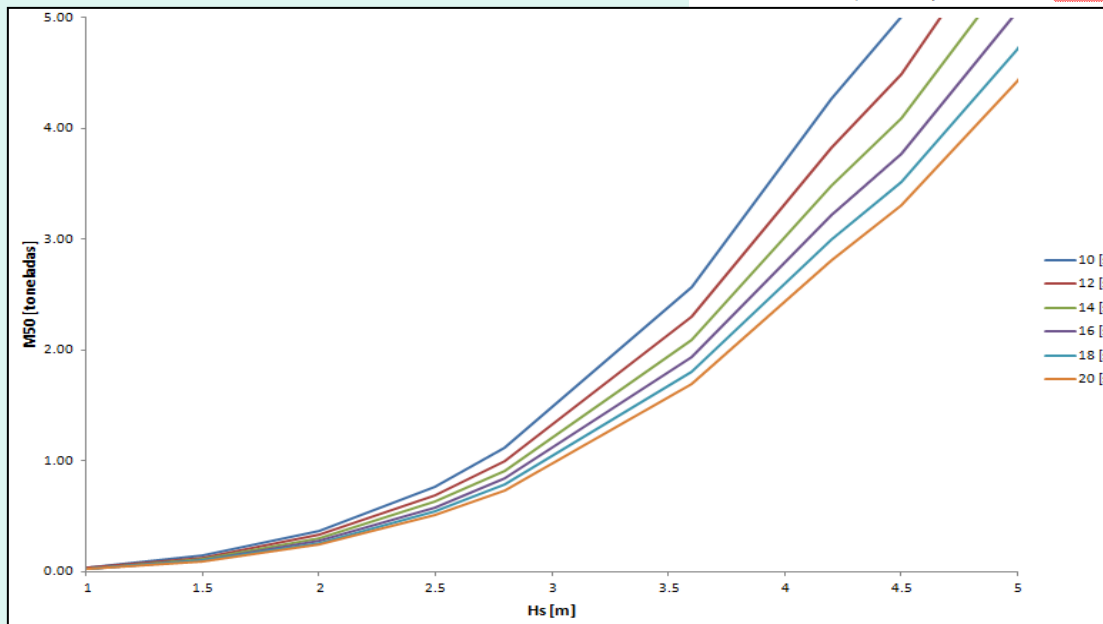


Figura 62: M50 Van der Meer 1998b elementos tipo cubos.

3.- RESULTADOS

✓ Diseño de la escollera

d) Estabilidad del enrocado

III. Elementos tipo Cubípodos: Hudson 1974, pendiente de $\frac{1}{2}$ (V/H).

• Altura de la ola al pie de la obra

• Densidad del hormigón: $2.350,0 [kg/m^3]$

• Densidad de agua de mar: $1.025,0 [kg/m^3]$

• Pendiente del talud: 1/2 (V/H)

• Nivel de daños: Inicio de averías mínimo

Coefficiente de estabilidad para tronco

• Una capa: 12,0

• Dos capas: 28,0

Coefficiente de estabilidad para cabeza

• Una capa: 5,0

• Dos capas: 7,0

$$W = \frac{1}{K_D} * \frac{H^3}{\left(\frac{W_r}{W_w} - 1\right)} * \frac{W_r}{\text{Cot } \alpha}$$

W: masa del elemento

K_D: coeficiente de estabilidad

W_r: peso específico de la roca (en este caso Hormigón)

W_w: peso específico del agua

Cot α: pendiente de la estructura proyectada

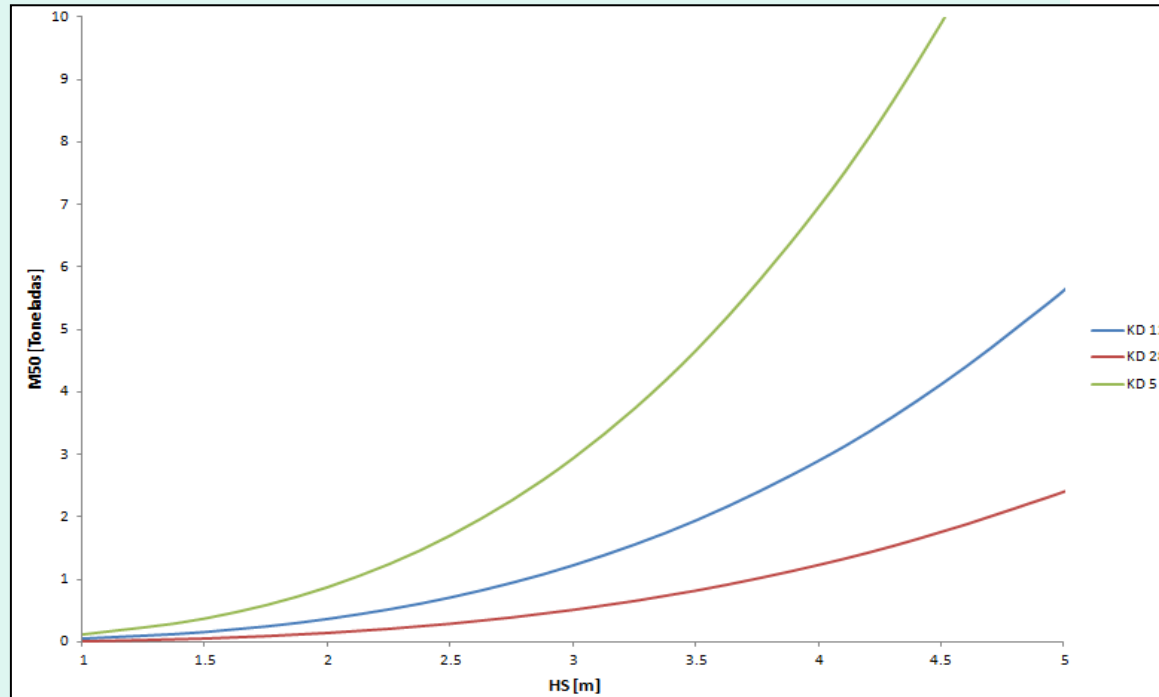


Figura 63: M50 Hudson (1974) elementos tipo cubípodos.

3.- RESULTADOS

✓ Diseño de la escollera

d) Estabilidad del enrocado

III. Resumen de los elementos considerados

Consideraciones de diseño especiales

Para el proceso constructivo y de factibilidad económica, es necesario considerar lo siguiente:

- Pago de Royalty para el caso de elementos pre-fabricados cubípodos.
- Considerar que p.ej: para los cubípodos entregarán planos con especificaciones técnicas de los elementos, los cuales contienen las características técnicas del encofrado.
- Valor del hormigón necesario para la fabricación de los elementos.
- Considerar logística, desde la fabricación del elemento hasta el transporte.
- En el caso de los elementos tipo roca, es necesario considerar la disposición geográfica de la cantera más cercana, además de la factibilidad de explotación de los tamaños calculados.
- Costos por explotación de tamaños uniformes y no uniformes de rocas.
- Izado, transporte y colocación de los elementos, tanto prefabricados como del tipo roca de cantera.
- Desplazamiento de la grúa oruga y de camiones de 20 a 40 toneladas de carga sobre la estructura y sitios aledaños al proyecto.
- Sitio de acopio, verificar la factibilidad de instalación de faenas.

Anexo 2: EETT.

Tronco	Cubípodos	Roca Cantera	
	Coraza	Filtro	Núcleo
W50	4 [ton]	0,68 [ton]	0,02 [ton]
D50	1,19 [m]	1,2 [m]	-
Volumen	1,7 [m3]	-	-
Porosidad	42%	-	-
Rango W50	-	500 - 900 [kg]	15 - 25 [kg]

Tabla 45: Tamaño de elementos Tronco.

Cabezo	Cubípodos	Roca Cantera	
	Coraza	Filtro	Núcleo
W50	10 [ton]	1 [ton]	0,05 [ton]
D50	1,62 [m]	1 [m]	-
Volumen	4,7 [m3]	-	-
Porosidad	43%	-	-
Rango W50	-	750 - 1250 [kg]	37,5 - 62,5 [kg]

Tabla 46: Tamaño de elementos Cabezo.

$$B = nK_{\Delta} \left(\frac{W}{w_a} \right)^{1/3}$$

Donde:

B : Ancho de la cresta

n : Número de piezas (se recomienda utilizar un mínimo de 3 elementos)

K_{Δ} : Coeficiente característico del material de la capa de coraza a utilizar

W : Masa de la unidad de coraza considerada

w_a : Peso específico de la unidad de coraza considerada

La Berma calculada corresponde a un tamaño suficiente para permitir el ingreso de camiones de alto tonelaje y de grúa oruga sobre la cresta del rompeolas, con el fin de generar una zona adecuada para el correcto desempeño en la etapa de construcción de la estructura. Por tanto, con el fin de optimizar el proceso de colocación de los elementos, en su etapa constructiva, y teniendo en cuenta el tamaño de grúas tipo oruga y camiones de 20 a 40[ton] de carga, se considerará un ancho de berma uniforme de 5,0[m] en toda la extensión de la estructura.

4.- CONCLUSIONES

•Con respecto a la metodología alternativa propuesta para la calibración, se ha concluido que efectivamente genera condiciones de mejora en la comparación dato a dato en el sitio de interés, donde se midió junto a los valores registrados por el ADCP en la campaña de terreno en el sector de estudio. Los datos de aguas profundas fueron modificados en no más de un 5 a 10%, sin generar grandes cambios en ellos pudiendo ser revisado en la comparación realizada entre las tablas de incidencia entre los datos originales y los modificados.

•Para el presente punto es necesario poner en la mesa que la ola de diseño máxima fue calculada como 4,2 metros. En cuanto a las metodologías propuestas para la obtención del oleaje de diseño al pie del talud de la estructura, se concluye que ambas fueron utilizadas en forma activa. Recordar que la Metodología 1 (se llevaron los 30 años de oleaje al pie de la estructura) fue necesaria para definir que la ola de diseño posee valores de excedencia menores al 20% para todos los Tramos. En cuanto a la Metodología 2 (se transfirió la ola extrema desde S. de I. hasta el pie de la obra) se utilizó para determinar las condiciones de diseño de la estructura en cada uno de sus tramos.

•La elección de los elementos estructurales fue de acuerdo al análisis logístico y operacional mencionado por las consultoras R. Pey y OHL (Cubipods). Donde efectivamente la razón o coeficiente de estabilidad K_d de los cubípodos es realmente mayor a los otros elementos estudiados proporcionando la misma estabilidad a 1/3 de la masa con respecto a las Rocas, además de una alta trabazón entre elementos del enrocado.

5.- DISCUSIONES

[Ir a Fotos](#)

•**Desarrollo del clima de oleaje extremo en el sitio de interés del proyecto:** SHOA 3201 recomienda realizarlo en aguas profundas con máximo anual, POT, etc., técnicas que implican llevar esa ola hacia la zona de estudio. **Contrapuestas:** Determinación de valores extremos de oleaje: a partir del análisis en aguas profundas y en aguas someras (Cárdenas, Gómez, Serrano – SIOP 2014) y Eventos extremos de oleaje para diseño de obras, ¿evaluar en aguas profundas o en el sitio? (Molina SIOP 2016). Ambas propuestas incurren en la realización del oleaje extremo en el sitio de interés debido a que existen efectos locales y de multi-modalidad (oleaje en Chile) que no son considerados si es que se traslada una ola extrema desde aguas profundas hasta la zona de estudio.

•**Marejadas Julio 2013 y Agosto 2015:** la data utilizada (1980 y 2009) no consideró estas marejadas, es por esto que se analizaron de forma aislada, evaluadas en el mismo sector (Quiane – Ensenada San Martín).

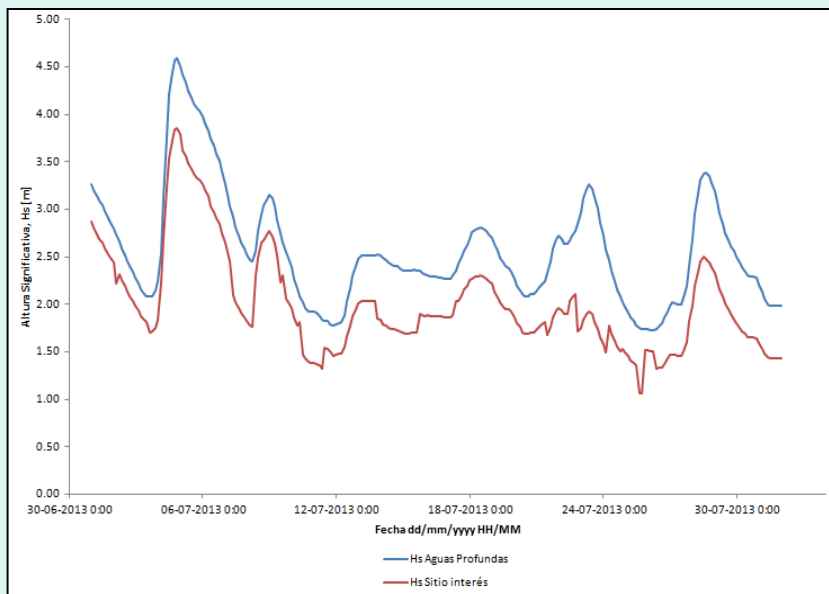


Figura 64: Marejada julio 2013, oleaje en aguas profundas y someras.

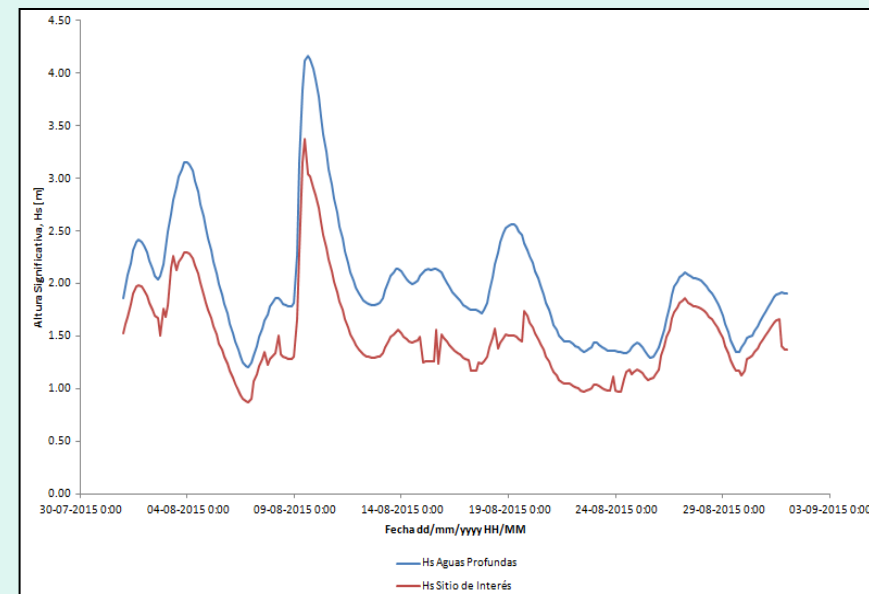


Figura 65: Marejada agosto 2015, oleaje en aguas profundas y someras.

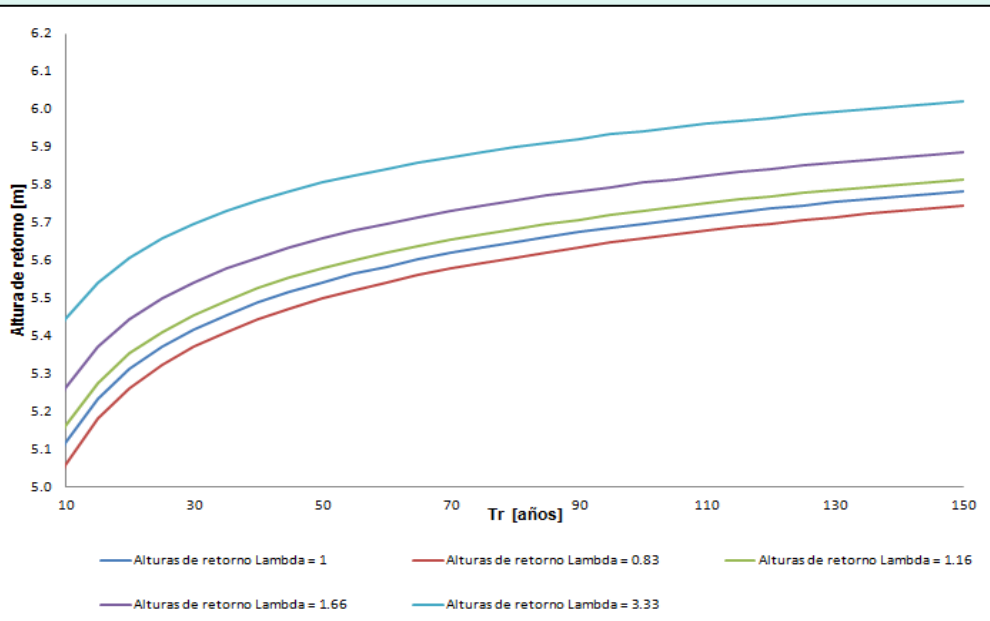
5.- DISCUSIONES

- **Periodo de retorno y altura de ola de retorno:** Factor Lambda, el cual independientemente de l factor de forma y distribución escogida, define en sí como será el T_r y H_r . Se analizará Weibull:

$$\lambda = \frac{\text{número de olas extremas}}{\text{número de años de la muestra}}$$

$$x^T = A \left(-\ln \left(\frac{1}{\lambda T} \right) \right)^{\frac{1}{k}} + B \quad \text{Weibull}$$

Por lo tanto se propone realizar un análisis del Lambda con dos metodologías: a) Análisis extremo con máximo anual, 30 años 30 olas. Y b) POT suponiendo una data con 30 años y 25 olas extremas (L=0,85), 35 olas extremas (L=1,16), 50 olas extremas (L=1,66) y 100 olas extremas (L=3,33).



Como dato, la altura de ola “registrada” como la más grande fue: 5,5 m, 18,2 s y SW(219). La ola extrema en el SI fue 4,7 m, 18,2 s y SW (231).

Entonces si analizamos todos los casos, obtenemos distintos periodos de retorno para una misma altura de ola. Por lo tanto ¿Qué usamos, POT, Máximo anual, etc.?, si nos fijamos...para un lambda 1 a una ola de 5,5 m TR es de 35 y 55 años, para L =3,33 TR=15 años. ¿Cuál debiese ser el periodo de retorno para las estructuras marítimas en nuestro país?

Campos (2016) en su estudio indica que no debiese ser mayor a 50 años, TR que sostuvieron las marejadas más destructivas en nuestro país.

Figura 66: Ejercicio de alturas olas de retorno.

GRACIAS POR SU ASISTENCIA
Y ATENCIÓN

ANEXOS

ANEXO 1: Caudales de sobrepaso Tramo 11'

[Volver](#)



ANEXO 3: Fotografías marejadas 2013 y 2015 Arica.

[Volver](#)



Playa Brava 2013



El Laucho 2013



Sector Norte Puerto Arica 2015



El Buey 2015

ANEXO 4: Aerofotogrametría realizada por el autor Dic. 2018.

[Volver](#)