

EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD EN EL DISEÑO DE OBRAS MARÍTIMAS CONDICIONADAS POR LA ACCIÓN DEL OLEAJE, UNA APLICACIÓN A DEFENSAS COSTERAS

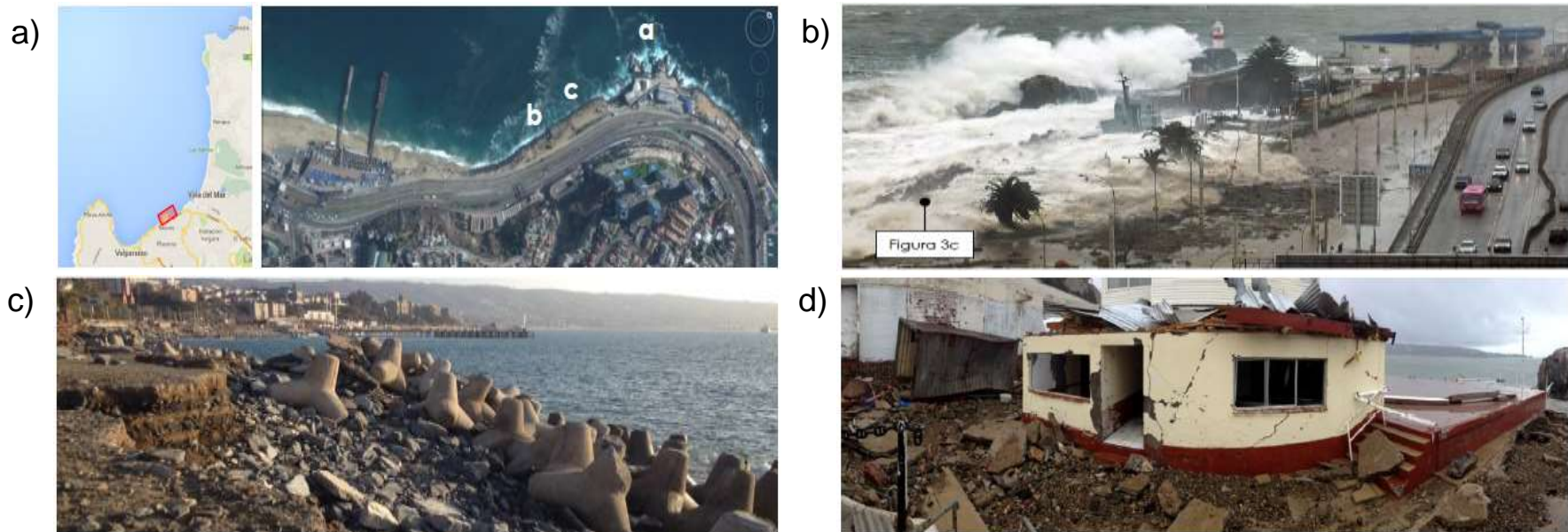
NELSON ANDRÉS MOLINA VARGAS

Valparaíso, Mayo 2022

INTRODUCCIÓN

Una obra marítima debe ser fiable, funcional y operativa durante el tiempo en que vaya a permanecer en servicio (ROM 0.2-90, 1990).

Estas características sin embargo, no siempre se cumplen, en gran medida por la ocurrencia de eventos extremos cuyos impactos significativos a las estructuras marítimas provocan daños de gran envergadura.



INTRODUCCIÓN



El presente proyecto propone una caracterización de los principales factores que influyen en el diseño de una obra de abrigo, a través de análisis de sensibilidad que cuantifiquen, mediante distintos escenarios, el grado de incidencia que tiene la calidad de la información empleada en el resultado final de un diseño de obras costeras.

OBJETIVOS

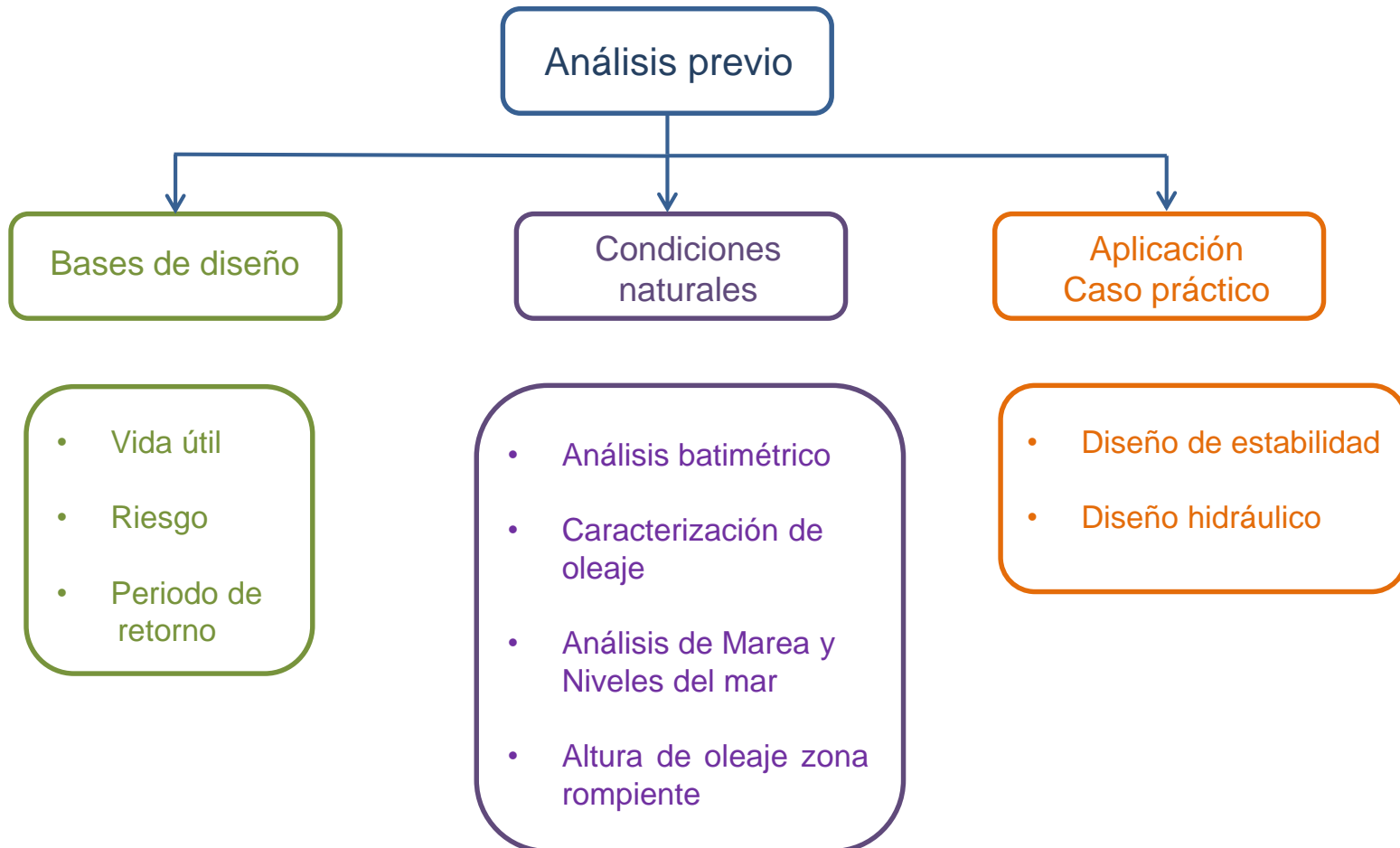


Evaluar la sensibilidad de un diseño de obras marítimas condicionada por la acción del oleaje, mediante un análisis de la información disponible y a las metodologías que se empleen en el proceso.

En cuanto a los objetivos específicos estos son:

- Identificar y seleccionar, a través de una recopilación de información, las etapas comunes que poseen los proyectos de obras marítimas.
- Analizar y evaluar los parámetros y metodologías de diseño que poseen en común las etapas escogidas como objeto de estudio.
- Cuantificar la importancia de cada parámetro y etapa de diseño mediante diferentes escenarios para el diseño de una misma obra.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



METODOLOGÍA Y RESULTADOS



BASES DE DISEÑO

Vida útil

- Escenario 1: Infraestructura de carácter industrial específico.
Vida útil 5 años.
- Escenario 2: Infraestructura de carácter general nivel 1.
Vida útil 25 años.

Riesgo

Periodo de
retorno

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



BASES DE DISEÑO

Vida útil

Riesgo

- Escenario 1 : Riesgo R= 20%.
- Escenario 2 : Riesgo R= 40%.

Periodo de
retorno

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



BASES DE DISEÑO

Vida útil

Riesgo

Periodo de
retorno

- Escenario 1: Con vida útil de 5 años y un riesgo $R= 0.2$.
Periodo de retorno estimado en $Tr = 25$ años.
- Escenario 2: Con vida útil de 25 años y un riesgo $R= 0.4$.
Periodo de retorno estimado en $Tr = 50$ años.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Análisis
batimétrico

- Construcción de batimetrías.
- Análisis comparativo.
- Efectos de la densidad batimétrica en la propagación de oleaje.

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

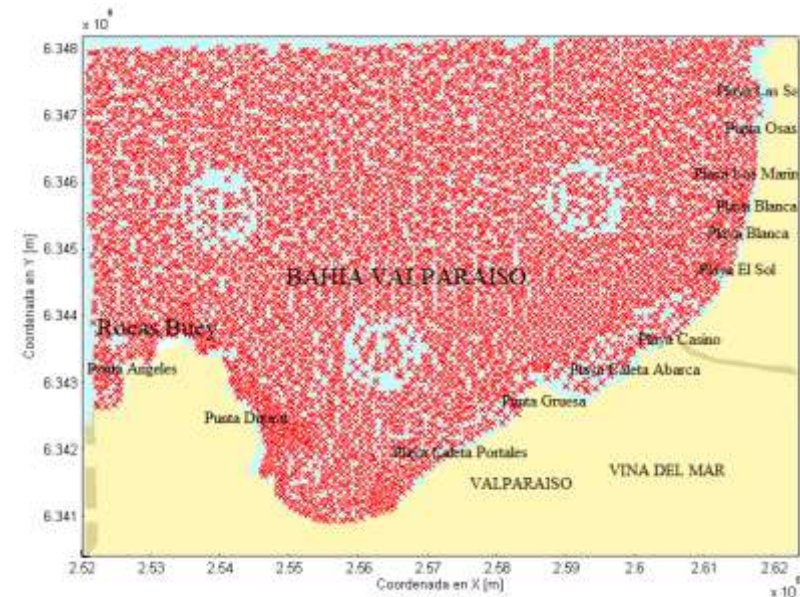
CONDICIONES NATURALES

Construcción de batimetrías

Análisis batimétrico



Información batimétrica utilizada para la construcción de la Batimetría Modificada.



Información batimétrica utilizada para la construcción de la Batimetría Completa.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Análisis
batimétrico

- Construcción de batimetrías.
- Análisis comparativo.
- Efectos de la densidad batimétrica en la propagación de oleaje.

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

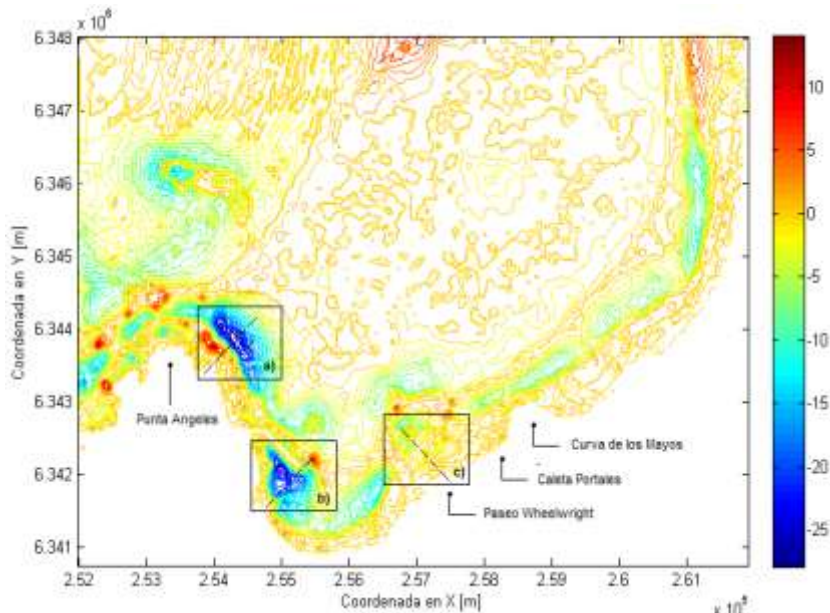
Altura oleaje
zona rompiente

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

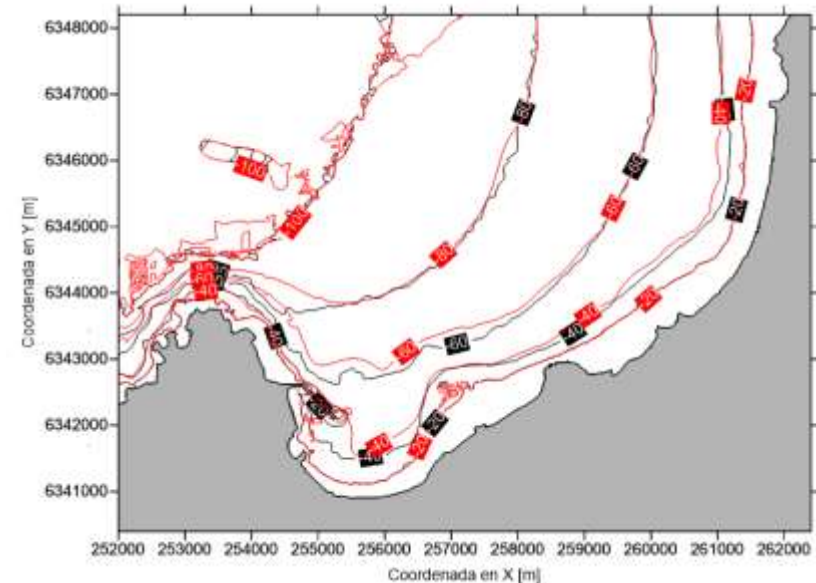
CONDICIONES NATURALES

Análisis comparativo

Análisis batimétrico



Diferencias de profundidades en [m], Batimetría Modificada y Batimetría Completa.



Mapa comparativo de veriles cada 20 [m]. En rojo la información de la Batimetría Modificada, en negro los veriles asociados a la Batimetría Completa.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

**Análisis
batimétrico**

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Construcción de batimetrías.
- Análisis comparativo.
- Efectos de la densidad batimétrica en la propagación de oleaje.

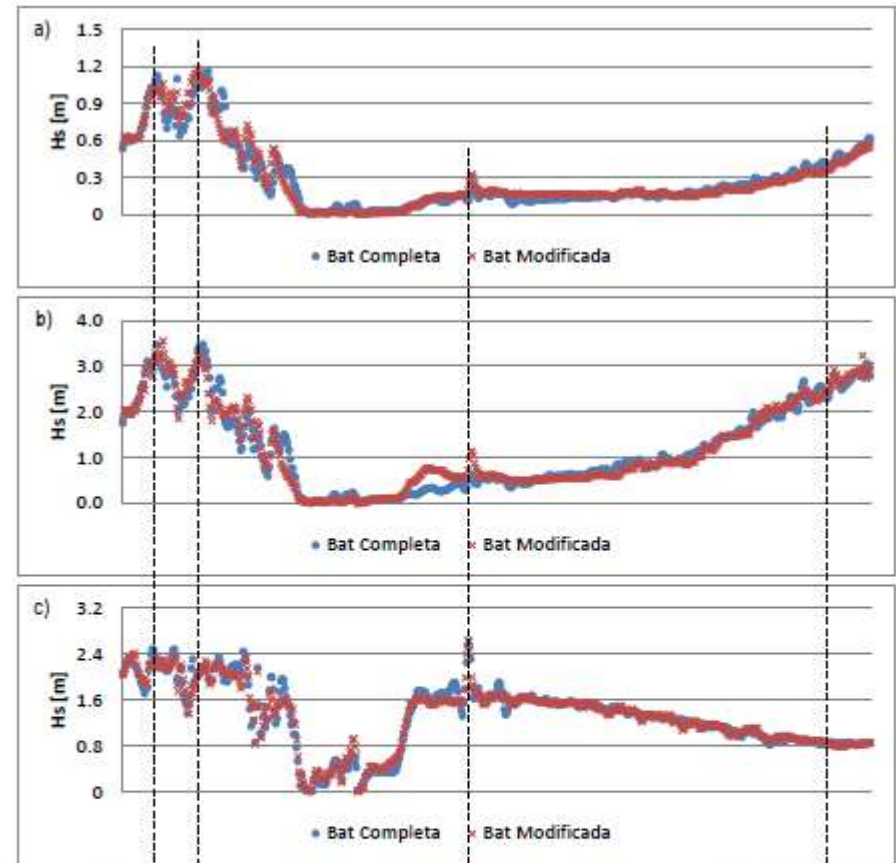
METODOLOGÍA Y RESULTADOS

CONDICIONES NATURALES

Análisis batimétrico

Efectos de la densidad batimétrica en la propagación de oleaje

- Series de altura de ola a lo largo de la costa para veril de los 20 [m]. Direcciones SW (arriba), WSW (centro) y NNW (abajo). En marcadores azules la Batimetría Completa, en rojo la Batimetría Modificada.
- Se observa, que en el sector 1 y 2 se concentran los valores máximos de dos series, esto, debido a la exposición que posee la zona a las direcciones incidentes.
- Los registros mínimos se obtienen en zonas interiores al molo de abrigo, por lo que no se tomó en consideración como sector relevante debido al grado de protección que esta estructura brinda al oleaje.



METODOLOGÍA Y RESULTADOS

CONDICIONES NATURALES

Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Clima medio de oleaje en aguas profundas.
- Clima extremo de oleaje en aguas profundas.
- Transferencia de oleaje.
- Clima medio de oleaje en sitio de interés.
- Clima extremo de oleaje en sitio de interés.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

CONDICIONES NATURALES

Caracterización de oleaje

Clima medio de oleaje en aguas profundas

- Se observa, que las alturas de 2.0 a 2.5 [m] es el mayor rango de ocurrencia para una combinación de periodos entre los 13 a 14 [s] con un 8.21 % del total general.
- El régimen de oleaje proviene en su mayoría del tercer cuadrante, prevaleciendo como incidencia la dirección SW.

Altura Hs [m]	Periodo									% Ocurrencia
	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	16-17	17-18	
0.5-1	0.01	0.04	0.06	0.15	0.22	0.15	0.12	0.06	0.03	0.83
1-1.5	0.06	0.26	0.81	1.80	2.45	2.30	1.46	0.72	0.34	10.18
1.5-2	0.23	0.46	1.16	3.61	6.78	6.40	3.52	1.65	0.69	24.49
2-2.5	0.38	0.35	0.74	2.69	6.81	8.21	4.25	1.81	0.62	25.87
2.5-3	0.57	0.45	0.41	1.04	3.88	6.61	4.76	1.44	0.33	19.50
3-3.5	0.56	0.40	0.17	0.28	1.21	2.99	3.38	1.25	0.19	10.44
3.5-4	0.10	0.20	0.11	0.07	0.25	0.84	1.37	0.77	0.11	3.82
4-4.5	0.01	0.04	0.03	0.01	0.02	0.12	0.28	0.27	0.09	0.87
4.5-5		0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.08	0.08	0.02	0.23
5-5.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.06
5.5-6		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
6-6.5		0.00	0.00	0.00		0.00			0.00	0.01
>6.5							0.00			0.00
% Ocurrencia	1.92	2.21	3.51	9.67	21.63	27.63	19.24	8.07	2.43	100%

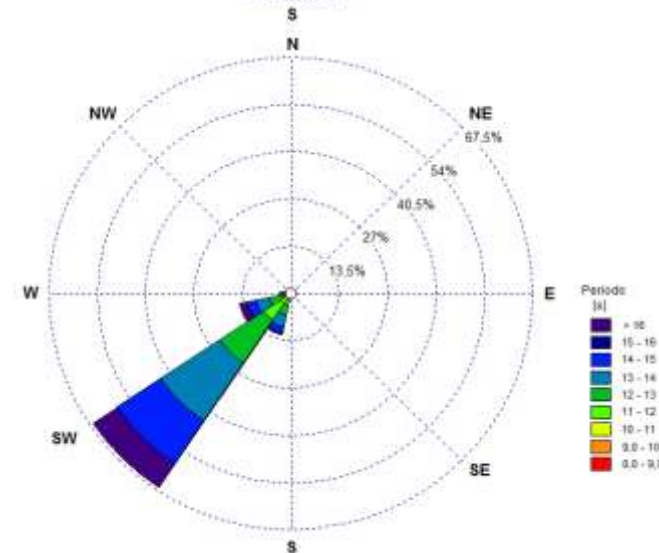
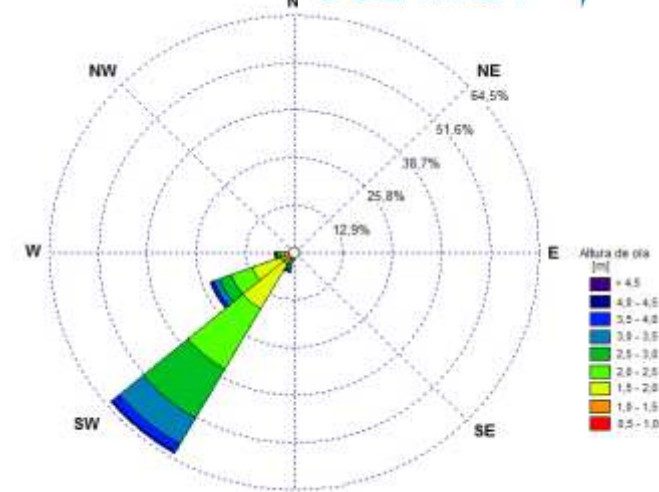


Tabla de incidencia conjunta de altura vs periodo y rosas de oleaje de dirección vs altura (arriba) y dirección vs periodo (abajo).

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Clima medio de oleaje en aguas profundas.
- Clima extremo de oleaje en aguas profundas.
- Transferencia de oleaje.
- Clima medio de oleaje en sitio de interés.
- Clima extremo de oleaje en sitio de interés.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



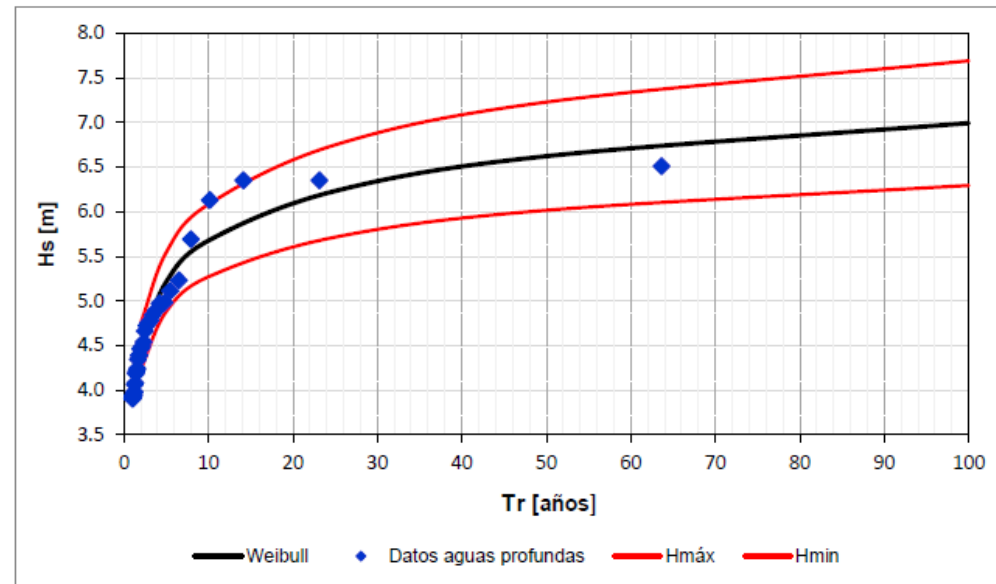
CONDICIONES NATURALES

Caracterización de oleaje

Clima extremo de oleaje en aguas profundas

- El cuarto cuadrante se consideró con direcciones incidentes desde los 270° a los 359° , definiendo un umbral de 3.90 [m].
- Se seleccionaron un total de 36 eventos extremos. Método de ajuste Weibull – Goda.

Tr [años]	Hs [m]	Hs min [m]	Hs máx [m]
2	4.49	4.23	4.75
5	5.21	4.88	5.54
10	5.68	5.27	6.08
25	6.23	5.72	6.75
50	6.62	6.02	7.23
100	7.00	6.30	7.69



METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Clima medio de oleaje en aguas profundas.
- Clima extremo de oleaje en aguas profundas.
- Transferencia de oleaje.
- Clima medio de oleaje en sitio de interés.
- Clima extremo de oleaje en sitio de interés.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

CONDICIONES NATURALES

Transferencia de oleaje

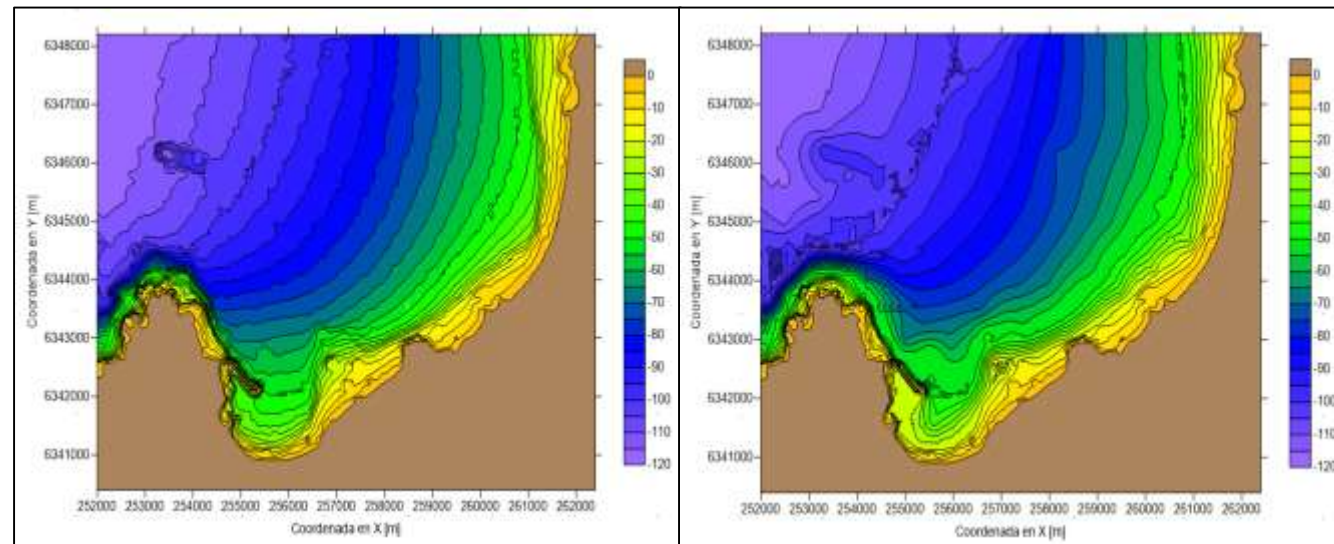
Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Los resultados de la transferencia de oleaje se obtuvieron utilizando el modelo numérico SWAN, junto a las mallas batimétricas “Completa” y “Modificada”.



Batimetría Completa.

Batimetría Modificada.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Transferencia de oleaje

Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Transferencia parámetros cuarto cuadrante.
- Transferencia de oleaje al sitio de interés.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

CONDICIONES NATURALES

Transferencia de oleaje

Transferencia parámetros cuarto cuadrante

Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Se seleccionaron las alturas de ola de diseño asociadas a los periodos de retorno de 25 y 50 años.
- Se realizó la propagación hasta dos nodos de control a una profundidad de 20 [m], ubicados específicamente en un lugar de la costa donde se planteó la aplicación del caso práctico.



Ubicación Nodos de Control en aguas someras, frente al paseo Juan de Saavedra.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Transferencia de oleaje

Transferencia parámetros cuarto cuadrante

- Al propagar los parámetros de aguas profundas con una dirección NW, las alturas obtenidas con la Batimetría Modificada son mayores que las obtenidas con la Batimetría Completa, alcanzando una diferencia máxima de hasta 0.13 [m].
- Por otra parte, al propagar los parámetros con dirección NNW, los resultados obtenidos en el nodo de control no confirman tales diferencias.

Aguas profundas					Batimetría Completa			Batimetría Modificada					
Tr [años]	H'0 [m]	Cuadrante	Dirección	T [s]	H s [m]	T [s]	Dirección	H s [m]	T [s]	Dirección			
25	6.23	IV	NW	10	3.49	10	312.84	3.56	10	311.9			
				11	5.41	11	312.81	5.52	11	311.9			
				12	5.06	12	312.34	5.17	12	311.3			
				13	4.61	13	311.8	4.73	13	310.5			
				14	4.46	14	311.5	4.58	14	310.1			
				NNW	10	1.04	10	308.1	1.04	10	307.0		
					11	1.62	11	308.1	1.62	11	306.9		
					12	1.52	12	307.8	1.52	12	306.5		
			+ 1 cm		1.40	13	307.6	1.39	13	306.0			
			+ 2 cm		1.36	14	307.4	1.34	14	305.8			
			10		3.71	10	312.8	3.78	10	311.9			
			50	6.62	IV	NW	11	5.75	11	312.8	5.87	11	311.9
							12	5.37	12	312.3	5.49	12	311.3
							13	4.90	13	311.8	5.02	13	310.5
14	4.74	14					311.5	4.87	+ 13 cm				
NNW	10	1.11				10	308.1	1.11	10	307.0			
	11	1.72				11	308.1	1.72	11	306.9			
	+ 1 cm	1.62				12	307.8	1.61	12	306.5			
	+ 2 cm	1.49				13	307.6	1.47	13	306.0			
	+ 2 cm	1.45				14	307.4	1.43	14	305.8			

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Transferencia de oleaje

Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Transferencia parámetros cuarto cuadrante.
- Transferencia de oleaje al sitio de interés.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Transferencia de oleaje

Transferencia parámetros sitio de interés

- Diferencias de las matrices de transformación entre la Batimetría Modificada y Batimetría Completa para el Nodo de Control 1.
- Valores positivos, indican que los coeficientes resultantes de la Batimetría Modificada son mayores a los obtenidos de la Batimetría Completa.
- Los resultados de una y otra batimetría, permite inferir, que en el Nodo de Control 1, el mayor oleaje se obtendrá producto de la utilización de la Batimetría Modificada en la propagación hacia el sitio de interés.

Tp / Dir	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
6					0.000	0.000		0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.001	0.000	-0.011
8	0.000	0.001	0.002	0.002	0.011	0.006	0.003	0.000	
9	0.001	0.002	0.004	0.005	0.021	0.011	0.007	0.000	
10	0.001	0.003	0.007	0.010	0.034	0.018	0.011	0.000	
11	0.002	0.005	0.011	0.016	0.052	0.028	0.018	0.000	
12	0.003	0.006	0.015	0.031	0.040	0.025	0.018	-0.001	
13	0.004	0.009	0.023	0.035	0.021	0.023	0.019	-0.002	
14	0.005	0.009	0.024	0.020	0.009	0.023	0.020	-0.004	
15	0.004	0.009	0.021	0.007	0.002	0.024	0.020	-0.004	
16	0.004	0.007	0.017	0.011	0.000	0.023	0.019	-0.005	
17	0.003	0.006	0.014	0.009	0.002	0.020	0.016	-0.004	
18		0.005	0.013	0.011	0.004	0.017	0.014		
19		0.005	0.012	0.011	0.005				
20		0.005	0.011	0.010	0.004				
21		0.004	0.010	0.009	0.004				
22		0.004	0.010	0.009	0.003				
23		0.010	0.009	0.008					

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Clima medio de oleaje en aguas profundas.
- Clima extremo de oleaje en aguas profundas.
- Transferencia de oleaje.
- Clima medio de oleaje en sitio de interés.
- Clima extremo de oleaje en sitio de interés.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Caracterización de oleaje

Clima medio de oleaje en sitio de interés

- El periodo más frecuente se encuentra entre los 11 a 12 [s] correspondiente al 29.92% de los registros. Estos datos se distribuyen casi en su totalidad en el rango de alturas que van desde los 0.1 a 0.5 [m].

Altura Hs [m]	Periodo [s]										% Ocurrencia
	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	
0-0.5	0.47	4.35	5.34	29.92	27.27	26.95	2.42	0.63	0.08	0.02	97.44
0.5-1		0.07	0.13	0.87	0.23	0.23	0.01				1.54
1-1.5			0.13	0.13	0.06	0.07					0.40
1.5-2			0.08	0.11	0.02	0.04					0.25
2-2.5			0.04	0.14	0.03	0.01					0.23
2.5-3				0.07	0.01	0.01					0.09
3-3.5				0.04							0.04
5-5.5				0.01							0.01
% Ocurrencia	0.47	4.42	5.72	31.30	27.63	27.31	2.43	0.63	0.08	0.02	100%

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Caracterización de oleaje

Clima medio de oleaje en sitio de interés

- Direccionalmente, el régimen de olas se presenta en su totalidad desde el cuarto cuadrante, donde la dirección predominante es la componente NW, representada gradualmente hasta los 326.25°.

Altura Hs [m]	Dirección [°]						% Ocurrencia
	310-313.25	316.5-319.75	319.75-323	323-326.25	326.25-329.5	329.5-332.75	
< 0.5	0.10		0.65	59.97	35.53	1.10	97.44
0.5-1	0.08	0.03	0.28	0.69	0.45		1.54
1-1.5	0.06	0.05	0.16	0.09	0.04		0.40
1.5-2	0.04	0.05	0.15				0.25
2-2.5	0.05	0.04	0.14				0.23
2.5-3	0.02	0.02	0.05				0.09
3-3.5	0.01		0.03				0.04
5-5.5	0.01						0.01
% Ocurrencia	0.36	0.19	1.46	60.75	36.02	1.10	100%

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Clima medio de oleaje en aguas profundas.
- Clima extremo de oleaje en aguas profundas.
- Transferencia de oleaje.
- Clima medio de oleaje en sitio de interés.
- Clima extremo de oleaje en sitio de interés.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Caracterización de oleaje

Clima extremo de oleaje en el sitio de interés

- Se realiza una evaluación y comparación de los eventos extremos entre el sitio de interés y aguas profundas.
- De la lista de eventos extremos seleccionados, es posible apreciar diferencias en la conformación de los datos entre el sitio de interés (Nodo de control 1) y aguas profundas.
- **Un evento extremo en aguas profundas no necesariamente lo es en el sitio de interés y viceversa.**

N° Datos	Fecha	Hs [m]	T[s]	Dirn [°]
1	21 de julio de 1987	5.118	11.18	312.809
2	8 de agosto de 2015	4.847	11.18	312.809
3	27 de mayo de 2012	4.337	11.18	312.809
4	7 de junio de 2006	3.691	11.18	312.809
5	16 de agosto de 2005	3.676	12.29	320.369
6	12 de junio de 1996	3.674	11.18	312.809
7	28 de julio de 1988	3.572	11.18	321.276
17	13 de agosto de 1988	3.113	12.29	320.369
18	23 de mayo de 2008	3.037	11.18	321.276
19	23 de mayo de 1994	3.028	11.18	321.276
20	6 de septiembre de 1997	3.013	13.52	318.578

N° Datos	Fecha	Hs [m]	T[s]	Dirn [°]
1	13 de agosto de 1988	6.51	14.87	272.33
2	24 de julio de 1987	6.35	10.16	318.04
3	4 de julio de 1984	6.35	10.16	284.65
4	8 de agosto de 2015	6.13	11.18	331.73
5	16 de agosto de 2005	5.69	13.52	279.59
6	18 de junio de 2011	5.23	16.36	281.07
7	11 de julio de 1987	5.11	10.16	332.19
8	27 de mayo 2012	4.98	11.18	309.44
9	15 de julio de 1982	4.97	14.87	273.85
10	16 de agosto de 2012	4.89	13.52	273.97

Extracto eventos sitio de interés, Nodo 1, Batimetría Completa.

Extracto eventos cuarto cuadrante en aguas profundas.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

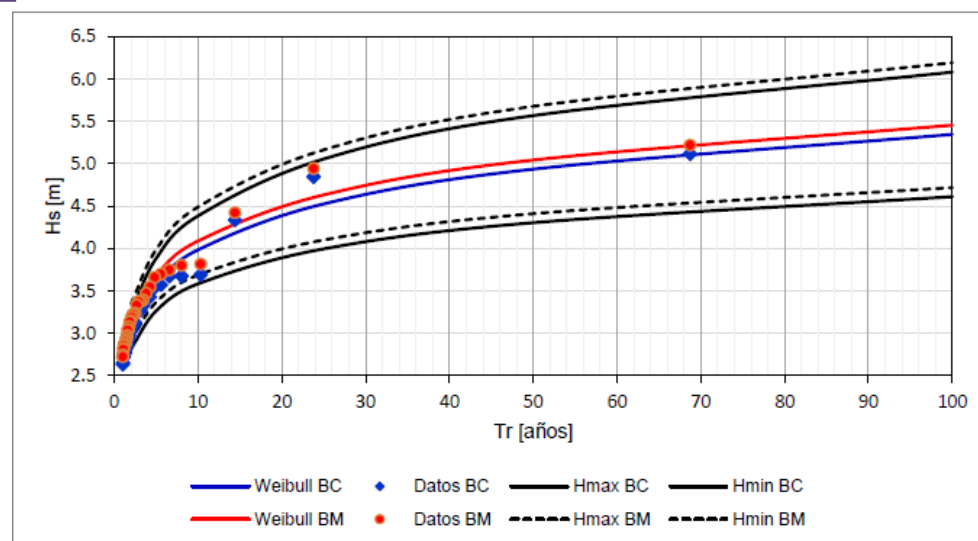


CONDICIONES NATURALES

Caracterización de oleaje

Clima extremo de oleaje en el sitio de interés

- Resultados del clima extremo de oleaje para el Nodo de control 1 comparando ambas batimetrías.
- Las alturas de ola (H_s [m]) de la Batimetría Modificada adquieren valores levemente superiores a las cifras alcanzadas por la Batimetría Completa.



Tr [años]	Batimetría Completa			Batimetría Modificada		
	Hs [m]	Hs min [m]	Hs máx [m]	Hs [m]	Hs min [m]	Hs máx [m]
2	3.03	2.82	3.25	3.13	2.92	3.35
5	3.57	3.26	3.88	3.68	3.37	3.99
10	3.98	3.58	4.39	4.09	3.69	4.49
25	4.53	4.00	5.06	4.63	4.10	5.17
50	4.94	4.30	5.57	5.04	4.41	5.68
100	5.35	4.61	6.08	5.46	4.72	6.19

Comparación de valores oleaje extremo en el sitio de interés, Nodo de Control 1.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Marea astronómica.
- Marea meteorológica.
- Probabilidades conjuntas extremas.
- Niveles de diseño.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Análisis de marea y niveles

Marea astronómica

- Análisis **No Armónico** de la marea.
- Se analizó el registro del nivel del mar para la localidad de Valparaíso entre los años 2000 a 2015, obteniendo los siguientes planos característicos de referencia mareal con respecto al NRS.

Parámetros Referencia Mareal	m [NRS]	% Ocurrencia
Máxima pleamar	2.10	0.001%
Media pleamares máximas	1.51	6.53%
Media pleamares	1.37	13.11%
Nivel medio del mar	0.92	48.50%
Media bajamares	0.46	89.33%
Media bajamares mínimas	0.41	92.63%
Mínima bajamar	0.002	100%

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Marea astronómica.
- Marea meteorológica.
- Probabilidades conjuntas extremas.
- Niveles de diseño.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

CONDICIONES NATURALES

Marea meteorológica

Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Análisis de residuo.
- Por efectos del (a): presión atmosférica, viento.
- Set-up de oleaje.

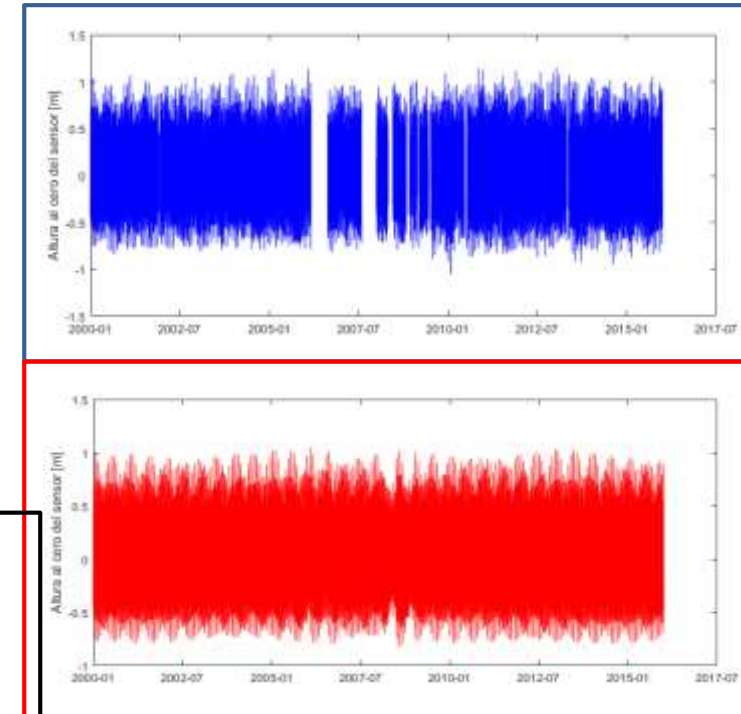
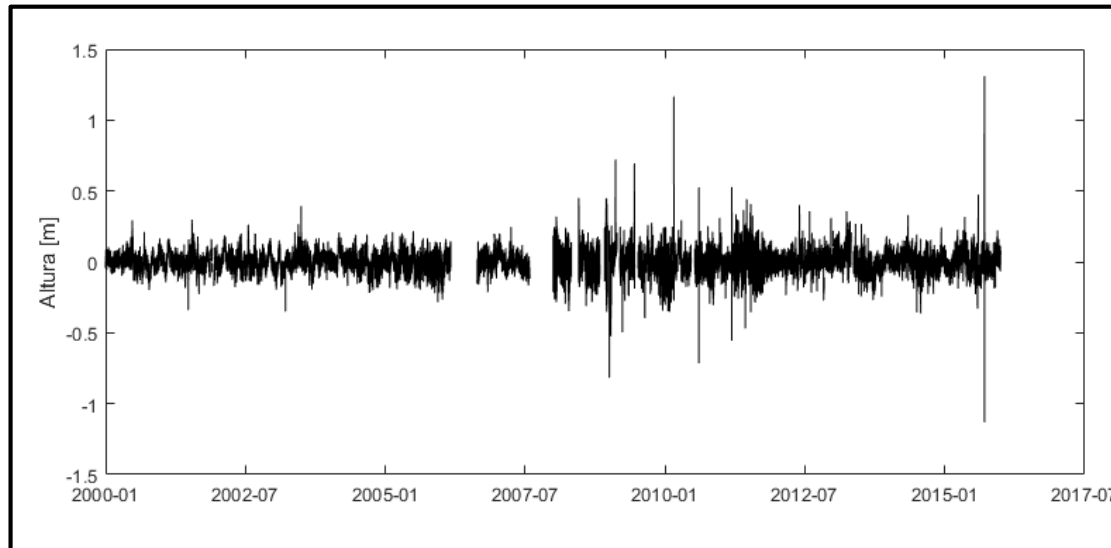
METODOLOGÍA Y RESULTADOS

CONDICIONES NATURALES

Marea meteorológica

Análisis de residuo

- La marea meteorológica fue calculada a partir de la diferencia entre las series del nivel la mar corregida y la marea astronómica reconstruida.
- Se destaca, para los periodos de retorno de 25 y 50 años valores extremos de 0.71 [m] y 0.79 [m] respectivamente.



Tr [años]	Hm [m]	Hm min [m]	Hm máx [m]
2	0.41	0.37	0.47
5	0.52	0.43	0.62
10	0.60	0.47	0.74
25	0.71	0.53	0.9
50	0.79	0.57	1.02
100	0.87	0.62	1.14

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

CONDICIONES NATURALES

Marea meteorológica

Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Análisis de residuo
- Por efectos del (a): presión atmosférica y viento.
- Set-up de oleaje.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Marea meteorológica

Por efectos de la presión atmosférica

- Para una presión atmosférica máxima de 1029 [hPa] asociado a “buen tiempo” se estima una corrección aproximada de -0.16 [m], mientras, para una presión atmosférica mínima de 1006 [hPa] asociada a “temporal” se propone una corrección del nivel del mar de +0.07 [m].

Año	Presión Atmosférica [hPa]		
	Valores máximo	Valores medios	Valores mínimos
2013	1026.0	1016.4	1009.7
2014	1029.1	1016.9	1010.2
2015	1026.1	1016.3	1006.4
2016	1027.8	1016.9	1007.0

↓
↓

- 16 cm
+ 7 cm

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Marea meteorológica

Por efectos del viento

- El aumento del nivel del mar por efectos del viento se encuentra entre los 0.025 a 0.11 [m].

Set-up de oleaje

- Destacan como valores de Set-up máximo 1.22 y 1.30 [m] para los periodos de retorno correspondientes de 25 y 50 años.

Sección	Delta X (m)	d (m)	D (m)	ΔS (m)	S (m)	S (cm)
1	1700000	3660	3660	0.025	0.025	2.5
2	800000	2500	2500	0.017	0.04	4.2
3	610000	1000	1000	0.033	0.08	7.5
4	470000	4000	4000	0.006	0.08	8.2
5	146000	4500	4500	0.002	0.08	8.3
6	22000	700	700	0.002	0.09	8.5
7	16000	250	250	0.003	0.09	8.8
8	4700	100	100	0.003	0.09	9.1
9	2500	70	70	0.002	0.09	9.3
10	1200	40	40	0.002	0.09	9.5
11	1000	30	30	0.002	0.10	9.6
12	700	20	20	0.002	0.10	9.8
13	610	15	15	0.002	0.10	10.0
14	450	10	10	0.002	0.10	10.3
15	290	5	5	0.003	0.11	10.6

Cálculo de Set-up de oleaje

Set-down	η_b	-0.26	-0.27
Set-up	η_s	0.97	1.04
Gradiente Set-up	$d\eta/dx$	0.0020	0.0020
Línea de costa media	Δx	121.52	129.92
Set-up máximo	$\eta_{\text{máx}}$	1.22	1.30

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Marea astronómica.
- Marea meteorológica.
- Probabilidades conjuntas extremas.
- Niveles de diseño.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

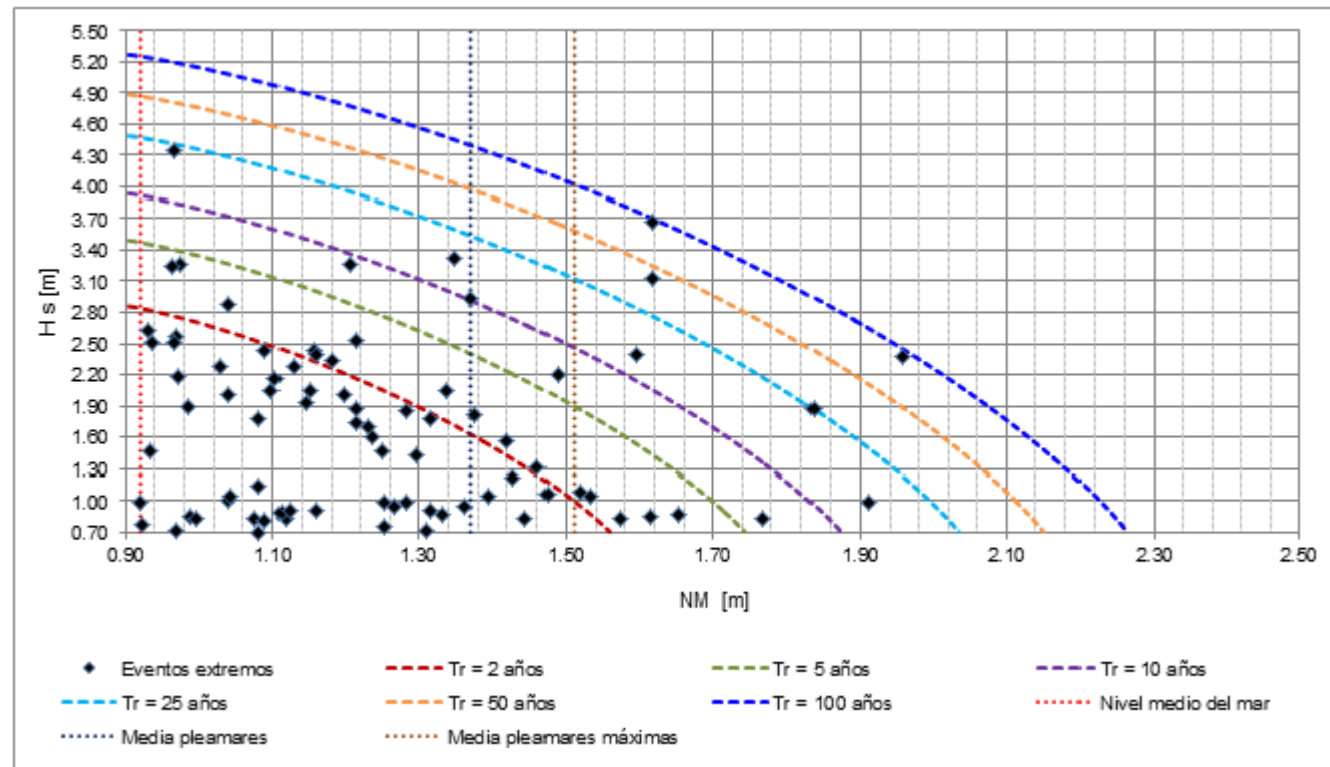


CONDICIONES NATURALES

Análisis de marea y niveles

Probabilidades conjuntas extremas

- El análisis, se basó en la utilización conjunta de datos de nivel del mar y las alturas de ola transferida al Nodo de Control 1.
- Se grafican los periodos de retorno como curvas de nivel en función de las variables analizadas.



METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

- Marea astronómica.
- Marea meteorológica.
- Probabilidades conjuntas extremas.
- Niveles de diseño.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Análisis de marea y niveles

Niveles de diseño

- La conformación de un **nivel de diseño convencional (CC)** se planteó sobre la base de los parámetros obtenidos de los estudios de condiciones naturales.

Componente	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
1 Marea astronómica	1.51	1.51	2.10	2.10
2 Marea Meteorológica	0.71	-	0.79	-
2.1 Por efectos de presión atmosférica	-	0.07	-	0.07
2.2 Por efectos del viento	-	0.11	-	0.11
3 Wave Set-up	1.22	1.22	1.30	1.30
Nivel de Diseño	3.44 [m] NRS	2.91 [m] NRS	4.19 [m] NRS	3.58 [m] NRS

- Los niveles de **diseño probabilístico (CP)** se definieron a partir de los resultados expuestos en la grafica de “probabilidades conjuntas” en función al parámetro de altura de ola.

Componente	Escenario 5	Escenario 6
1 Nivel del mar	0.92	0.92
2 Altura de ola		
2.1 Wave Set-up	1.22	1.30
Nivel de diseño	2.14 [m] NRS	2.22 [m] NRS

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Análisis
batimétrico

Caracterización
de oleaje

Análisis de
marea y niveles

Altura oleaje
zona rompiente

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

CONDICIONES NATURALES

Altura de oleaje en zona rompiente

$$\diamond H_{1/3} = \begin{cases} K_s H'_0 & : h/L_0 > 0.2, \\ \min \{ (\beta_0 H'_0 + \beta_1 h), \beta_{max} H'_0, K_s H'_0 \} & : h/L_0 < 0.2, \end{cases}$$

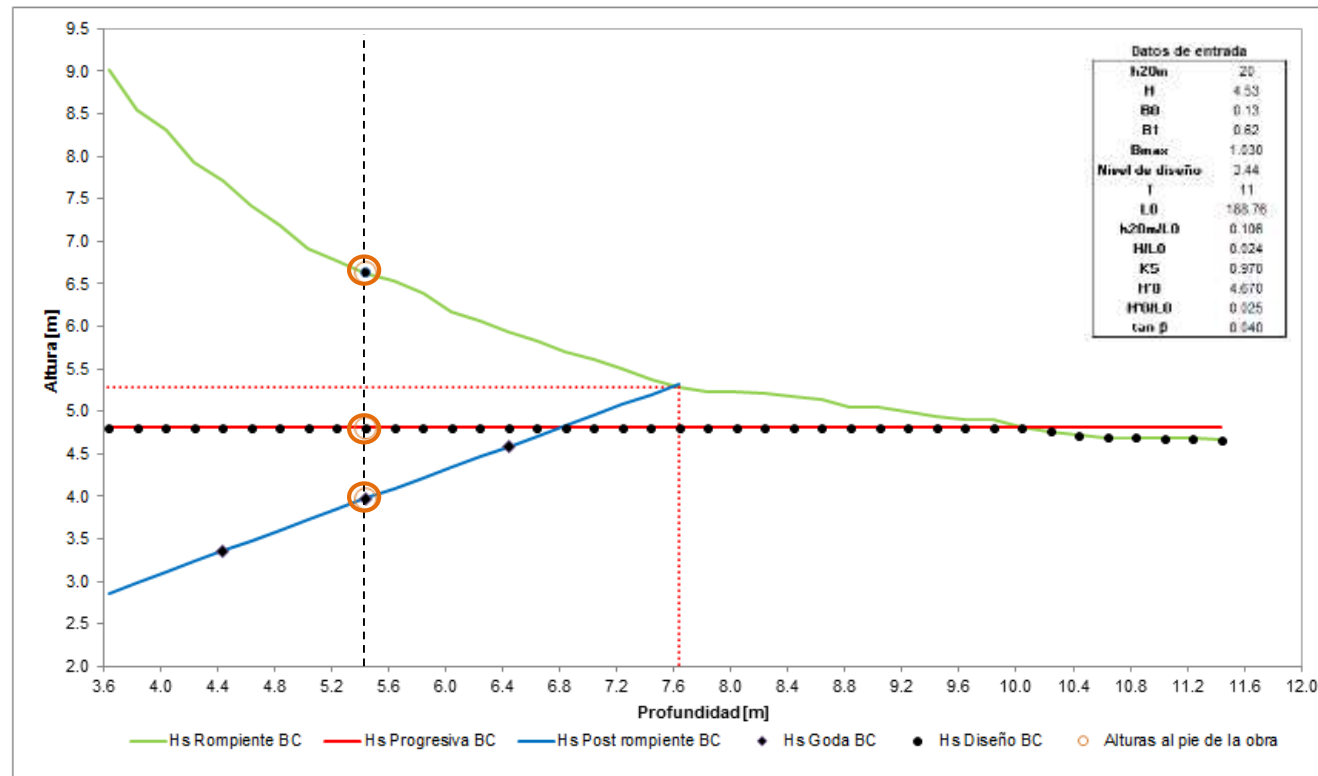
Coefficientes de H1/3

$$\beta_0 = 0.028 (H'_0/L'_0)^{-0.38} \exp [20 \tan^{1.5} \theta]$$

$$\beta_1 = 0.52 \exp [4.2 \tan \theta]$$

$$\beta_{max} = \max \{ 0.92, 0.32 (H'_0/L'_0)^{-0.29} \exp [2.4 \tan \theta] \}$$

- Se destaca que la altura de diseño propuesta por Goda ("Hs Goda" en la gráfica) corresponde al mínimo valor seleccionado entre las tres condiciones de altura de ola establecidas (en rompiente, progresiva y post rompiente).



METODOLOGÍA Y RESULTADOS



CONDICIONES NATURALES

Altura de oleaje en zona rompiente

- Parámetros utilizados en el cálculo de las alturas de ola en zona rompiente, junto a los resultados de las alturas de diseño evaluadas para las cotas al pie de la obra de -3.0, -2.0 y -1.0 [m] NRS.

Parámetros de diseño		Batimetría completa			Batimetría modificada			Parámetros de diseño		Batimetría completa			Batimetría modificada			
Nivel de diseño convencional	<u>Periodo de retorno 25 años</u>							<u>Periodo de retorno 25 años</u>								
	Altura de diseño en punto de control H [m]		4.53			4.63		Altura de diseño en punto de control H [m]		4.53			4.63			
	Nivel de diseño convencional CC [m]		3.44			3.44		Nivel de diseño probabilístico CC [m]		2.14			2.14			
	Cota del fondo, referida al NRS Z [m]		-3.0	-2.0	-1.0	-3.0	-2.0	-1.0	Cota del fondo, referida al NRS Z [m]		-3.0	-2.0	-1.0	-3.0	-2.0	-1.0
	Profundidad total evaluada h [m]		6.44	5.44	4.44	6.44	5.44	4.44	Profundidad total evaluada h [m]		5.14	4.14	3.14	5.14	4.14	3.14
		Postrompiente	4.59	3.97	3.36	4.60	3.98	3.37		Postrompiente	3.79	3.17	2.56	3.80	3.20	2.60
	Altura de ola significativa [m]	Progresiva	4.81	4.81	4.81	4.88	4.88	4.88	Altura de ola significativa [m]	Progresiva	4.81	4.81	4.81	4.88	4.88	4.88
		Rompiente	5.93	6.63	7.71	6.06	6.78	7.87		Rompiente	6.91	7.94	8.97	7.06	8.11	9.16
	Nivel de diseño probabilístico	<u>Periodo de retorno 50 años</u>							<u>Periodo de retorno 50 años</u>							
		Altura de diseño en punto de control H [m]		4.94			5.04		Altura de diseño en punto de control H [m]		4.94			5.04		
<u>Nivel de diseño convencional</u> CC [m]			4.19			4.19		<u>Nivel de diseño probabilístico</u> CC [m]		2.22			2.22			
Cota del fondo, referida al NRS Z [m]			-3.0	-2.0	-1.0	-3.0	-2.0	-1.0	Cota del fondo, referida al NRS Z [m]		-3.0	-2.0	-1.0	-3.0	-2.0	-1.0
Profundidad total evaluada h [m]			7.19	6.19	5.19	7.19	6.19	5.19	Profundidad total evaluada h [m]		5.22	4.22	3.22	5.22	4.22	3.22
		Postrompiente	5.08	4.47	3.85	5.09	4.48	3.86		Postrompiente	3.87	3.25	2.64	3.88	3.26	2.65
Altura de ola significativa [m]		Progresiva	5.11	5.11	5.11	5.19	5.19	5.19	Altura de ola significativa [m]	Progresiva	5.11	5.11	5.11	5.19	5.19	5.19
		Rompiente	6.52	7.28	8.40	6.65	7.43	8.57		Rompiente	7.38	8.50	9.68	7.53	8.68	9.87

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

APLICACIÓN CASO PRÁCTICO



Diseño de
estabilidad

Diseño hidráulico

METODOLOGÍA Y RESULTADOS



APLICACIÓN CASO PRÁCTICO

Diseño de estabilidad

Hudson (1959)

- La condición de altura de ola progresiva al no estar influenciada en su cálculo por la profundidad, deriva en valores constantes en el tamaño de la roca independientemente del nivel de diseño adoptado para el cálculo.

	Parámetros de diseño					Parámetros de diseño			
	Batimetria Completa	Batimetria Modificada	Batimetria Completa	Batimetria Modificada		Batimetria Completa	Batimetria Modificada	Batimetria Completa	Batimetria Modificada
Densidad volumétrica del material [ton/m ³]	2.65	2.65	2.65	2.65	Densidad volumétrica del material [ton/m ³]	2.65	2.65	2.65	2.65
Densidad volumétrica del agua [ton/m ³]	1.025	1.025	1.025	1.025	Densidad volumétrica del agua [ton/m ³]	1.025	1.025	1.025	1.025
Angulo del talud con respecto a la horizontal	2.0	2.0	2.0	2.0	Angulo del talud con respecto a la horizontal	2.0	2.0	2.0	2.0
Constante de estabilidad	4.0	4.0	4.0	4.0	Constante de estabilidad	4.0	4.0	4.0	4.0
Periodo de retorno 25 años	Alturas progresivas		Alturas post rompiente		Periodo de retorno 25 años	Alturas progresivas		Alturas post rompiente	
Altura significativa de diseño [m]	4.81	4.88	3.97	3.98	Altura significativa de diseño [m]	4.81	4.88	3.17	3.20
Peso de la roca [ton]	9.25	9.66	5.20	5.24	Peso de la roca [ton]	9.25	9.66	2.65	2.72
Diámetro medio de la roca [m]	1.52	1.54	1.25	1.26	Diámetro medio de la roca [m]	1.52	1.54	1.00	1.01
Periodo de retorno 50 años	Alturas progresivas		Alturas post rompiente		Periodo de retorno 50 años	Alturas progresivas		Alturas post rompiente	
Altura significativa de diseño [m]	5.11	5.19	4.47	4.48	Altura significativa de diseño [m]	5.11	5.19	3.25	3.26
Peso de la roca [ton]	11.09	11.62	7.42	7.47	Peso de la roca [ton]	11.09	11.62	2.85	2.88
Diámetro medio de la roca [m]	1.61	1.64	1.41	1.41	Diámetro medio de la roca [m]	1.61	1.64	1.03	1.03
	8.67 [ton]					4.57 [ton]			

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

ALICACIÓN CASO PRÁCTICO



Diseño de
estabilidad

Diseño hidráulico

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

APLICACIÓN CASO PRÁCTICO

Diseño de hidráulico

Caudal de sobrepaso



Parámetros de diseño		Batimetría Completa	Batimetría Modificada	Parámetros de diseño		Batimetría Completa	Batimetría Modificada
<u>Periodo de retorno 25 años</u>		Altura progresiva		<u>Periodo de retorno 25 años</u>		Altura progresiva	
Altura de ola en el pie del rompeolas	Hmo	4.81	4.88	Altura de ola en el pie del rompeolas	Hmo	4.81	4.88
Nivel de diseño	c	3.44	3.44	Nivel de diseño	c	2.14	2.14
Francobordo	Rc	5.97	6.07	Francobordo	Rc	5.97	6.07
Francobordo desde NRS	Rc NRS	9.41	9.51	Francobordo desde NRS	Rc NRS	8.11	8.21
Sobrepaso Estimado	q	1.97	1.97	Sobrepaso Estimado	q	1.97	1.97
Sobrepaso Admisible	qadm	2.0	2.0	Sobrepaso Admisible	qadm	2.0	2.0
Condición		Cumple	Cumple	Condición		Cumple	Cumple
<u>Periodo de retorno 50 años</u>		Altura progresiva		<u>Periodo de retorno 50 años</u>		Altura progresiva	
Altura de ola en el pie del rompeolas	Hmo	5.11	5.19	Altura de ola en el pie del rompeolas	Hmo	5.11	5.19
Nivel de diseño	c	4.19	4.19	Nivel de diseño	c	2.22	2.22
Francobordo	Rc	6.40	6.51	Francobordo	Rc	6.40	6.51
Francobordo desde NRS	Rc NRS	10.59	10.70	Francobordo desde NRS	Rc NRS	8.62	8.73
Sobrepaso Estimado	q	1.98	1.99	Sobrepaso Estimado	q	1.98	1.99
Sobrepaso Admisible	qadm	2.0	2.0	Sobrepaso Admisible	qadm	2.0	2.0
Condición		Cumple	Cumple	Condición		Cumple	Cumple

1.97 [m]

DISCUSIÓN

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

- Comparación parámetros de diseño para un escenario de 50 años de periodo de retorno.

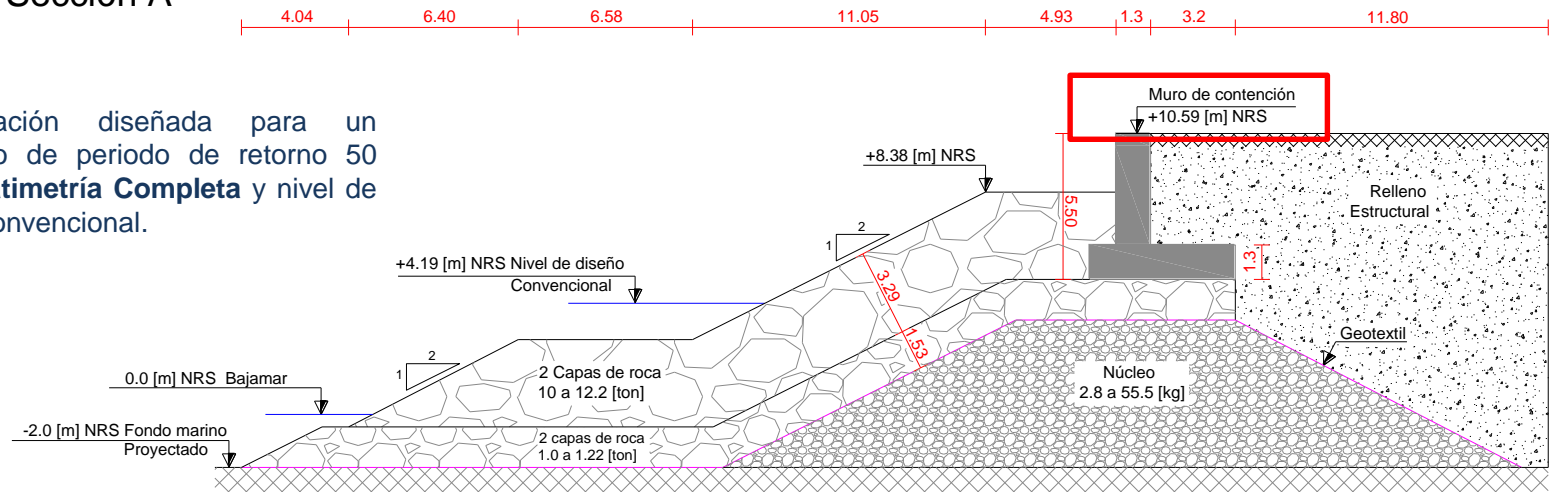
Parámetro de diseño		Batimetría Completa	Batimetría Modificada	Diferencias [BC-BM]	
Escenario periodo de retorno 50 años	Altura de diseño				
	Altura al pie del rompeolas	Hmo [m]	5.11	5.19	0.08
	Diseño Estructural				
	Peso elementos de coraza				
	Peso estimado	W [ton]	11.1	11.6	0.53
	Peso elementos filtro				
	Peso estimado	W/10 [ton]	1.11	1.16	0.05
	Peso elementos núcleo				
	Peso mínimo	W/4000max [kg]	2.77	2.91	0.13
	Peso máximo	W/200min [kg]	55.5	58.1	2.65
	Berma				
	Ancho cresta	B [m]	4.93	5.01	0.08
	Espesor coraza				
	Espesor de la capa	r [m]	3.29	3.34	0.05
	Espesor filtro				
	Espesor de la capa	r [m]	1.53	1.55	0.02
	Pie de apoyo				
	Espesor pie	[m]	3.29	3.34	0.05
	Largo pie	[m]	6.58	6.68	0.10
	Diseño Hidráulico				
Nivel de diseño convencional					
Francobordo	Rc [m]	6.40	6.51	0.11	
Francobordo des de NRS	RcNRS [m]	10.59	10.70	0.11	
Nivel de diseño probabilístico					
Francobordo	Rc [m]	6.40	6.51	0.11	
Francobordo des de NRS	RcNRS [m]	8.62	8.73	0.11	

DISCUSIÓN

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

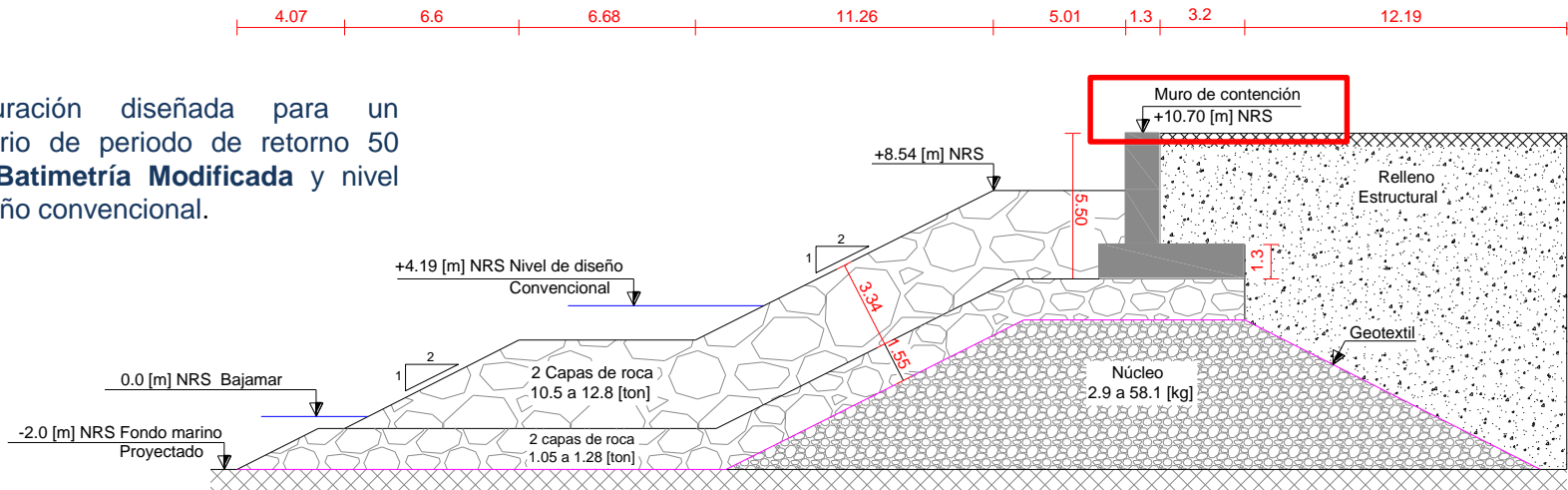
Sección A

- Configuración diseñada para un escenario de periodo de retorno 50 años, **Batimetría Completa** y nivel de diseño convencional.



Sección B

- Configuración diseñada para un escenario de periodo de retorno 50 años, **Batimetría Modificada** y nivel de diseño convencional.

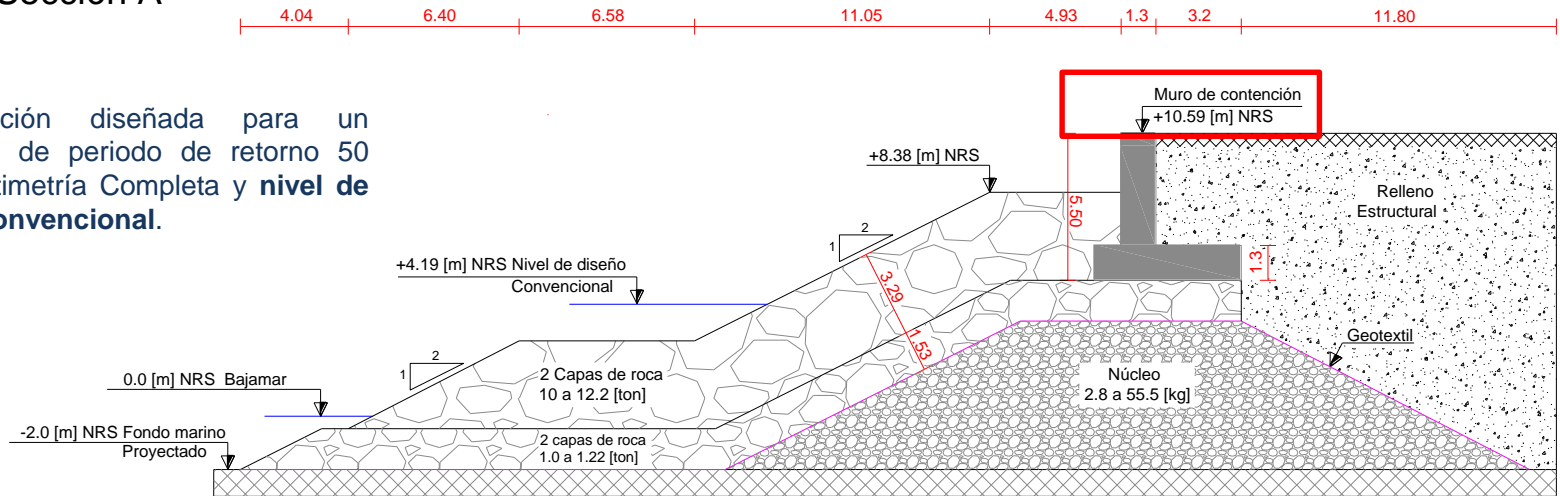


DISCUSIÓN

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

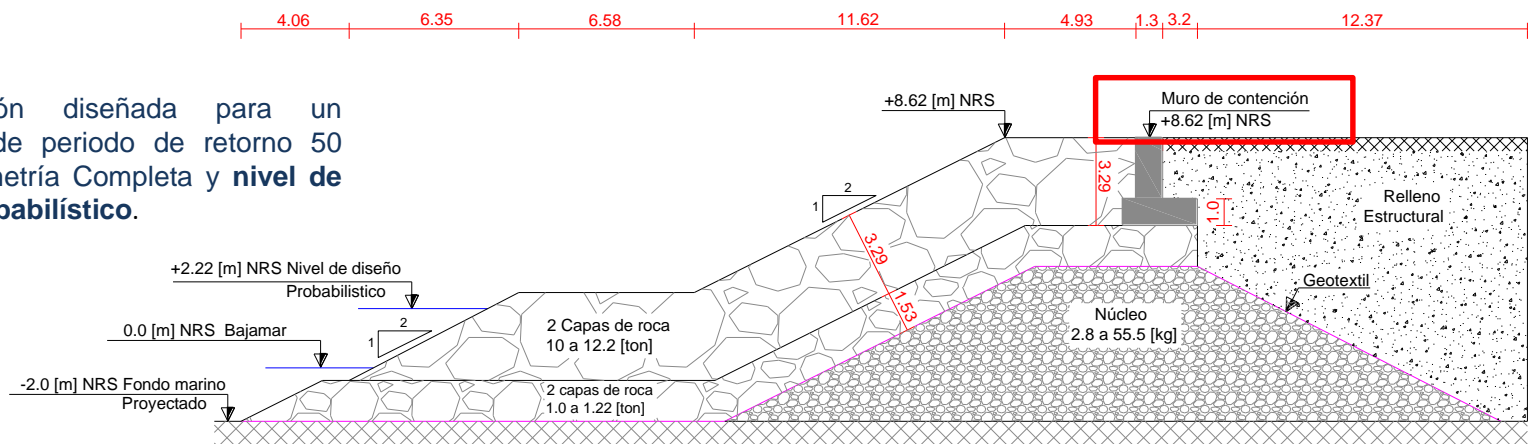
Sección A

- Configuración diseñada para un escenario de periodo de retorno 50 años, Batimetría Completa y **nivel de diseño convencional**.



Sección B

- Configuración diseñada para un escenario de periodo de retorno 50 años, Batimetría Completa y **nivel de diseño probabilístico**.



CONCLUSIONES



Respecto del análisis batimétrico:

- Es posible concluir que, la construcción de dos batimetrías con notorias diferencias en resolución no reflejan tales desigualdades al momento de comparar sus resultados, específicamente al ser utilizadas como herramientas de propagación en modelos de oleaje para la estimación de parámetros de diseño.

Respecto de la caracterización de oleaje:

- Es posible afirmar que la metodología de evaluación de eventos extremos en aguas profundas y posterior propagación, presenta diferencias en las alturas de olas calculadas, esto con respecto a una metodología que transfiera toda la estadística al sitio de interés, subestimando y sobreestimando este parámetro dependiendo de las características que se le asignan al oleaje propagado y de las condiciones físicas que presente el sector en estudio.

CONCLUSIONES



Respecto del análisis de marea y niveles:

- Los resultados expuestos muestran una clara diferencia entre los niveles de diseño, destacando mayores valores a través de la aplicación de la metodología convencional en desmedro de una probabilística.

Respecto de la altura de oleaje en zona rompiente:

- Se concluye que para utilizar la formulación de goda (2000) debe existir una evaluación previa de las condiciones que este fenómeno presenta en las profundidades que conforman la zona rompiente, específicamente, antes, durante y después de la rotura, de este modo, se adquiere un panorama completo de todas las alturas de ola resultantes en función a las distintas profundidades evaluadas.

CONCLUSIONES



Respecto de la aplicación caso práctico:

- La cuantificación de la sensibilidad detectada, se aplicó al diseño de estabilidad e hidráulico de una defensa costera, logrando como conclusión general, que una falta de precisión en la obtención de los parámetros que integran una metodología en la caracterización de los estudios de condiciones naturales, no influye de manera significativa en el diseño final de la defensa costera, como si lo hace, un cambio de metodología o, en su defecto, la utilización de una metodología diferente en la estimación de estos parámetros.

GRACIAS por su atención



NELSON ANDRÉS MOLINA VARGAS
Valparaíso, Mayo 2022

¿PREGUNTAS?

