
Diseño de estructura de abrigo
para mejorar la operatividad de la
Caleta Bucalemu, VI Región,
Chile

María José Gangas Ramírez

Noviembre 2011



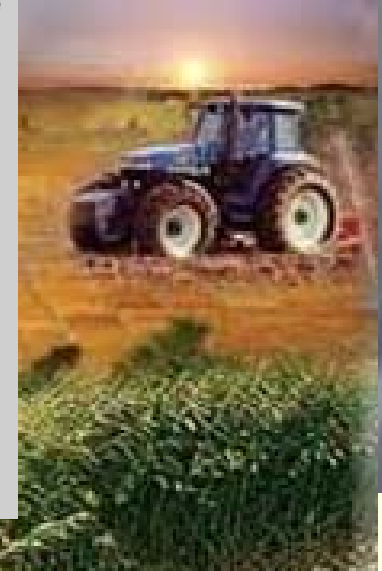
Contenidos

Introducción
Caracterización del Medio
Mejoramiento Caleta Bucalemu
Conclusiones y Recomendaciones



Introducción

Generalidades



Objetivos

- Objetivo General

Desarrollar estudios de ingeniería que permitan caracterizar las condiciones naturales de la caleta Bucalemu y así poder diseñar una estructura apropiada para mejorar la operatividad de la caleta, utilizando la formación rocosa presente en la zona si es que esta fuese utilizable.

Objetivos

■ Objetivos Específicos

- Caracterizar el Clima de Oleaje.
- Caracterizar conceptualmente el tipo de formación rocosa existente en la zona de estudio.
- Determinar los Niveles de Marea en la zona de estudio.
- Obtener el Transporte Longitudinal y Transversal del sector de estudio.
- Determinar los parámetros de diseño para la estructura de abrigo.
- Generar alternativas de estructuras de abrigo para posteriormente evaluarlas.
- Diseñar una Estructura de Abrigo.
- Aportar con recomendaciones para la zona de estudio propuesta.

Caracterización del Medio

Oleaje
Caracterización Geológica Conceptual
Mareas
Granulometría
Transporte de Sedimentos

Estudio de Oleaje

Wave Distribution By Period And Direction

Location: CONSTITUCION

Date Range: 01 Jan 1985 12AM to 31 Dec 2004 09PM

Season: All

Direction	Wave Period (s)										Total	A (%)	C (%)	Maximum Period (s)	
	0.00-2.00	2.00-4.00	4.00-6.00	6.00-8.00	8.00-10.00	10.00-12.00	12.00-14.00	14.00-16.00	16.00-18.00	18.00-20.00					20.00+
0.0			13	78	65	15	4					175	0.30	100.00	13.47
22.5				5	1		2		1			9	0.02	99.70	16.08
45.0				4		1			2			7	0.01	99.68	16.30
67.5				6			1					7	0.01	99.67	12.37
90.0				8						4		12	0.02	99.66	14.80
112.5				7	5		2	5			1	30	0.05	99.64	18.27
135.0			1	6		10	4	7			1	29	0.05	99.59	18.03
157.5			2	5		19	13	17	5			61	0.10	99.54	17.85
180.0			6	5	22	43	74	42	9	1		222	0.38	99.43	19.36
202.5			9	49	708	2029	3553	987	191	29	2	8007	13.76	99.05	21.67
225.0			9	24	650	8356	6227	6602	1565	239	27	33909	58.27	85.29	23.92
247.5				7	373	3195	4799	1602	715	162	30	10883	18.70	27.02	21.77
270.0			1	8	192	902	895	329	157	24	1	2519	4.33	8.32	20.38
292.5			5	9	184	379	278	84	53	9		1031	1.77	3.99	19.69
315.0			20	13	184	177	160	50	14	2		743	1.28	2.22	19.46
337.5			36	29	162	47	44	17	3			548	0.94	0.94	16.39
Totals	0	0	102	1326	2546	15173	26056	9746	2715	468	60	58192			
A (%)	0.00	0.00	0.18	2.28	4.38	26.07	44.78	16.75	4.67	0.80	0.10		100.00		
C (%)	100.00	100.00	100.00	99.82	97.55	93.17	67.10	22.32	5.57	0.91	0.10				

Meta Data

0.00% Calm Conditions (Wave Height<0.00 m and Wave Period<0.00

Number of records this selection: 58192

Total records used in selected interval

(including calms): 58192

Missing data (not included in calculation): 117126

Wave period: Max: 0.00 Min: 4.69 Mean: 12.70

Legend

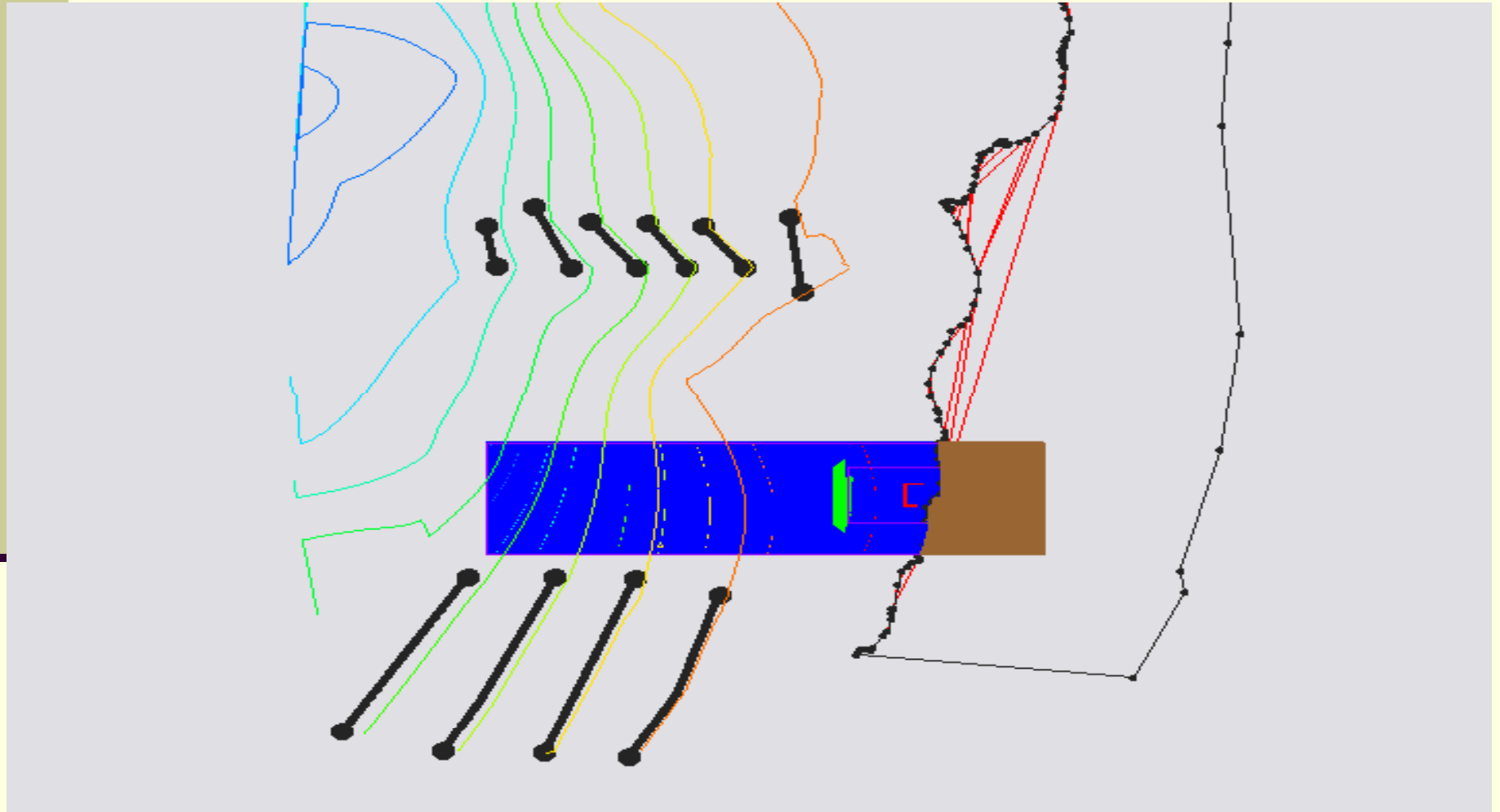
Row and column percentages have the following meanings:

A -- based on records in this selection

C -- percent exceedance

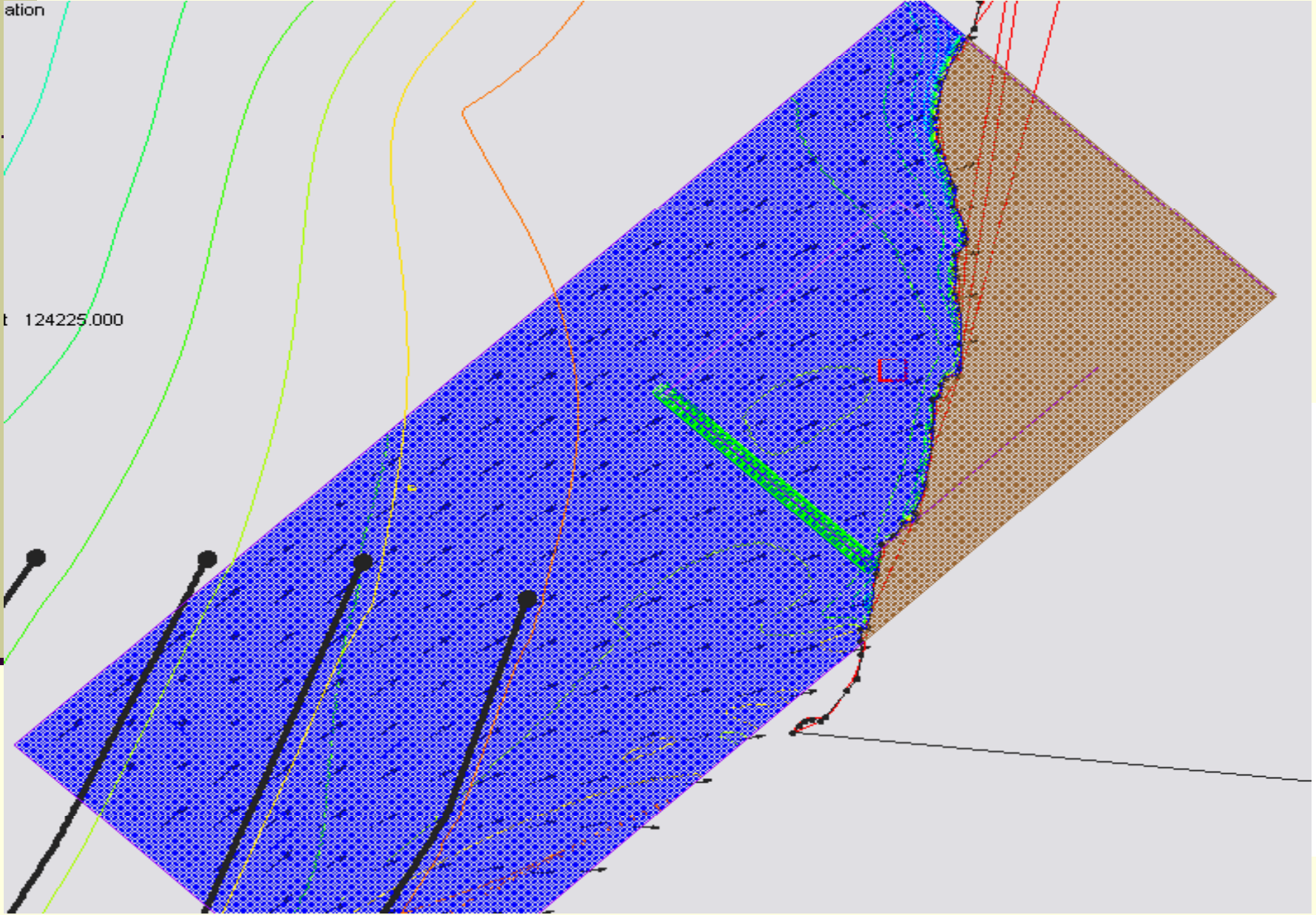
Frequencies of occurrence are reported in 'counts'

Estudio de Oleaje



ation

t 124225.000

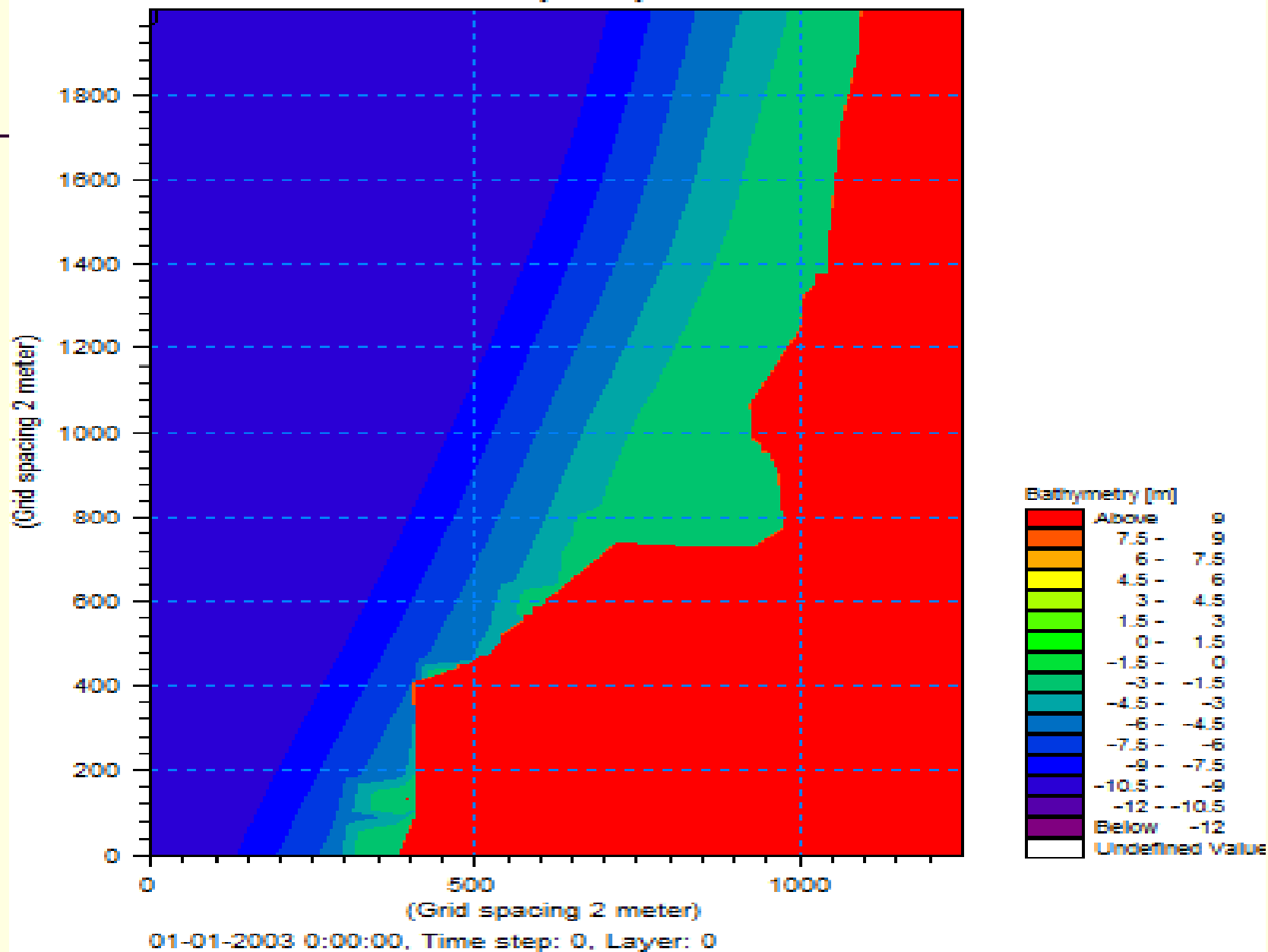


Estudio de Oleaje

- Definición y Clima de Oleaje Operacional en Aguas Intermedias

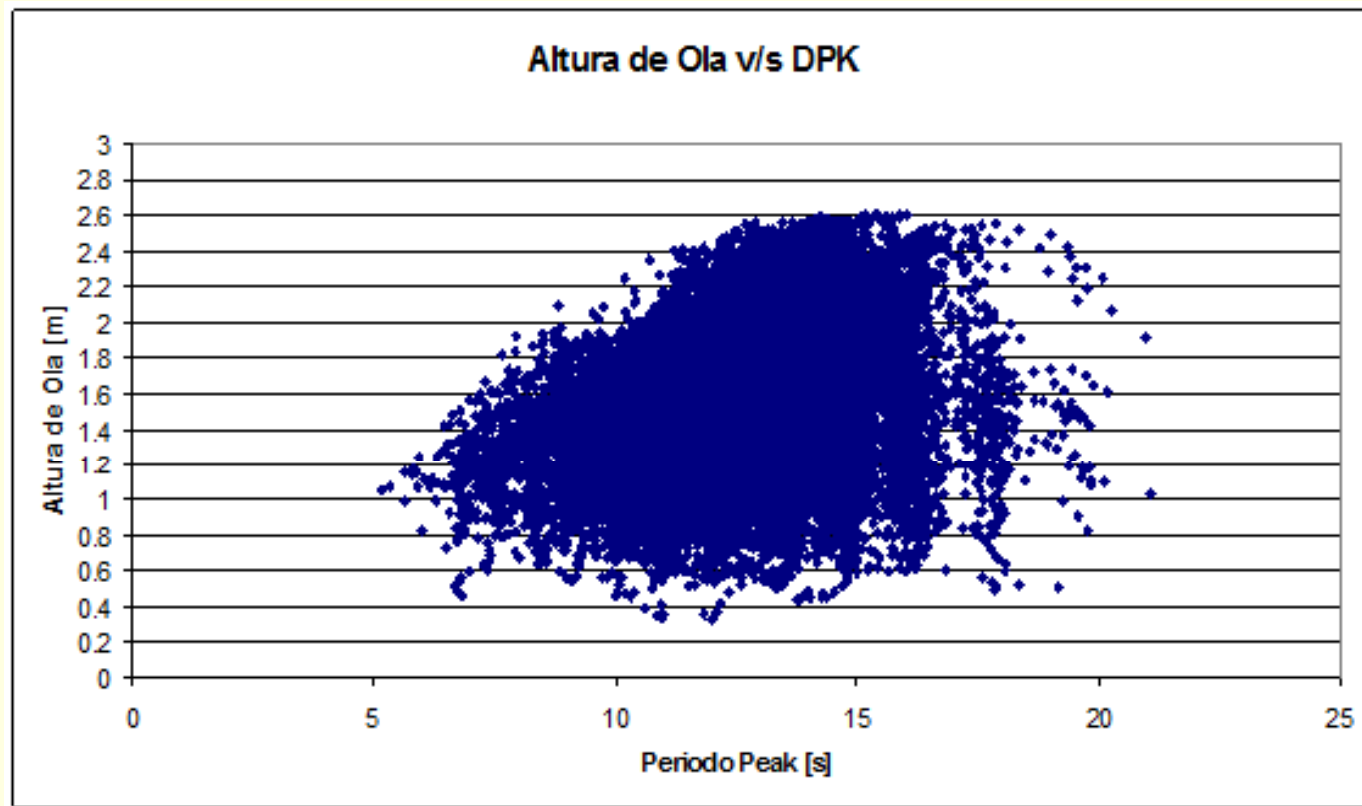


Bathymetry



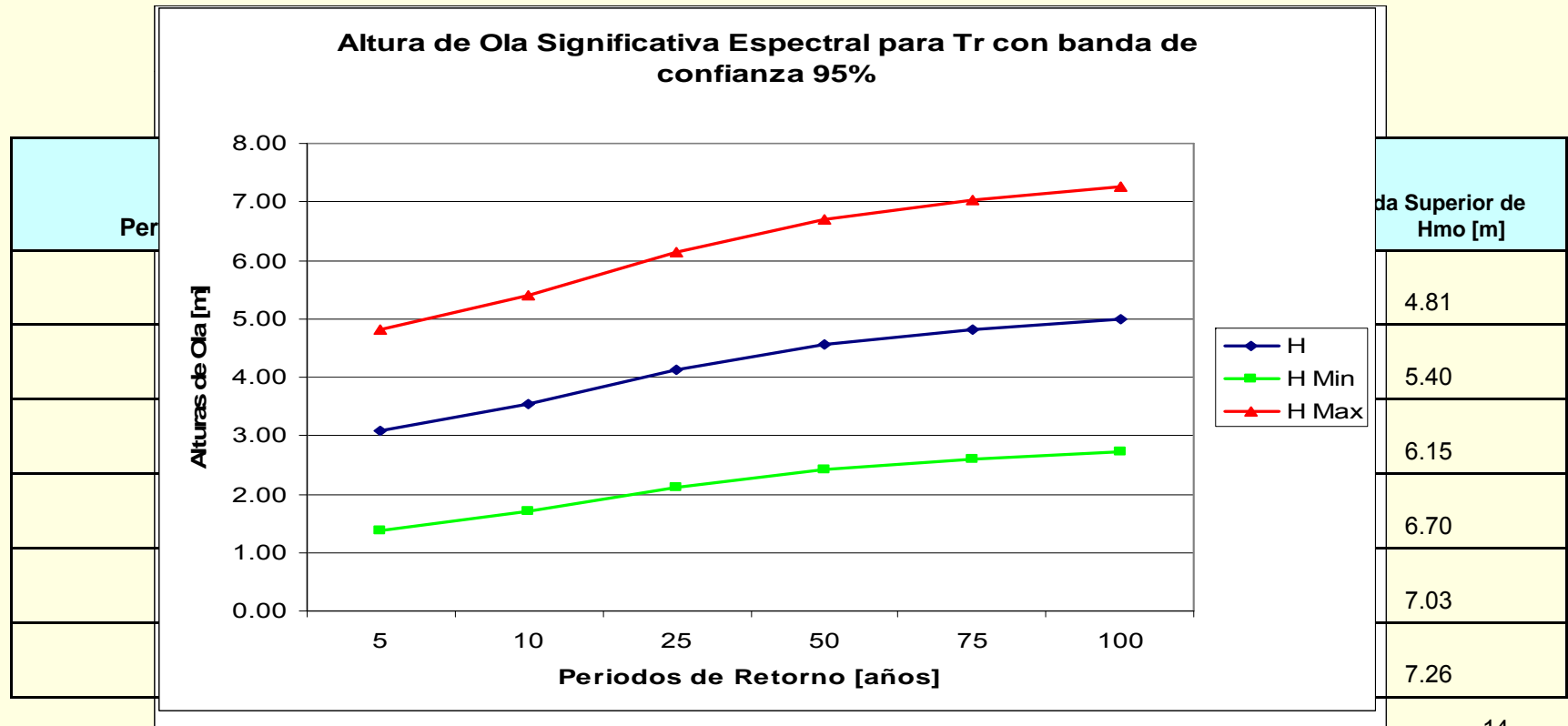
Estudio de Oleaje

- Definición y Clima de Oleaje Operacional en Aguas Someras



Estudio de Oleaje

■ Clima Extremo de Oleaje en Aguas Profundas



Estudio de Oleaje

■ Clima Extremo en Aguas Someras

Para obtener los datos de oleaje extremo en el pie de la obra se utilizó la fórmula de Goda (1985)

$$H_{1/3} = \begin{cases} K_s H_0' \rightarrow h/L_0 \geq 0.2 \\ \min\{(\beta_0 H_0' + \beta_1 h), \beta_{\max} H_0', K_s H_0'\} \rightarrow h/L_0 < 0.2 \end{cases}$$

$$\beta_0 = 0.028(H_0' / L_0)^{-0.38} \exp[20(\tan \theta)^{1.5}]$$

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

$$\beta_{\max} = \max\{0.92, 0.32(H_0' / L_0)^{-0.29} \exp\{2.4 \tan \theta\}\}$$

Donde:

K_s = Coeficiente de Shoaling

K_s' = Coeficiente de Shoaling Lineal

H_0 = Altura de ola offshore

h = Profundidad

L_0 = Longitud de onda offshore

$\tan \theta$ = Pendiente del fondo

Estudio de Oleaje

■ Clima Extremo en Aguas Someras

La zona de estudio esta a una profundidad de 3 [m], por que lo se asumirá una condición de ola rota obtenida por medio del criterio de Miche (1944)

$$\frac{H_b}{d_b} \cong 0.89$$

La altura de ola extrema es igual a 4.02 [m].

Estudio de Oleaje

■ Condiciones Actuales de Operatividad



Alturas de olas en el sector v/s Alturas límites de operación necesarias para que los botes permanezcan estables y realicen las maniobras de pesca de manera óptima y segura

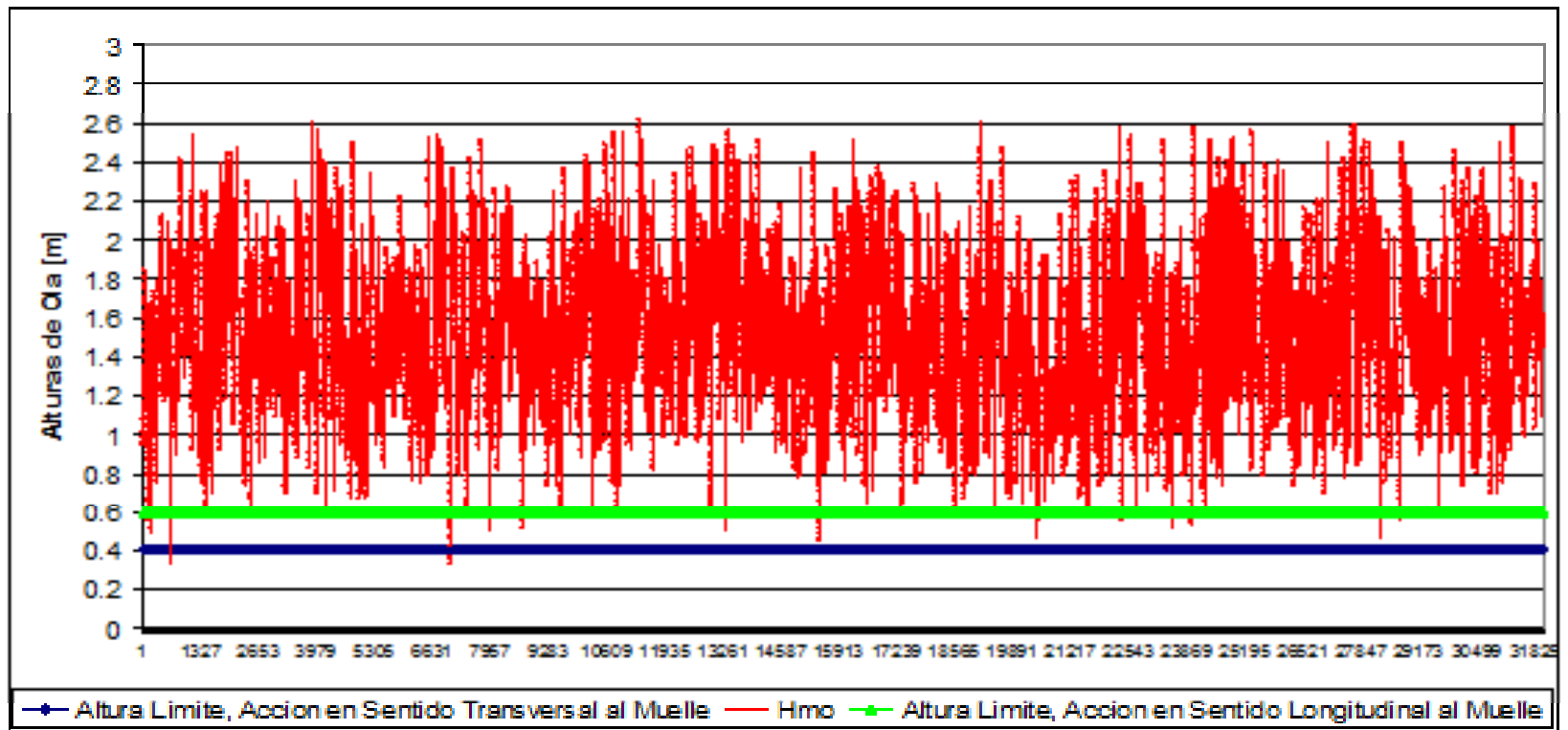
Estudio de Oleaje

■ Condiciones Actuales de Operatividad

	Velocidad absoluta del viento $V_{10,1 \text{ min}}$	Velocidad absoluta de la corriente $V_{c,1 \text{ min}}$	Altura de ola H_s
1. <i>Ataque de buques</i>			
• Acciones en sentido longitudinal al muelle	17.0 m/s	1.0 m/s	2.0 m
• Acciones en sentido transversal al muelle	10.0 m/s	0.1 m/s	1.5 m
2. <i>Paralización operaciones carga y descarga (para equipos convencionales)</i>			
• Acciones en sentido longitudinal al muelle			
— Petroleros			
< 30.000 TPM	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
30.000-200.000 TPM	22 m/s	1.5 m/s	2.0 m
> 200.000 TPM	22 m/s	1.5 m/s	2.5 m
— Graneleros			
Cargando	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
Descargando	22 m/s	1.5 m/s	1.0 m

— Transportadores de Gases Licuados			
< 60.000 m ³	22 m/s	1.5 m/s	1.2 m
> 60.000 m ³	22 m/s	1.5 m/s	1.5 m
— 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	0.6 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	16 m/s	0.5 m/s	0.8 m
> 60.000 m ³	16 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

Estudio de Oleaje



El oleaje existente en la zona de estudio supera las alturas límites de operación tanto longitudinal como transversalmente la gran mayoría del tiempo, donde el downtime es de 99.73% y 99.98% respectivamente

Estudio de Oleaje

■ Condiciones Actuales de Operatividad

A pesar de las malas condiciones de oleaje para la maniobra, los pescadores operan de igual forma poniendo en riesgo su seguridad.



Caracterización del Medio

Oleaje
Caracterización Geológica Conceptual
Mareas
Granulometría
Transporte de Sedimentos

Caracterización Geológica Conceptual



La roca del tipo pizarra es metamórfica homogénea formada por la compactación de arcillas a grandes temperaturas. Su color es generalmente opaco azulado oscuro y se divide fácilmente en lajas u hojas planas.





Caracterización del Medio

Oleaje
Caracterización Geológica Conceptual

Mareas
Granulometría
Transporte de Sedimentos

Mareas

Datos Marea Valparaiso	
Nivel	Zmarea
Altura Pleamar Máxima	1.95
Altura Promedio Pleamar Sicigia	1.72
Altura Promedio Pleamar Mayores	1.52
Altura Promedio Pleamar	1.35
Nivel Medio de Marea	0.88
Altura Promedio Bajamar	0.42
Altura Promedio Bajamar Menores	0.37
Altura Promedio Bajamar Sicigia	0.26
Altura Bajamar Mínima	0.77
NRS	-0.02

Datos de Marea Bucalemu	
Nivel	Zmarea
Altura Pleamar en Sicigia	1.52
Nivel Medio del Mar	0.72

Residuo Meteorológico

Viento: +0.03 [m]

Presión: -0.05 [m]

Caracterización del Medio

Oleaje
Caracterización Geológica Conceptual

Mareas

Granulometría

Transporte de Sedimentos

Granulometría

El muestreo se realizó el sábado 17 de abril del 2010, aproximadamente a las 10:00 [hr] alcanzando el periodo de bajamar.

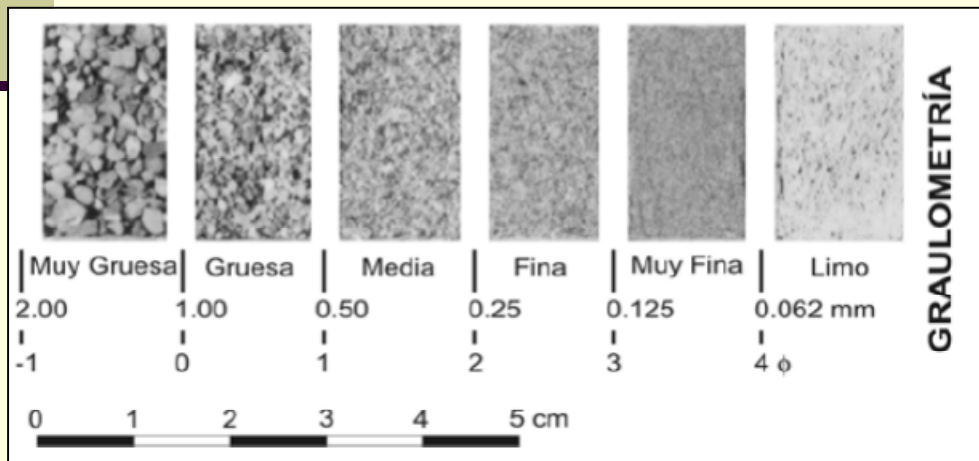


Granulometría

Tamizado y posteriores análisis

Diámetros Relevantes
(Udden-Wentworth)

Comportamiento de
la muestra.
Indicadores Estadísticos



Granulometría

■ Resultados

SECTOR	MUESTRA	DIAMETROS RELEVANTES	RESULTADOS [mm]	CONDICIÓN
ESTERO	1	Curtosis	0.91	Mesocúrtica
		Desv. Estándar	0.39	Bien Clasificada
		Asimetría	-0.10	Simétrica
		Diámetro Promedio	1.47	
	2	Curtosis	1.02	Mesocúrtica
		Desv. Estándar	0.46	Bien Clasificada
		Asimetría	0.86	Exceso de Finos
		Diámetro Promedio	0.69	
	3	Curtosis	0.78	Mesocúrtica
		Desv. Estándar	0.58	Bien Clasificada
		Asimetría	0.11	Exceso de Finos
		Diámetro Promedio	1.00	
	4	Curtosis	1.17	Leptocúrtica
		Desv. Estándar	0.47	Bien Clasificada
		Asimetría	0.34	Alto exceso de finos
		Diámetro Promedio	0.78	
	5	Curtosis	0.94	Mesocúrtica
		Desv. Estándar	0.41	Bien Clasificada
		Asimetría	-0.11	Moderado exceso de gruesos
		Diámetro Promedio	1.45	
	6	Curtosis	1.62	Muy Leptocúrtica
		Desv. Estándar	0.60	Clasificación Moderada
		Asimetría	0.18	Moderado exceso de finos
		Diámetro Promedio	1.53	

Caracterización del Medio

Oleaje
Caracterización Geológica Conceptual
Mareas
Granulometría
Transporte de Sedimento

Transporte Longitudinal de Sedimentos

- Formula del CERC con datos offshore

Transporte Longitudinal de Sedimentos [m3/s]														
Direcciones	Alturas de Ola (m)													Totales
	0.25	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	
306.00	0	0	0	-2E-05	-6.5E-05	-0.000124996	-0.00028	-0.0006	-0.00085	-0.0006	-0.00063	-0.00068	-0.00104	
283.50	0	0	0	-3.3E-06	0	0	0	-7.3E-06	-4E-05	-1.3E-05	0	0	0	
261.00														
238.50														
216.00														
193.50														
171.00														
148.50														
126.00														
103.50														
81.00	0	4.86E-07	0.000163	0.002386	0.010262	0.019998845	0.021093	0.015062	0.007845	0.003962	0.002308	0.00112	0.000195	
58.50	0	3.47E-06	0.000419	0.004474	0.01381	0.019622655	0.022975	0.016525	0.010418	0.006146	0.003068	0.002311	0.001771	
36.00	0	3.76E-07	0.000101	0.001309	0.002407	0.004593546	0.006622	0.006405	0.00468	0.004095	0.002776	0.001651	0.002033	
13.50	0	0	1.68E-05	0.000156	0.00043	0.000855533	0.001343	0.00169	0.00145	0.001402	0.00073	0.000428	0.000715	
-9.00	0	0	-1.8E-06	-3.9E-05	-0.00021	-0.000429378	-0.0006	-0.00072	-0.00076	-0.00106	-0.00093	-0.0004	-0.00036	
-31.50	0	0	-3.8E-06	-3.6E-05	-0.00033	-0.000688482	-0.0013	-0.00161	-0.00169	-0.0027	-0.00203	-0.00151	-0.00122	
Totales	0	4.33E-06	0.000693	0.008226	0.026303	0.043827723	0.049855	0.036742	0.021049	0.011237	0.005287	0.002926	0.002096	0.208246

Transporte Longitudinal de Sedimentos

- Formula del CERC con Altura de Ola en Rotura

I

Sector 1		
QI Neto	220,761,181.65	[m3/año]
QI Bruto	221,311,524.42	[m3/año]

$$\frac{g^2 \sin^2 \alpha_b}{\lambda^2 C_o^2}$$

⁻¹

Sector 2		
QI Neto	271,821,802.52	[m3/año]
QI Bruto	272,570,297.54	[m3/año]

Sector 3		
QI Neto	298,150,352.13	[m3/año]
QI Bruto	301,592,372.97	[m3/año]

$$Q_L = K \left(\frac{\rho \sqrt{g}}{H_b^2} \right)^{\frac{5}{2}} \sin(2\alpha_b)$$

Sector 4		
QI Neto	231,856,379.95	[m3/año]
QI Bruto	232,061,958.47	[m3/año]

- K: Coeficiente de proporción
- ρ : Densidad del agua de mar
- g: Aceleración de gravedad
- ρ_s : Densidad del sedimento
- k: Índice de rotura
- p: Porosidad del sedimento
- H_b: Altura de oleaje en rompiente
- α_b : Angulo de incidencia de la ola rompiente

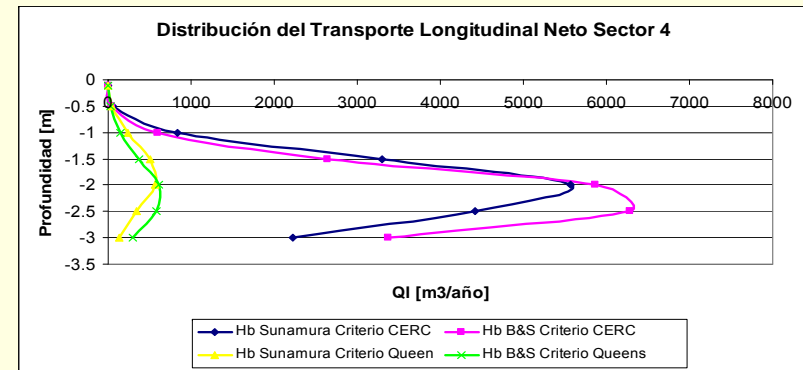
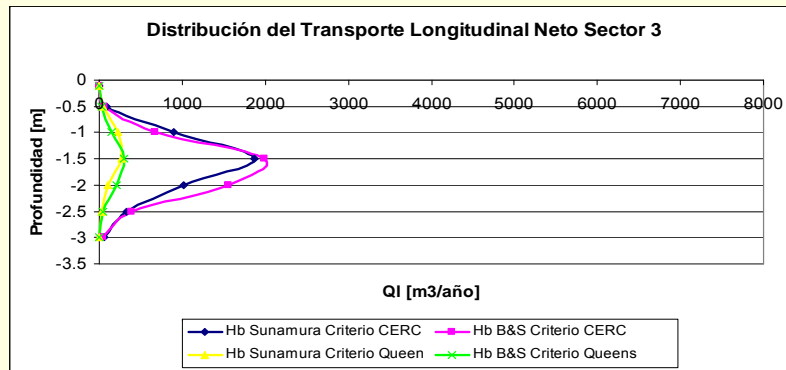
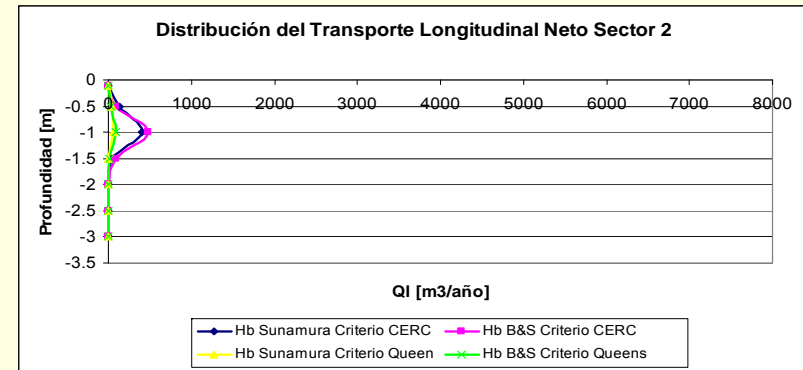
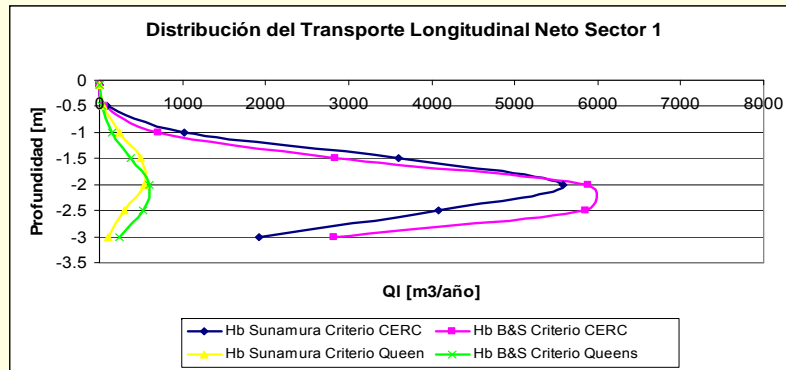
Distribución Transversal del Transporte Longitudinal

- Formula del CERC v/s Formula de Queens

$$Q_L = \bar{Q}_L \frac{1.3 * 10^{-3} \rho H_{sb}^3}{(\rho_s(1-\rho))(\rho_s - \rho)} \frac{1}{8} \left(\frac{H_b}{L_{op}} \right)^{-1.25} \sqrt{g d_m^{0.25} \cos \alpha_b} \left(\frac{H_b}{d_{50}} \right)^{0.25} \sin \alpha_b^{0.6} (2\alpha_b)$$

$$H_b = 1.1 h_b \left(\frac{m}{\sqrt{\frac{H_o}{L_o}}} \right)^{\frac{1}{6}} \quad \frac{H_b}{h_b} = 0.39 + 0.56 \tanh \left(33 \frac{H_o}{L_o} \right)$$

Distribución Transversal del Transporte Longitudinal



Mejoramiento Caleta Bucalemu

Mejoramiento Caleta Bucalemu

Layout Propuesto



Mejoramiento Caleta Bucalemu

■ Bases de Diseño

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

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

b) RIESGO DE DESTRUCCIÓN TOTAL

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

Mejoramiento Caleta Bucalemu

■ Bases de Diseño

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^{Lf} \approx 1 - e^{-\left(\frac{Lf}{Tr}\right)} \Rightarrow Tr = -\frac{Lf}{\ln(1-R)}$$

Oleaje Máximo Diseño = 4.52 [m]
Z Diseño = 4.52 [m]

Tr = 36 años → 50 años

Mejoramiento Caleta Bucalemu

■ Diseño Hidráulico Dique en Talud

Definición	Nomenclatura	Valor	Unidad
Talud del Rompeolas	$\tan \alpha$	0.67	-----
Profundidad al pie de la Obra	d	3.00	m
Nivel de Marea	Zm	1.52	m
Ancho Berma	B	0.00	m
Profundidad de Diseño	db	4.52	m
Orientación del rompeolas	θ	45.00	°

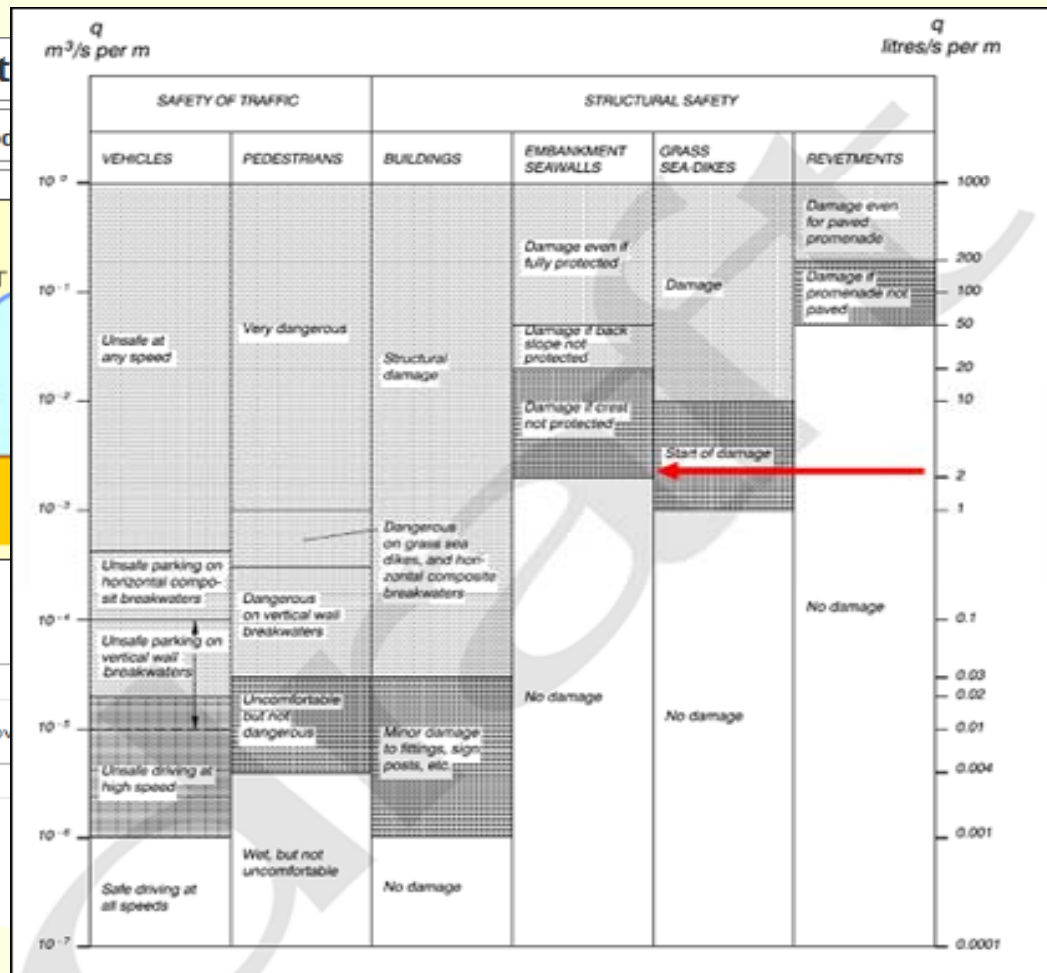
Donde el Run Up para los datos de entrada es de 6.2 [m] con respecto al NRS.

CEM m ³ /s por m			EUROTOP m ³ /s por m
Beta	Franco 1999 cresta larga	Franco 1999 cresta corta	Diseño Probabilístico
0	1.8E-03	4.1E-04	7.10E-04
20	1.1E-04	4.1E-04	
40	2.7E-04	1.5E-04	
60	2.7E-04	2.7E-04	
80	2.7E-04	3.8E-08	
100	2.7E-04	1.9E-14	

La Vert
pe Method
cc



Mean ov
0.71



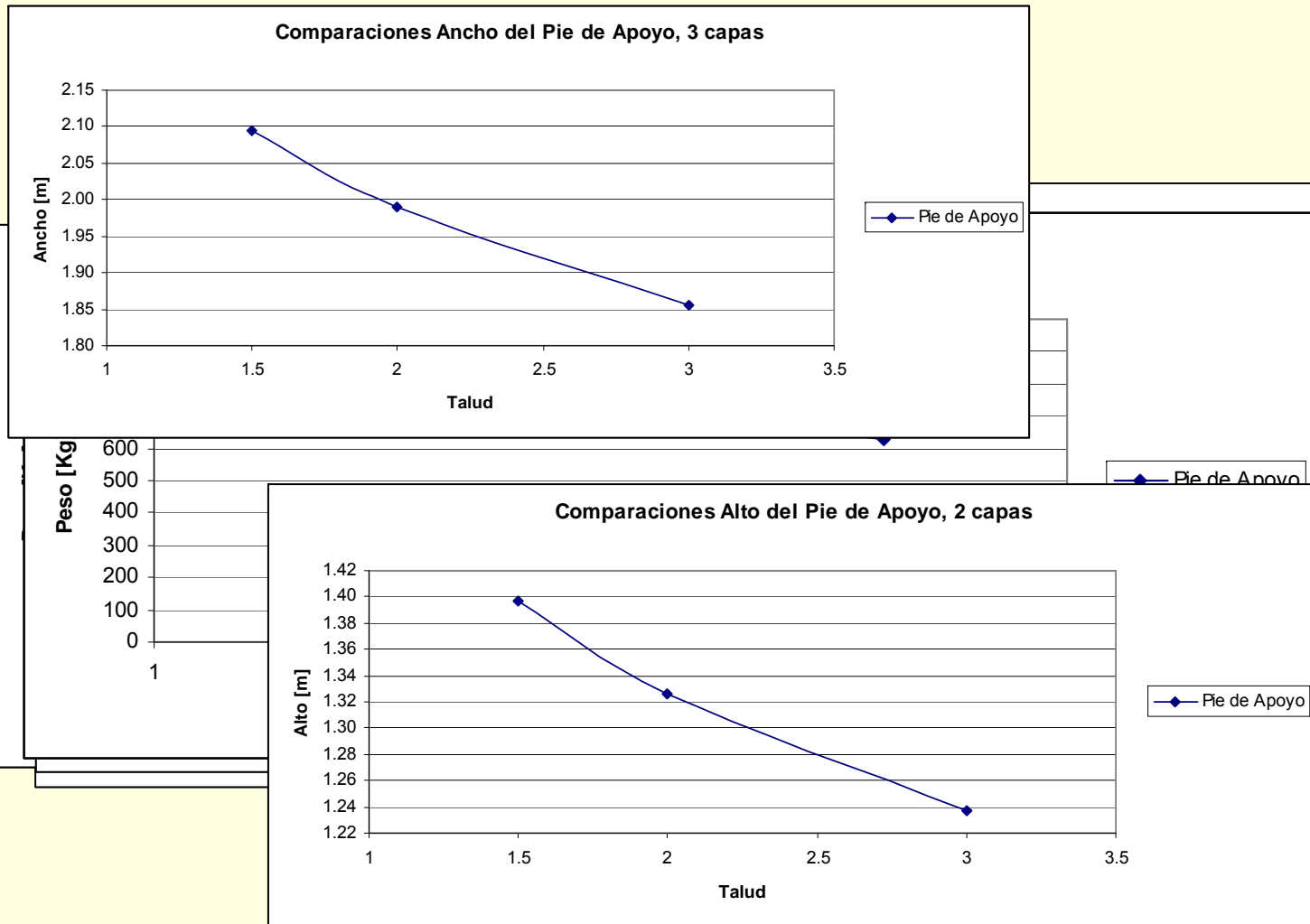
S
O

Tm Tp Tm-1,0

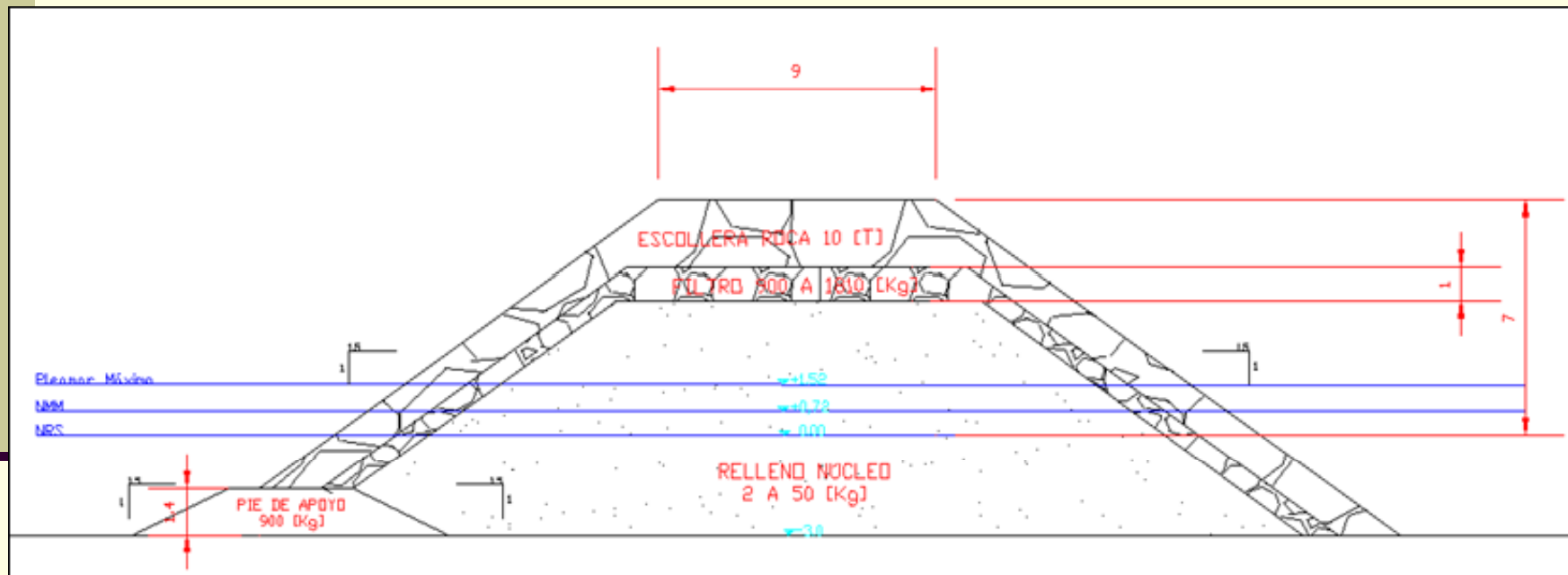
n
n
n
n
n
n
n
n
n
n

legrees

Mejoramiento Caleta Bucalemu



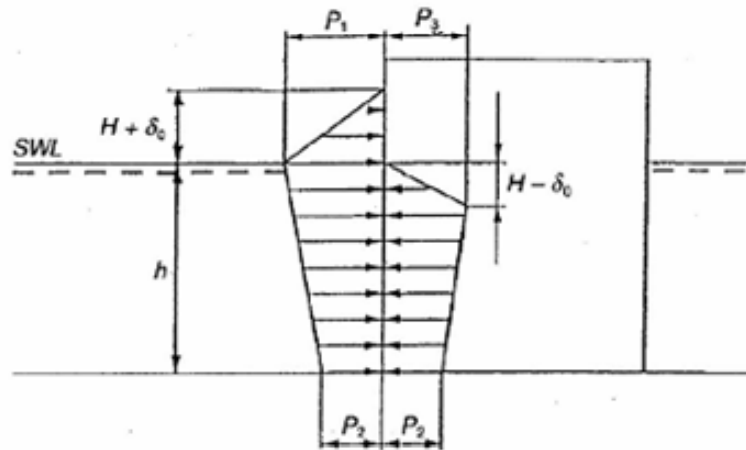
Mejoramiento Caleta Bucalemu



Mejoramiento Caleta Bucalemu

■ Diseño Estructural Dique Vertical

Fórmula de Sainflou (1928)

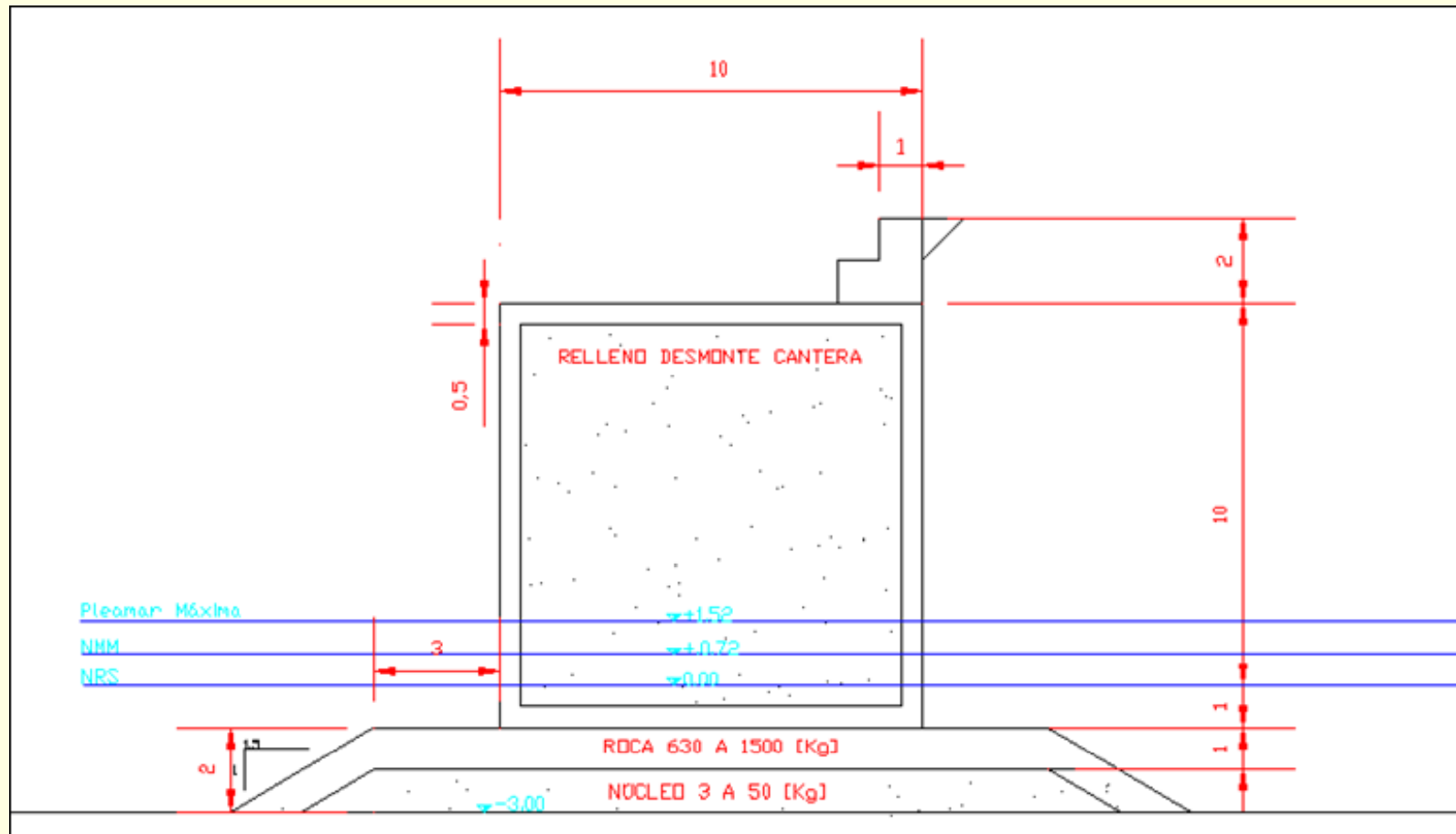


nto para el deslizamiento como
guales a 1.5 y 2.

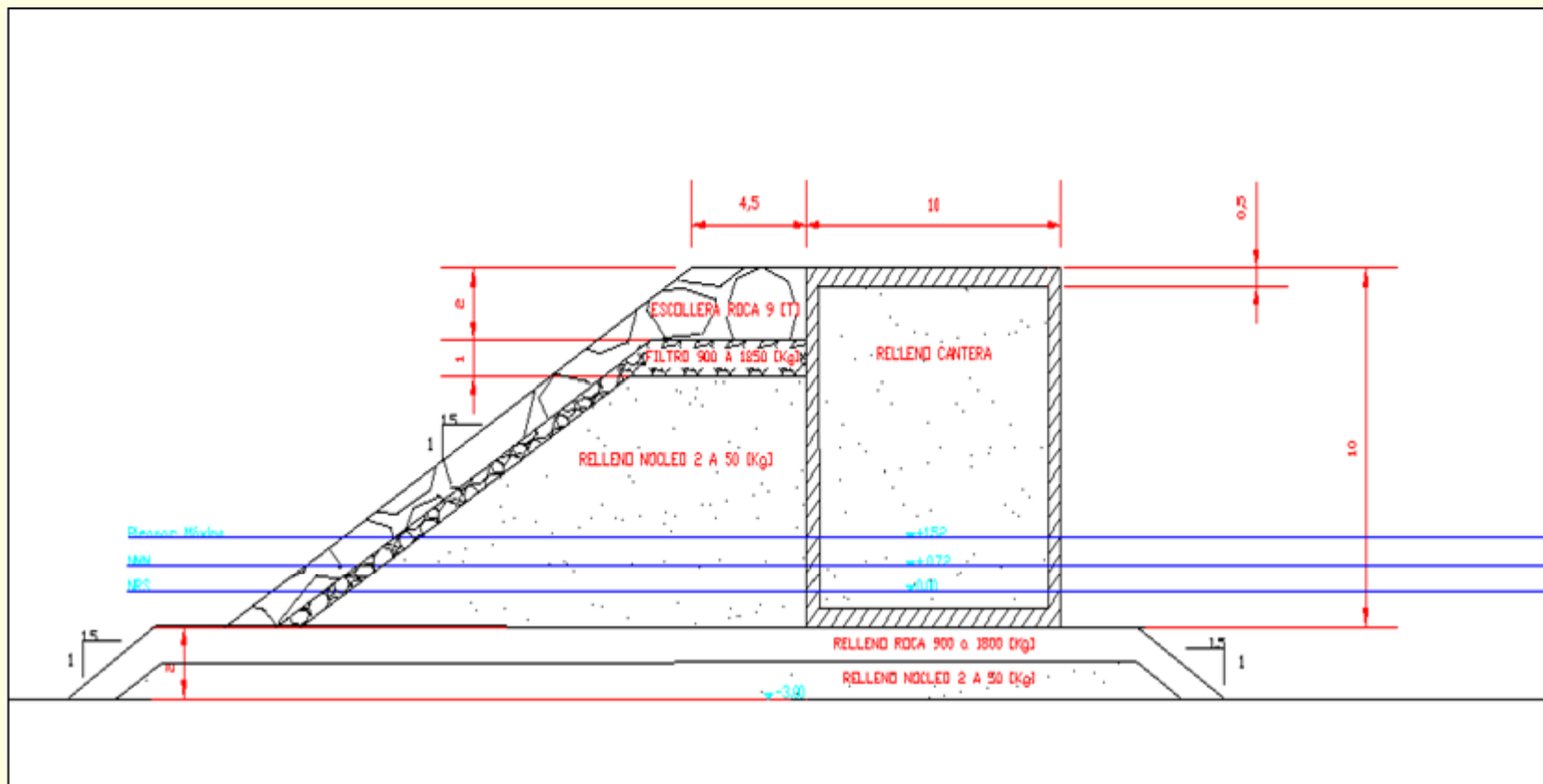
5.2 como factor de seguridad de

Datos de Entrada		
H	4.02	[m]
h	4.52	[m]
pw	1025,00	[T/m ³]
pr	2650,00	[T/m ³]
ph	2400,00	[T/m ³]
ancho	10,00	[m]
alto	12,00	[m]
alto sumergido	8.54	[m]

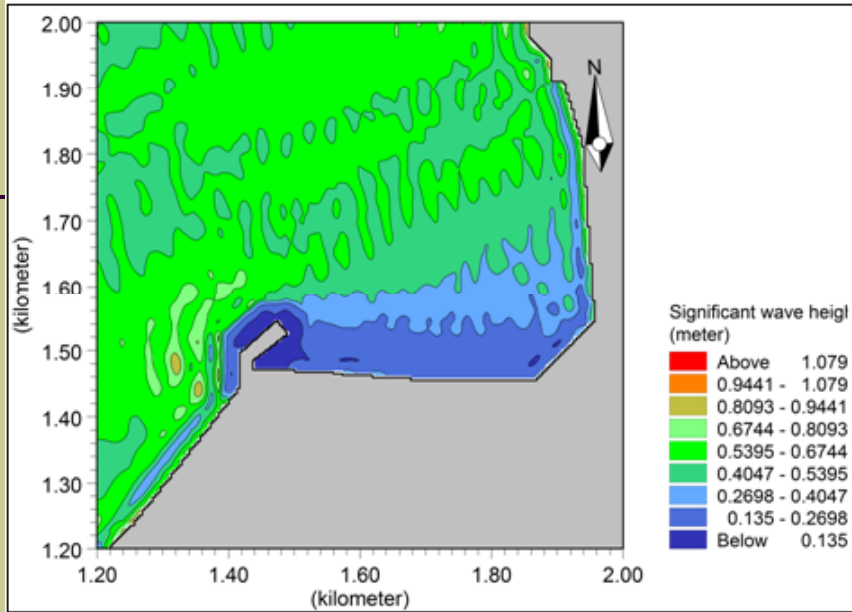
Mejoramiento Caleta Bucalemu



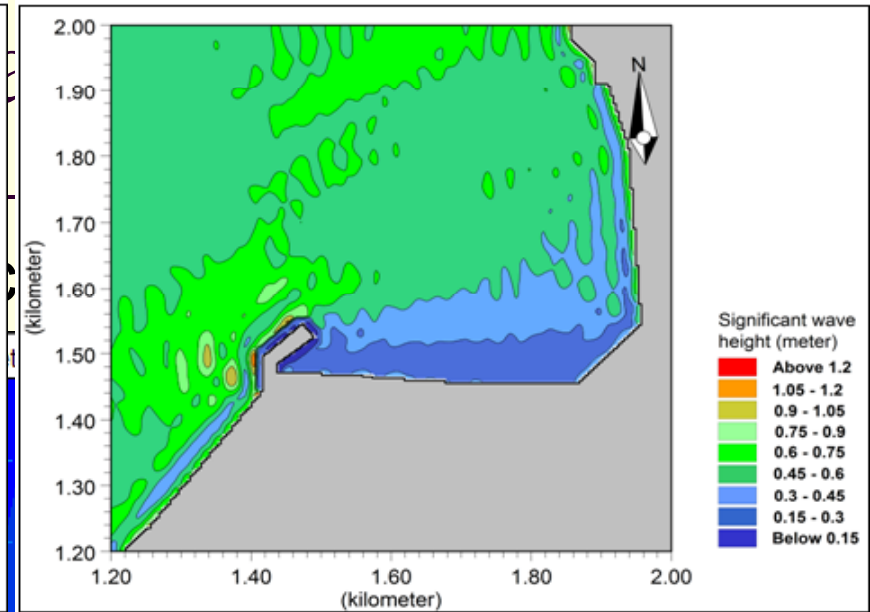
Mejoramiento Caleta Bucalemu



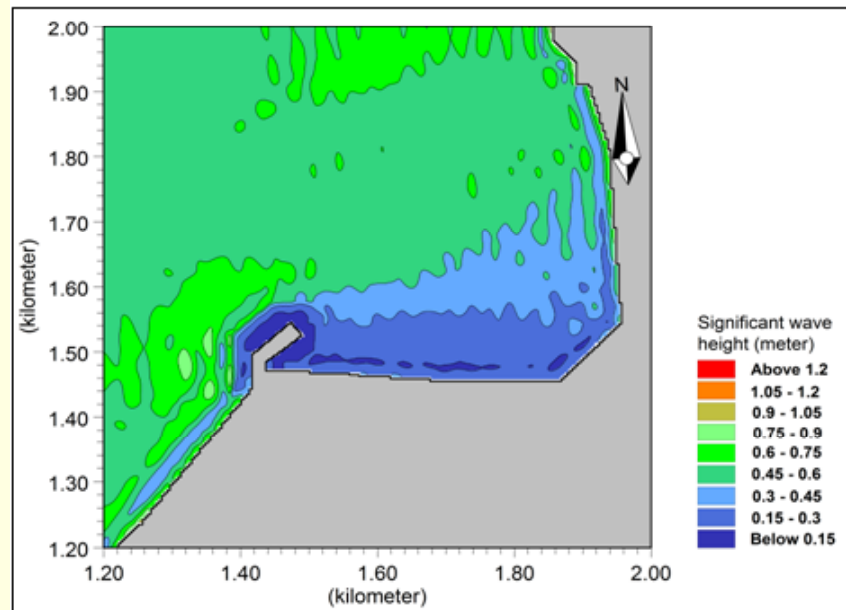
Resultado de altura de ola con dique en talud



Resultado de altura de ola con dique vertical



Resultado de altura de ola con dique mixto



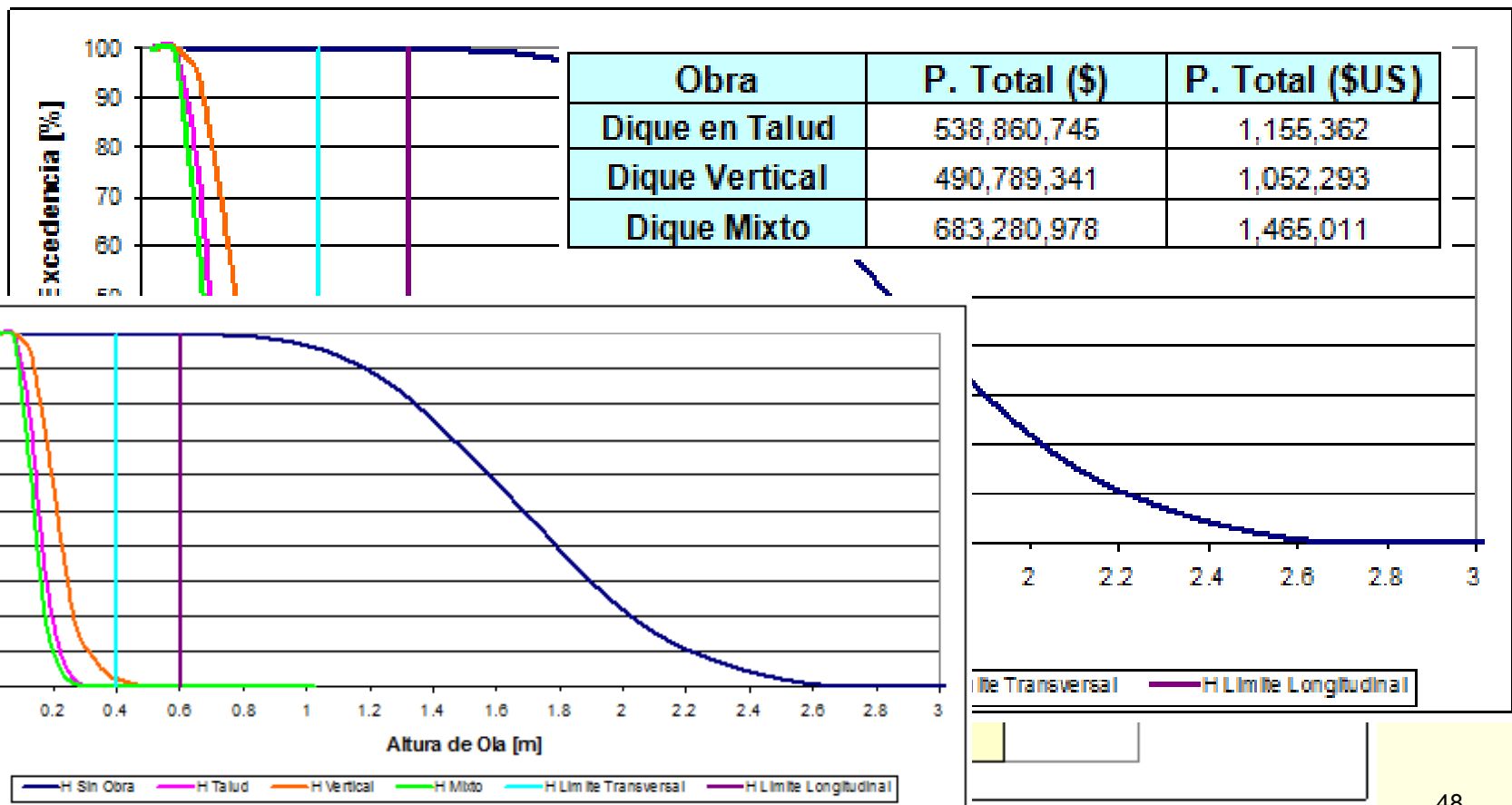
Mejoramiento Caleta Bucalemu

■ Operatividad Esperada

DOWNTIME				
Altura Limite/Tipología	Sin Obra	Dique Talud	Dique Vertical	Dique Mixto
Transversal	99.98%	0.03%	1.31%	0.02%
Longitudinal	99.73%	0.00%	0.06%	0.00%

Mejoramiento Caleta Bucalemu

■ Evaluación y Elección de la Estructura



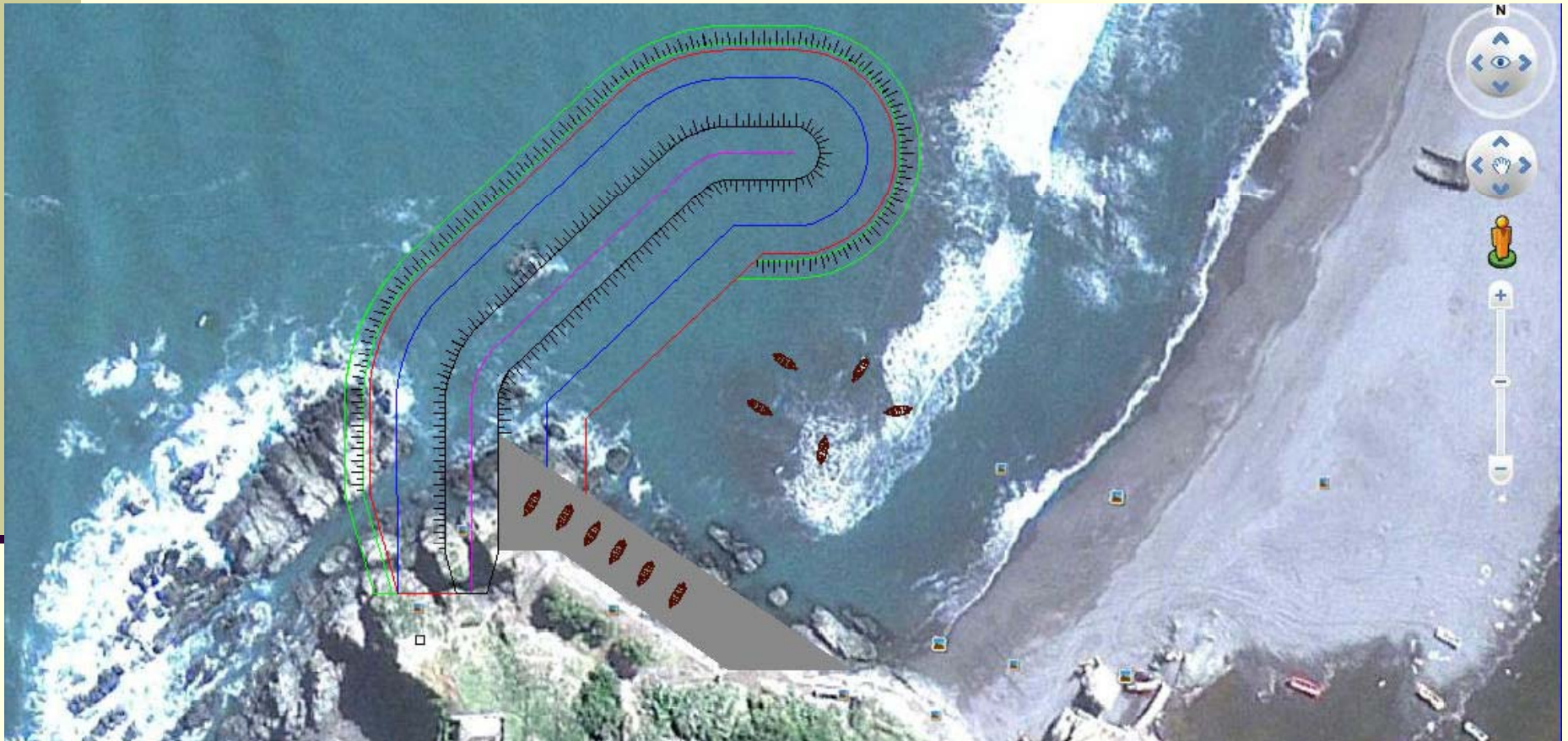
Mejoramiento Caleta Bucalemu

■ Detalles Estructura Elegida

Datos de Entrada			
Altura de Ola	H	4.02	m
Periodo	T	13	s
Gravedad	g	9.8	m/s ²
Longitud de Onda Offshore	Lo	217.95	m
Delta Marea	z	1.52	m
Peso especifico del agua	gw	1025	kgf/m ³
Peso especifico de la roca	gr	2650	kgf/m ³
Peso especifico del hormigón	gh	2400	kgf/m ³
Talud de la Obra		1.5	

Resultados					
Estructura	Material	Capas	Ancho [m]	Alto [m]	Peso [T]
Pie de Apoyo	roca angular random	3 y 2	2.09	1.4	0.9
			Intervalo de Pesos [T]		
Escollera	roca angular random	2	9.02		
Filtro	roca angular random	2	0.902		1.804
Núcleo	roca angular random	2	0.002		0.045

Mejoramiento Caleta Bucalemu





Conclusiones y Recomendaciones

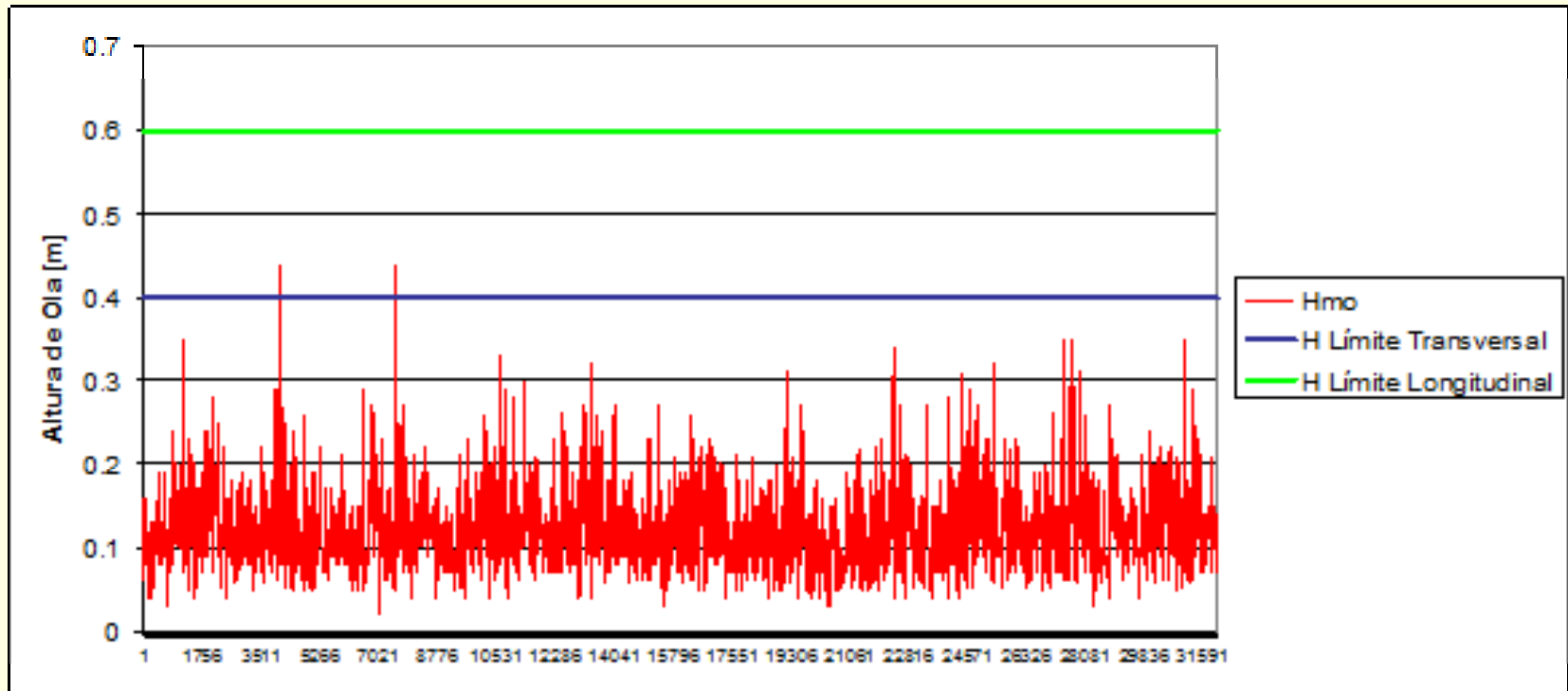
Conclusiones y Recomendaciones

■ Respecto de la Caracterización del Medio

- Los parámetros de resumen más representativos del oleaje medio son 247.5° para una altura de 1.75 [m] y un periodo de 13 [s].
- Operatividad no óptima, teniendo un downtime de 99.98% para altura límite transversal y un 99.73% para altura límite longitudinal.
- La roca presente en el sector es del tipo pizarra, la cual a simples golpes se rompe, es por esta razón que no es utilizable en la estructura de abrigo, salvo como material de relleno
- Hay una modificación de la dinámica del litoral, encontrándose presencia de arena mediana y fina en zonas de comienzo de playa, debido al movimiento sísmico y posterior tsunami ocurrido el 27 de Febrero del 2010.
- La distribución transversal del transporte longitudinal es hasta los 3 [m] de profundidad.

Conclusiones y Recomendaciones

- Respecto del Diseño de la Estructura de Abrigo



Conclusiones y Recomendaciones

■ Recomendaciones Generales

- La batimetría no es la real de la zona ya que se obtuvo por medio de interpolaciones, se recomienda hacer un levantamiento topo batimétrico in situ.
- Sobre en análisis geológico, se aconseja realizar un estudio más a fondo, como por ejemplo la realización de un mapa geológico además de lanzas de agua y mecánica de suelos.
- Stwave y Mike 21 BW son una gran herramienta para el desarrollo de estudios marítimos y de fácil uso, sin embargo se recomienda realizar mediciones para calibrar los modelos.
- Los resultados de la toma de muestra de sedimentos no son del todo representativos, ya que realizaron post terremoto y tsunami, pero con las formulaciones ocupadas se puede obtener la dirección del transporte de sedimentos. Se recomienda una posterior toma de muestras y comparar los resultados con los de esta memoria.

Conclusiones y Recomendaciones

■ Recomendaciones Generales

- Para las rocas utilizadas en la escollera de la obra no se consideró el transporte de estas. Para posteriores cotizaciones se debe considerar el transporte del material rocoso o bien el costo y transporte de elementos de hormigón.
- Además se debe considerar del transporte de los restantes elementos de construcción necesarios para las estructuras como también todas las obras anexas.
- Este proyecto de título es solo un estudio de ingeniería básica y no basta esta información para construir.



Por su atención, Gracias

Mapa Geológico

