

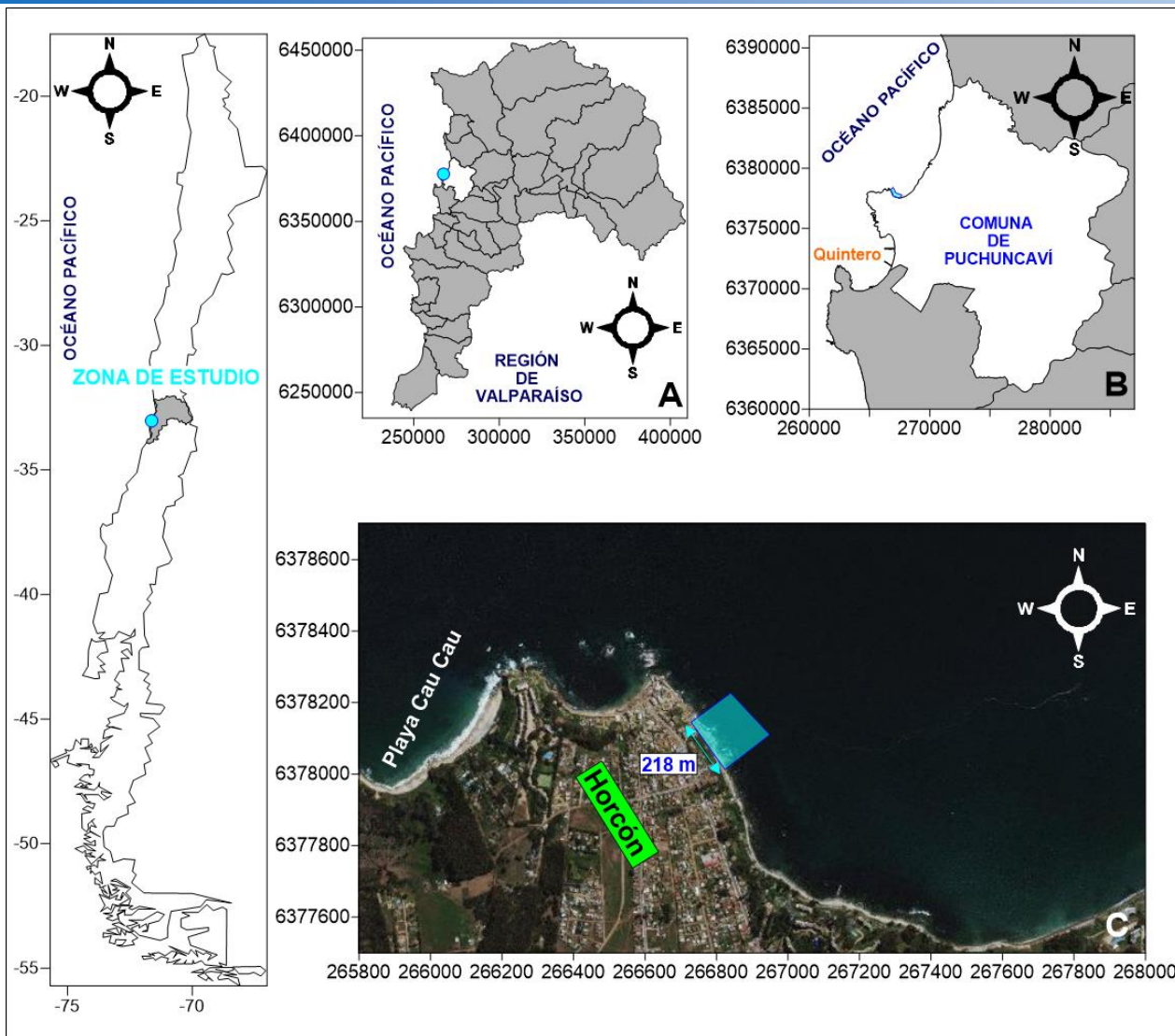
# PROPUESTA DE UN ENROCADO DE PROTECCIÓN EN EL BORDE COSTERO DE HORCÓN Y VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO MEDIANTE MODELACIÓN CFD

FELIPE GALAZ GALLARDO

24 DE ENERO 2020



# INTRODUCCIÓN



LEYENDA:

 Zona de Estudio

CARTERÍSTICAS CARTOGRÁFICAS:

Escala Figura A

0 Km 50 Km 100 Km 150 Km

Escala Figura B

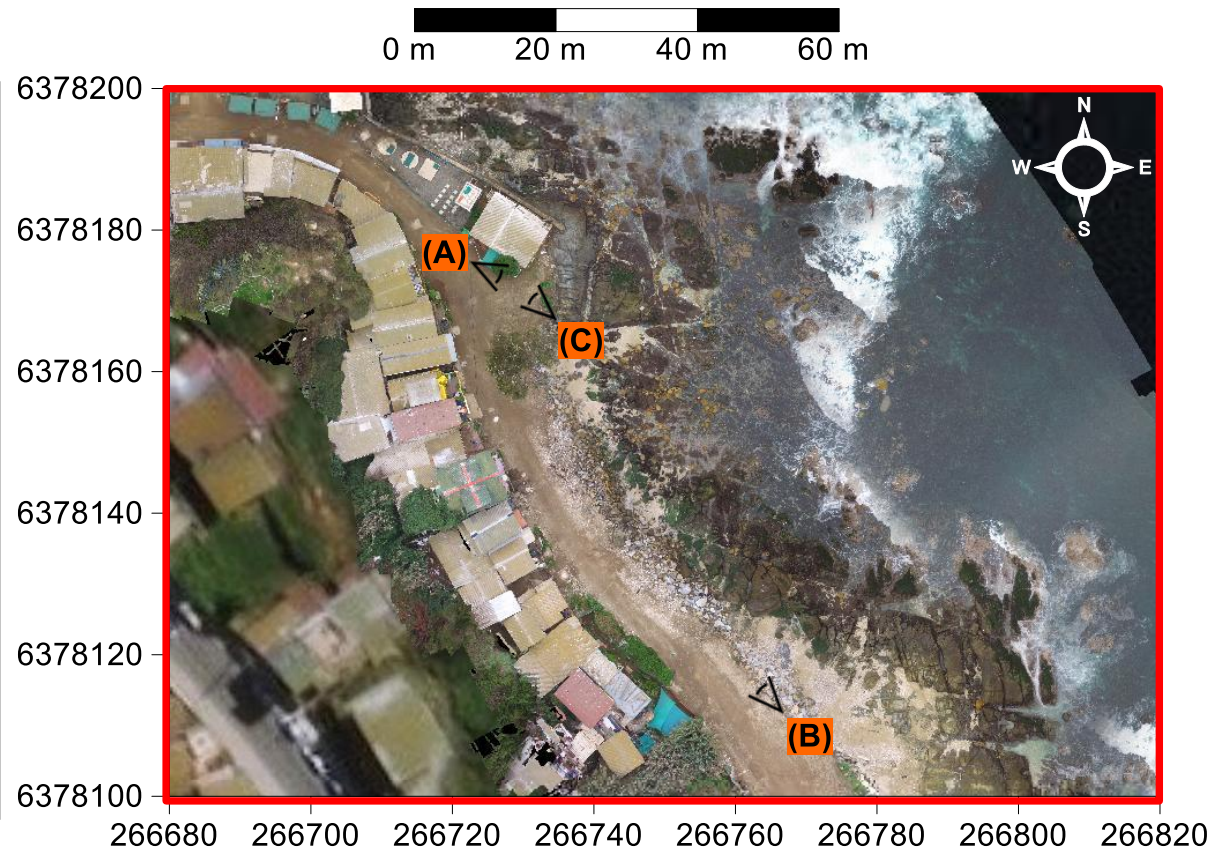
0 Km 5 Km 10 Km 15 Km

Escala Figura C

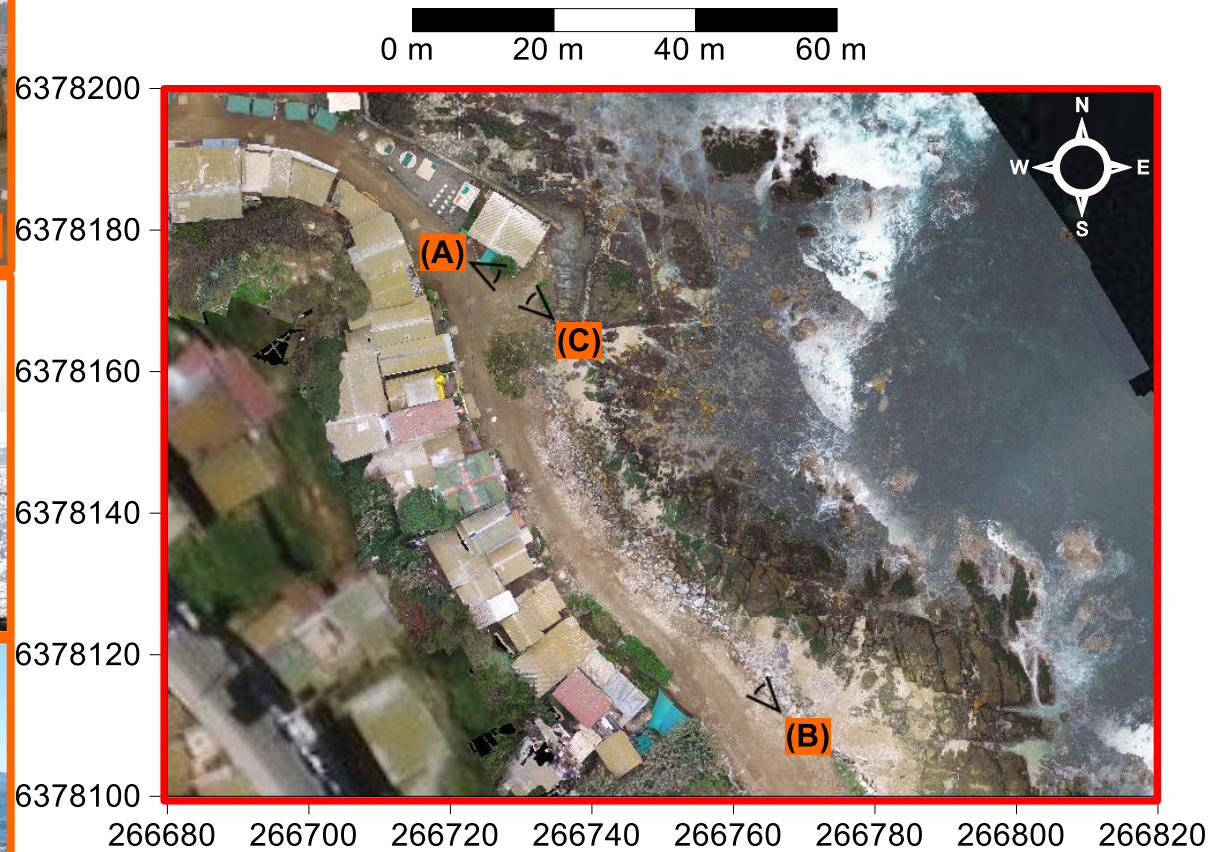
0 m 500 m 1000 m 1500 m

COORDENADAS UTM EN METROS  
DATUM WGS 1984, HUSO 19S  
IMAGEN BASE: WORLD IMAGEN

# INTRODUCCIÓN



# INTRODUCCIÓN



## OBJETIVO GENERAL:

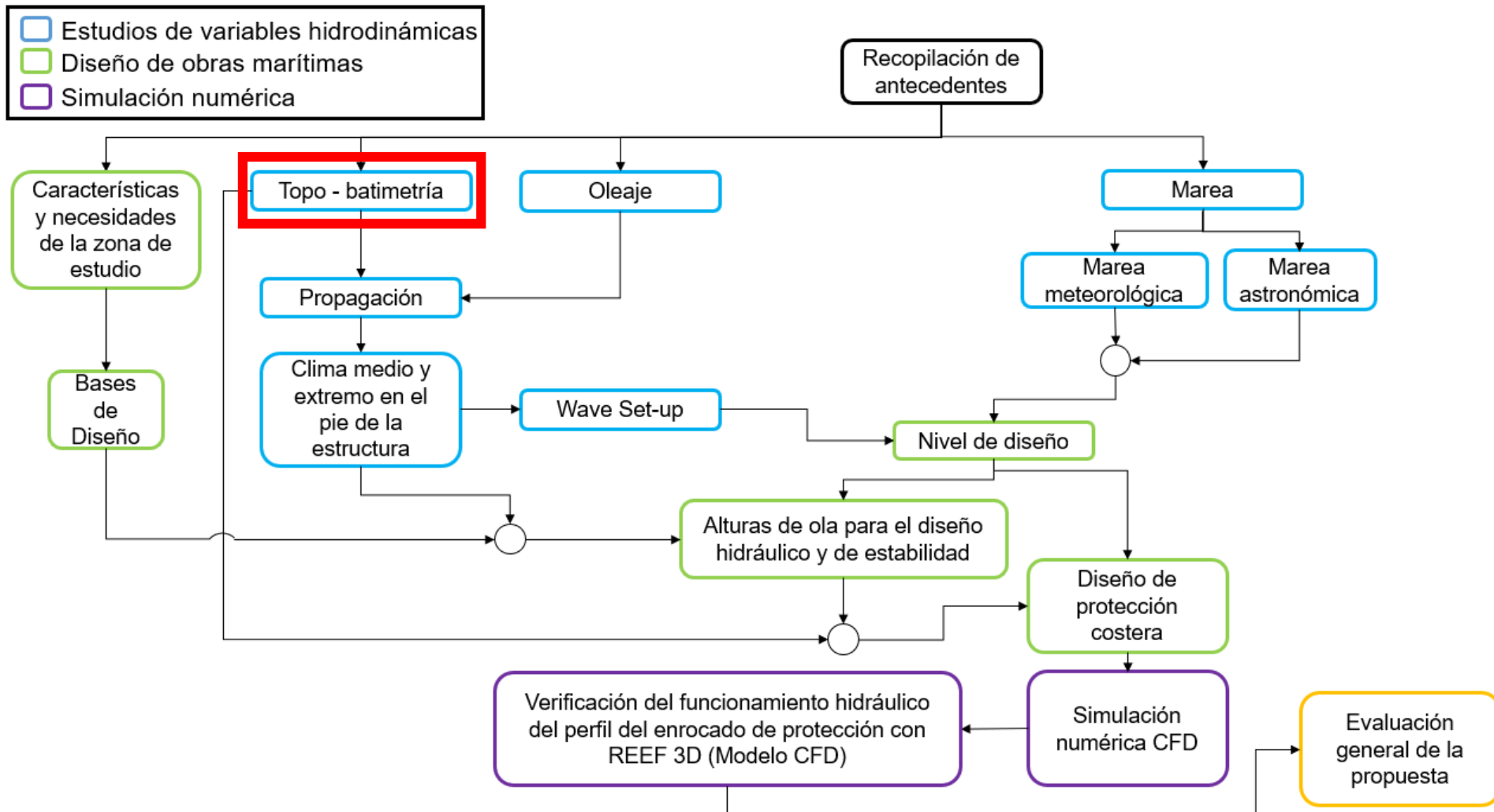
- **Proponer un enrocado de protección** en el borde costero de **Horcón**, que permita **resguardar** y dar seguridad a las **viviendas** ubicadas en el sector de estudio.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

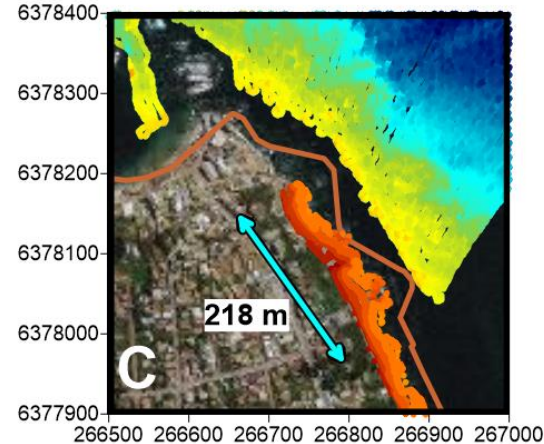
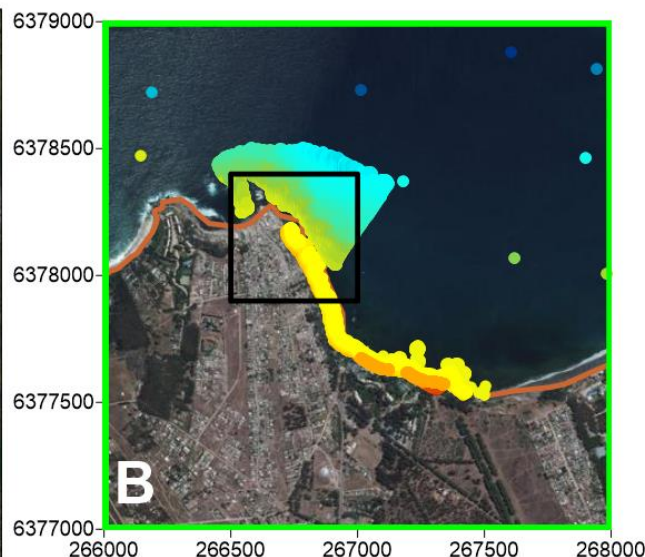
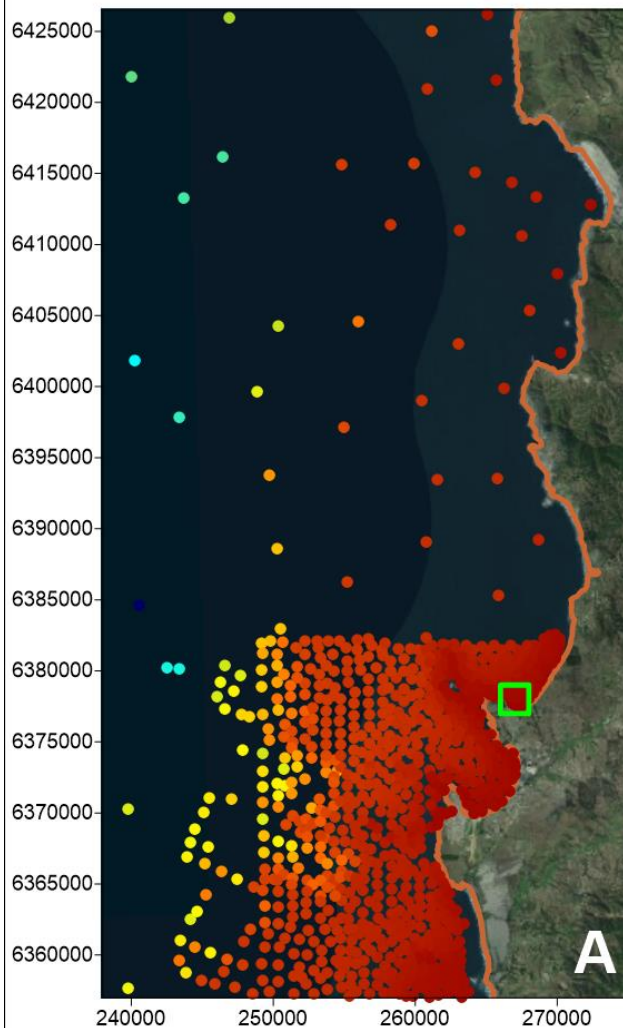
- Clima **medio** y **extremo** en la zona interés.
- **Nivel de diseño.**
- Diseño de **estabilidad e hidráulico.**
- Verificar el **funcionamiento hidráulico** (*REEF3D*).

## ALCANCES Y LIMITACIONES

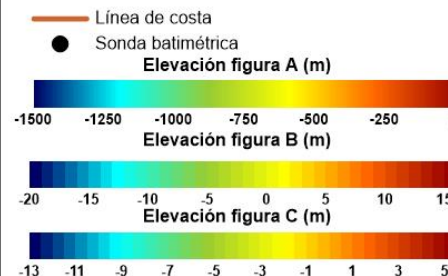
- Solo se utilizaron datos públicos.
  - Atlas de **Oleaje UV** (Beya J., 2016).
  - **Topo-Batimétrica DOP** (“Análisis técnico borde costero Puchuncaví” y “Diseño Construcción Infraestructura Marítima Caleta Horcón, Puchuncaví”).
  - **30 días** de marea **DOP en Horcón/ 1 año** del *IOC Sea Level Monitoring* en **Quintero**.
  - **Cartas SHOA**, específicamente las N° **4320** y N° **4321**.
- **No** se consideró la instalación de **equipos de medición**.



# DATOS PARA EL DISEÑO



LEYENDA:



CARTERÍSTICAS CARTOGRÁFICAS:

Escala Figura A

0 Km 5 Km 10 Km 15 Km

Escala Figura B

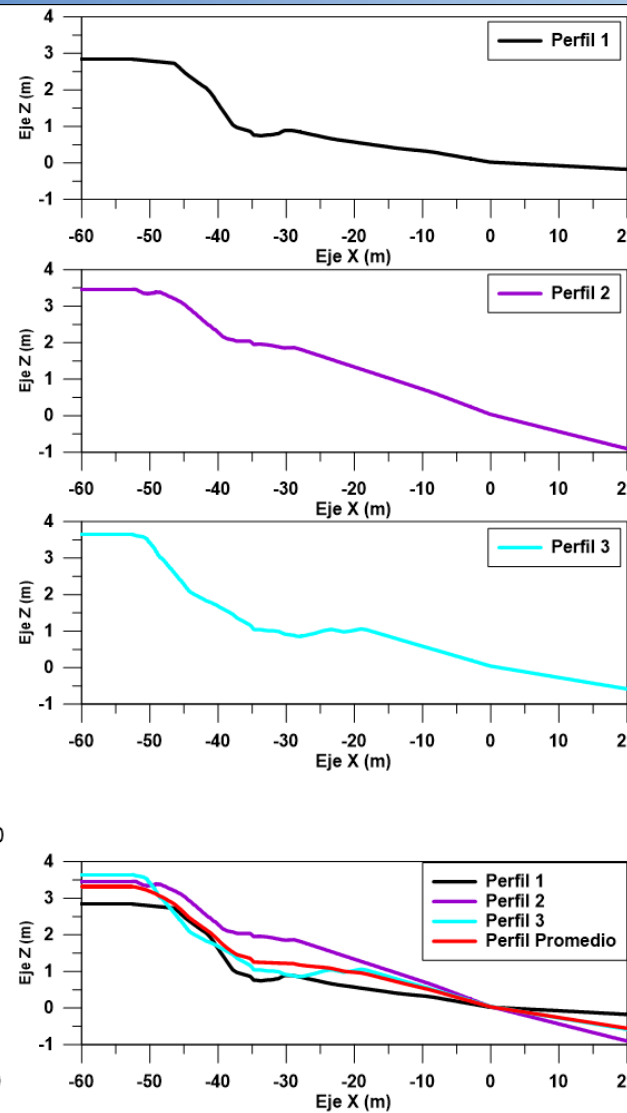
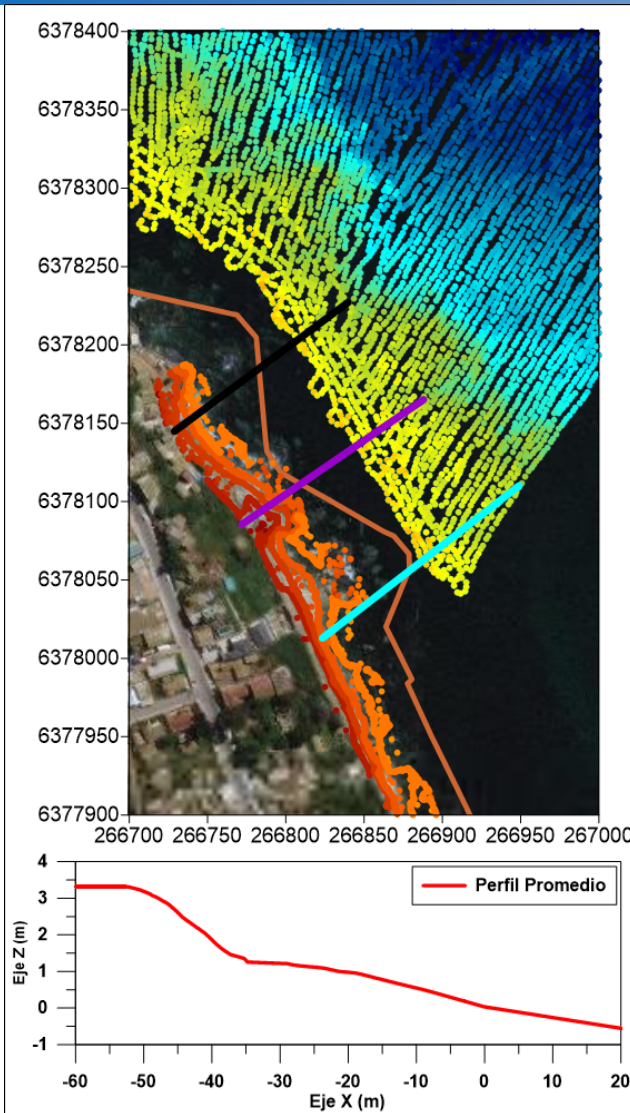
0 m 300 m 600 m 900 m

Escala Figura C

0 m 100 m 200 m 300 m

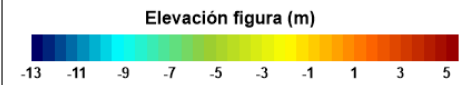
COORDENADAS UTM EN METROS  
DATUM WGS 1984, HUSO 19  
IMAGEN BASE: WORLD IMAGEN

# DATOS PARA EL DISEÑO

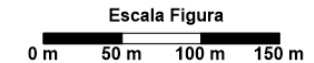


LEYENDA:

- Línea de costa
- Sonda batimétrica

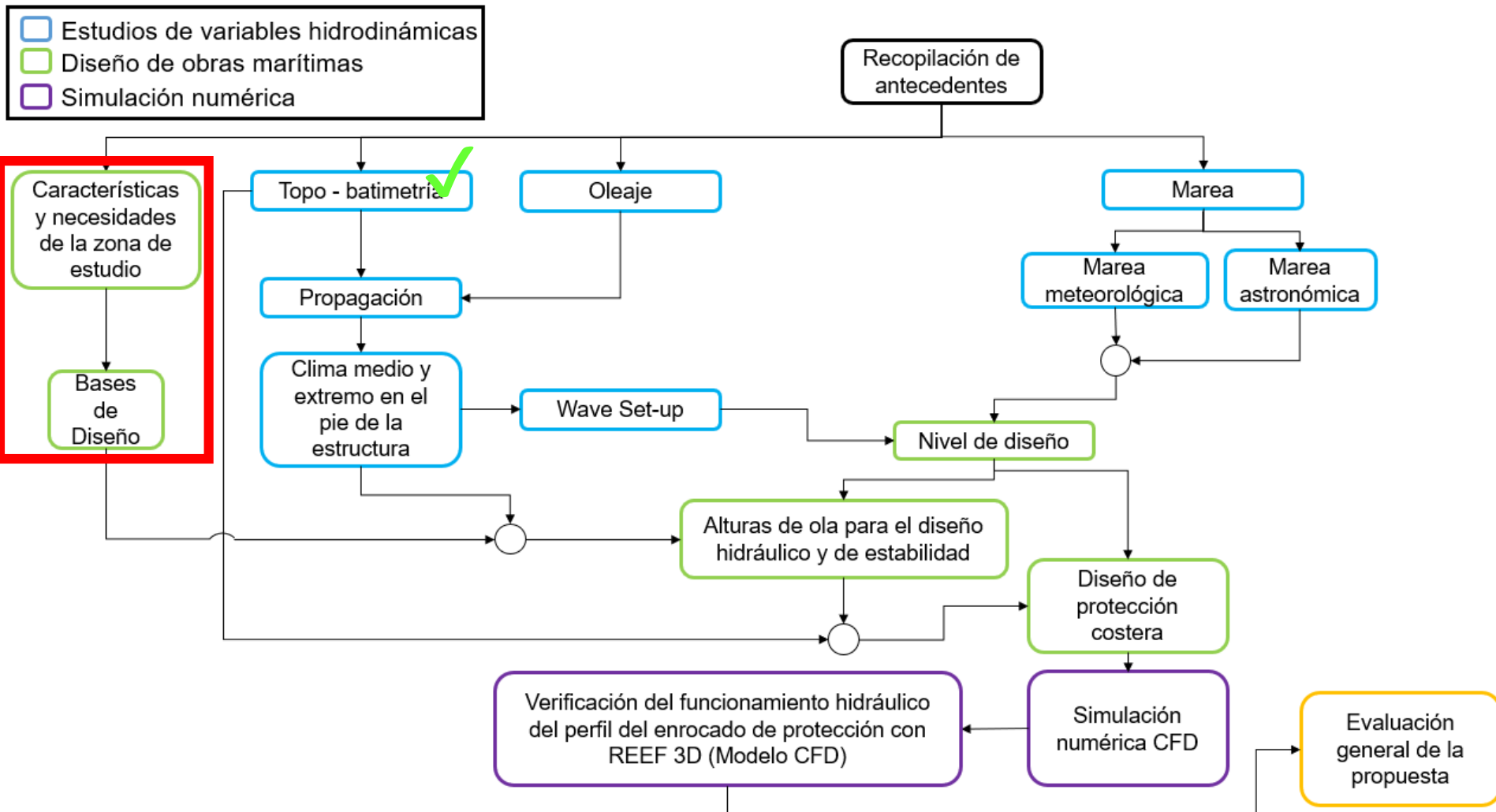


CARTERÍSTICAS CARTOGRÁFICAS:



COORDENADAS UTM EN METROS  
DATUM WGS 1984, HUSO 19  
IMAGEN BASE: WORLD IMAGEN



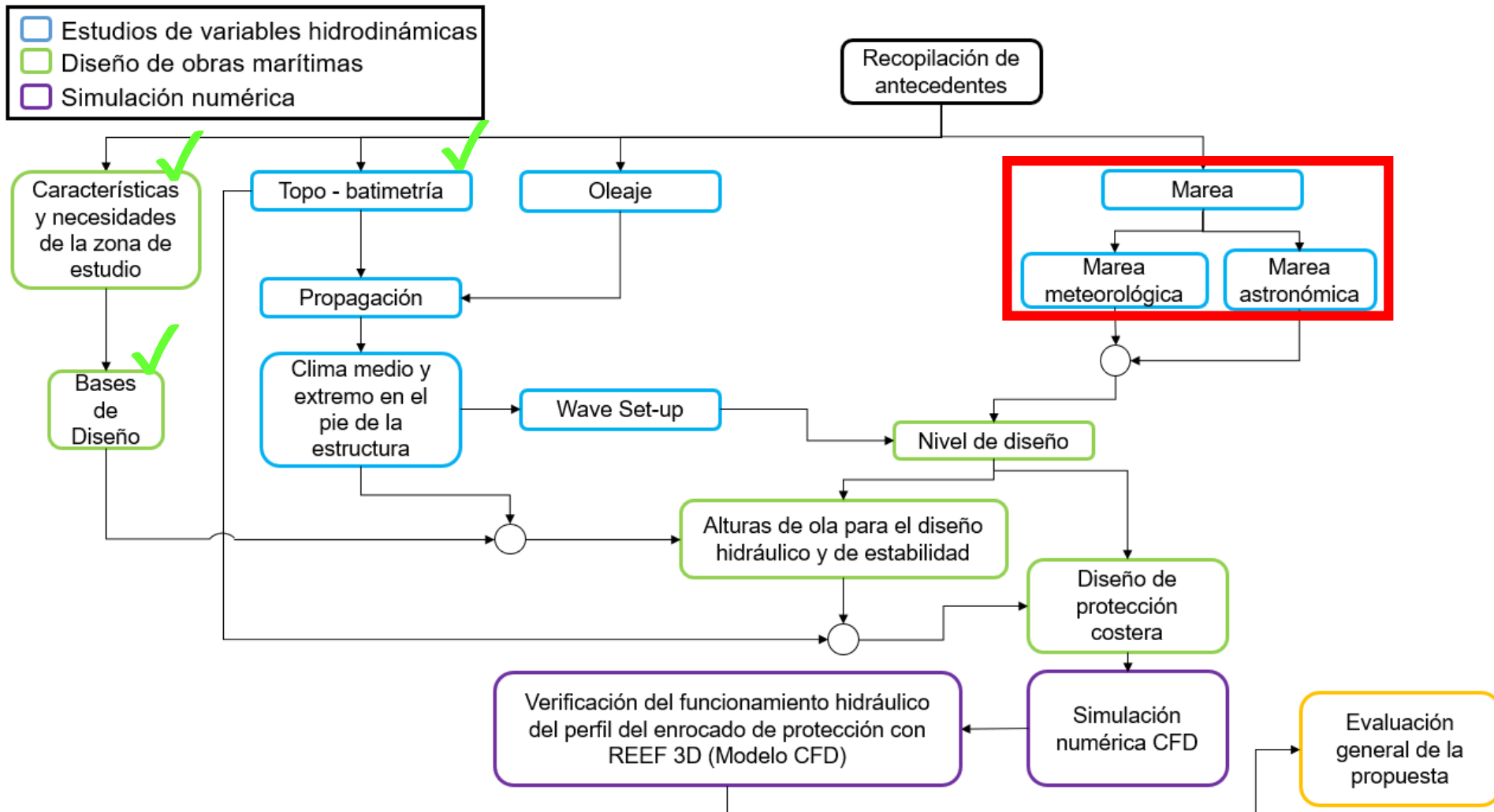


Infraestructura de carácter general de **Nivel**, la **vida útil** para este enrocado de protección es de **25 años**.

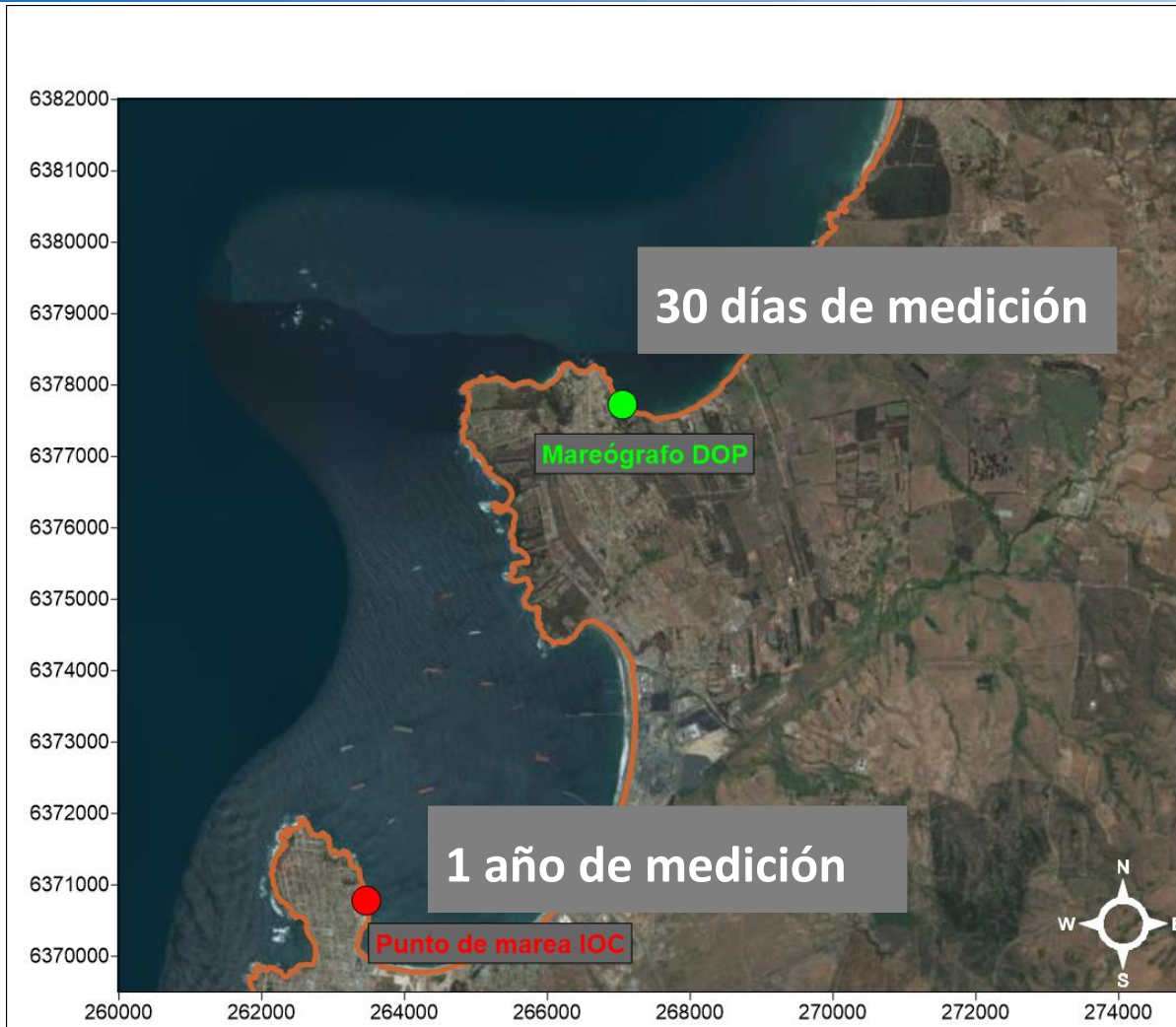
El **riesgo** máximo ad  
posibilidad de pérdidas  
averías media a baja.

El **periodo de retorno**  
utilizó como **50 años** de

Obras e instalaciones de interés local o auxiliares. **Pequeño riesgo de pérdidas de vidas** humanas o daños medioambientales **en caso de rotura**. (**Obras de defensa** y regeneración de costas, obras en puertos menores deportivos, emisarios locales, pavimentos, instalaciones para manejo y manipulación de mercancías, edificaciones,...)(0.2-90, 1990).



# MAREA



LEYENDA:

— Línea de costa

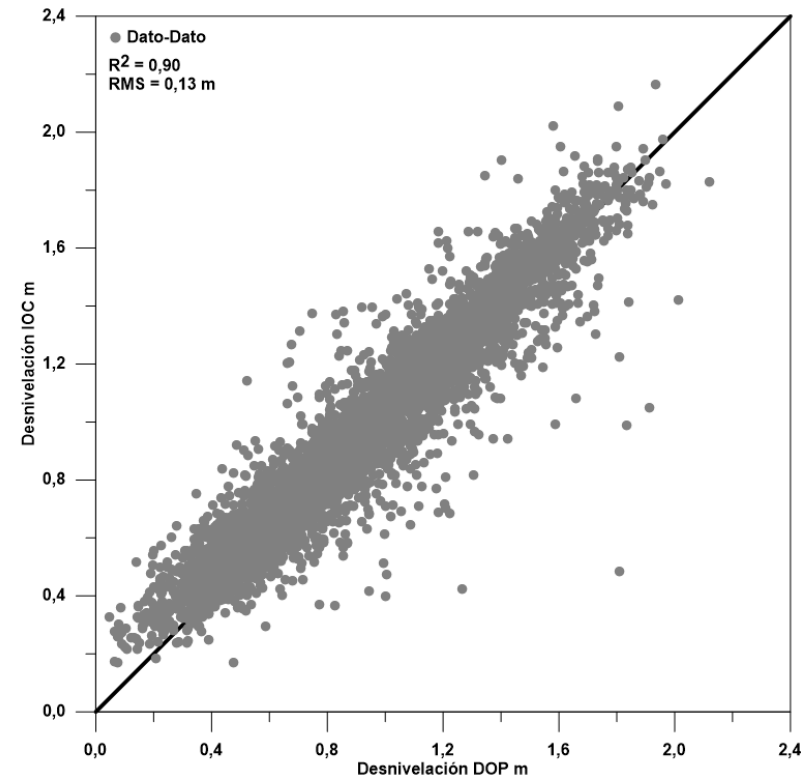
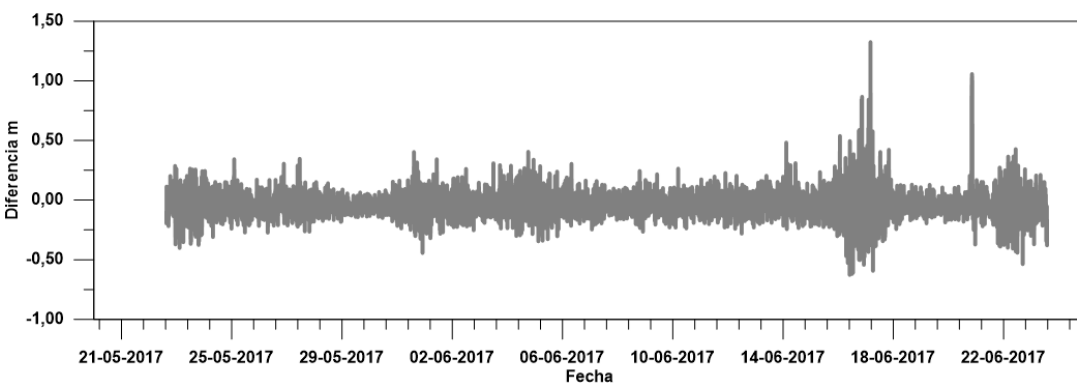
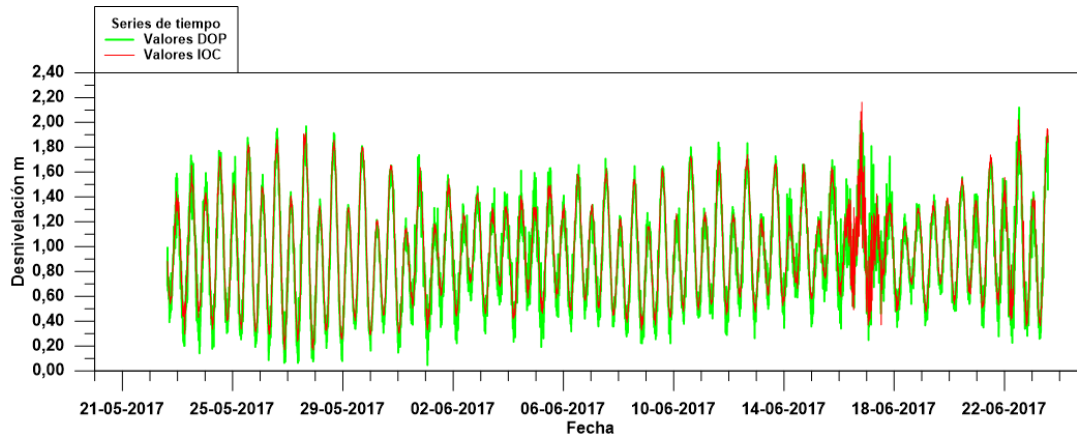
CARACTERÍSTICAS CARTOGRÁFICAS:

Escala Figura

0 Km 1 Km 2 Km 3 Km

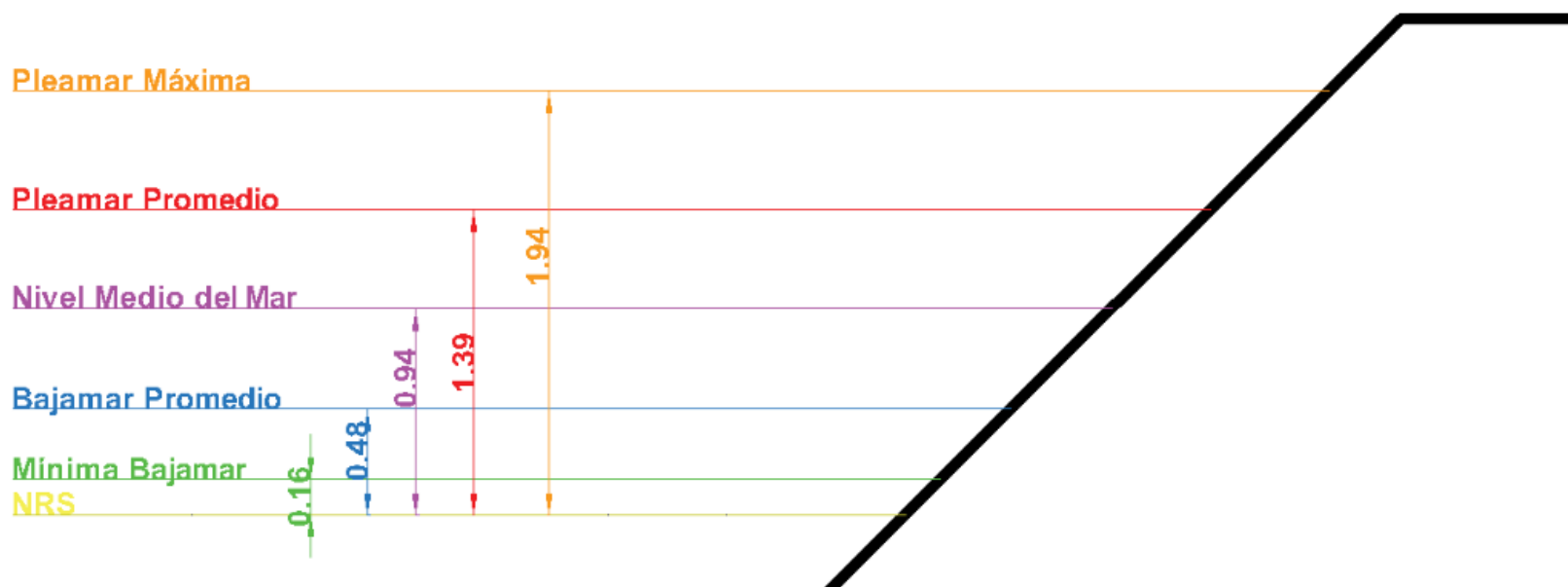
COORDENADAS UTM EN METROS  
DATUM WGS 1984, HUSO 19S  
IMAGEN BASE: WORLD IMAGEN



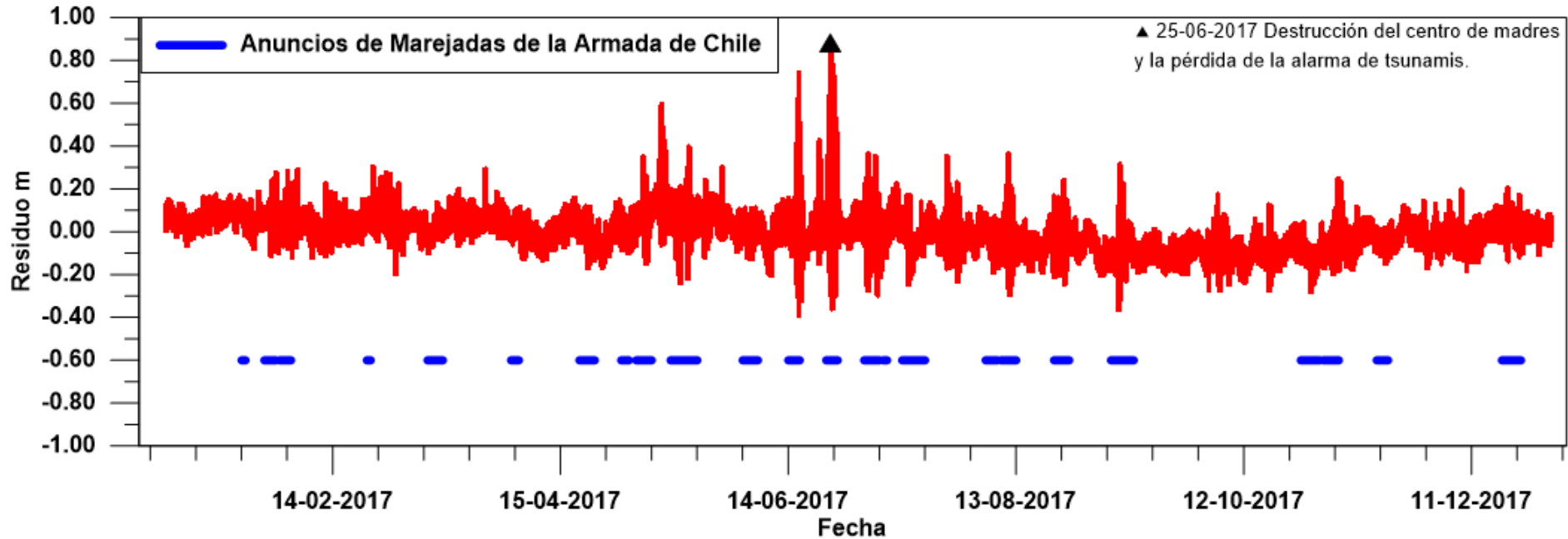


# MAREA ASTRONÓMICA

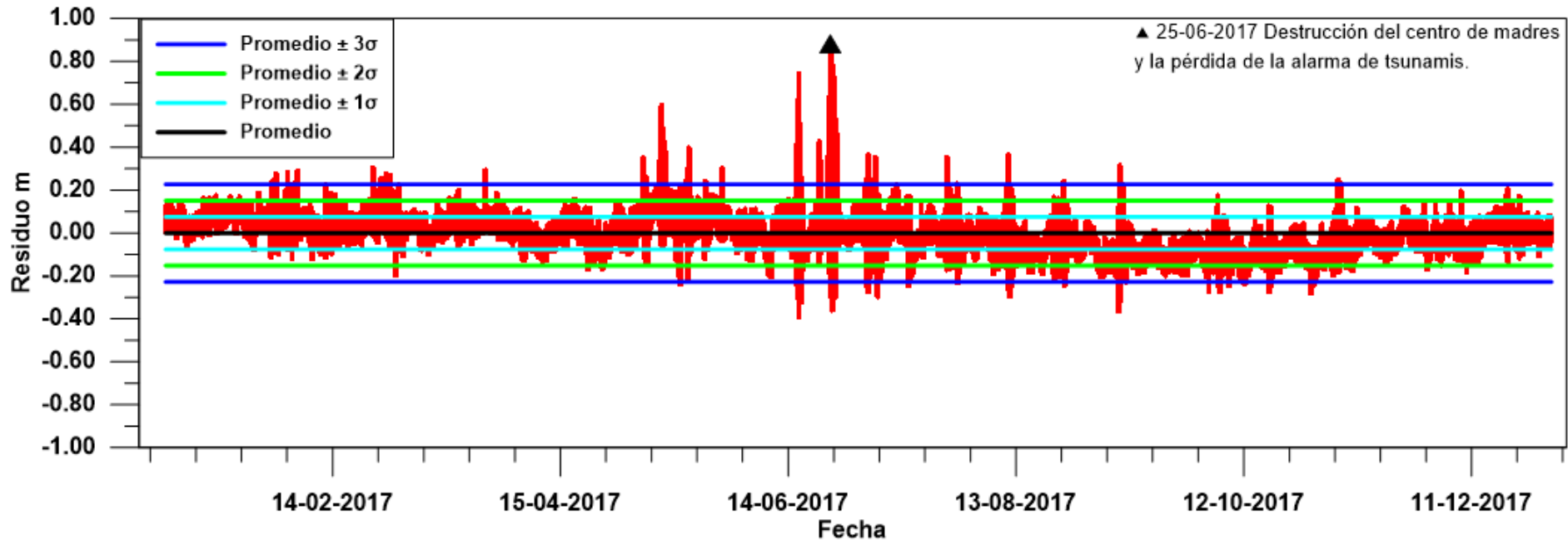
	Valor (m)
Pleamar Máxima	1.94
Promedio Pleamares	1.39
Nivel Medio del Mar	0.94
Promedio Bajamares	0.48
Bajamar Mínima	0.16



# MAREA METEOROLÓGICA

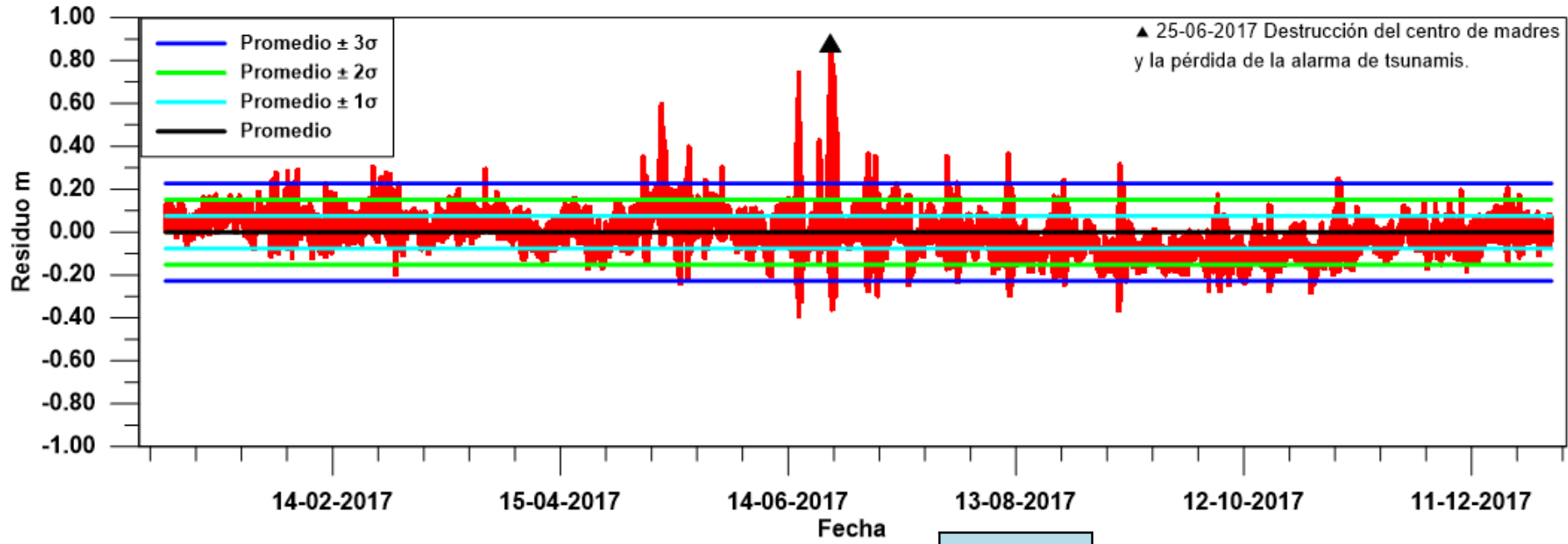


# MAREA METEOROLÓGICA

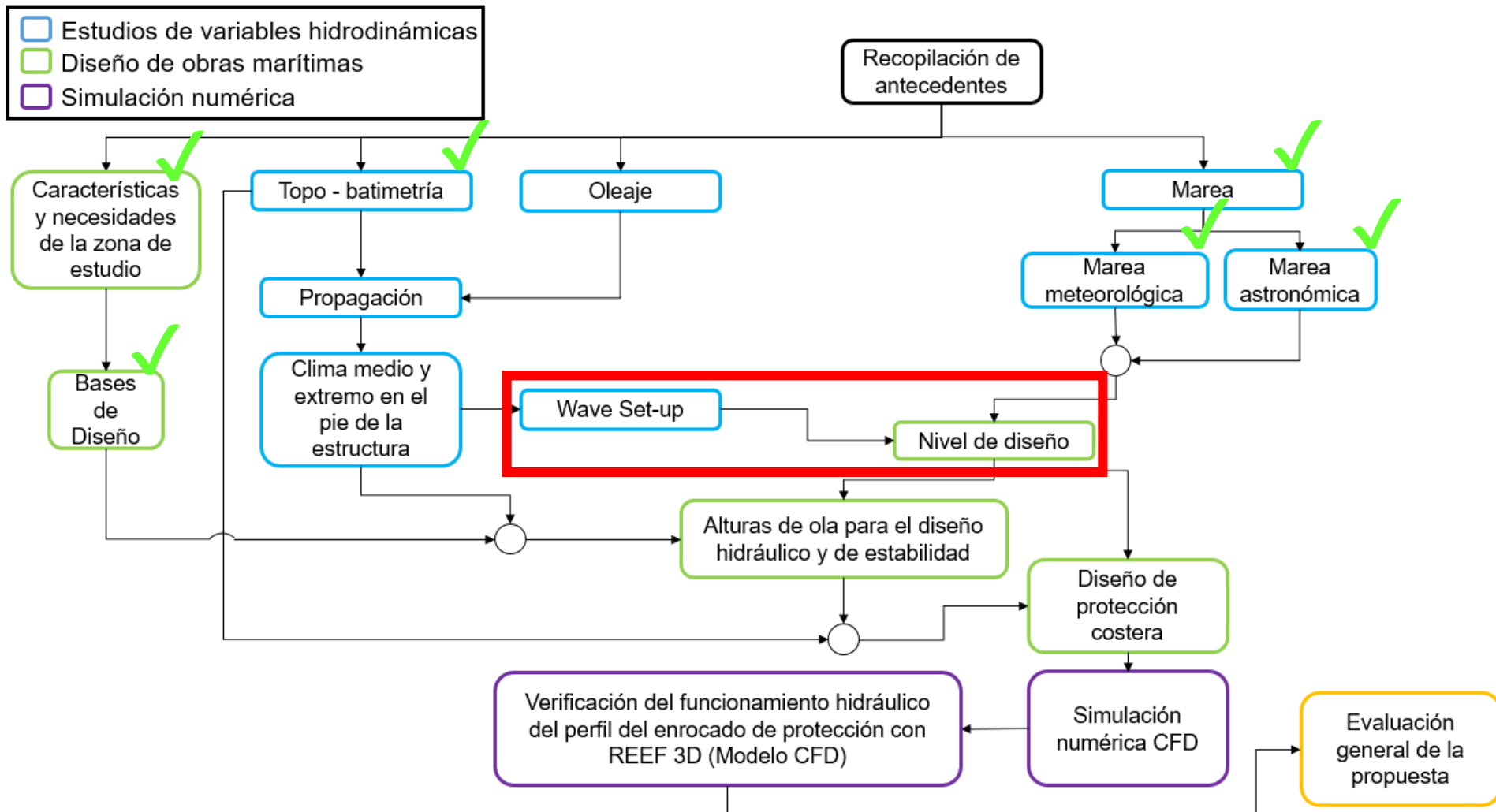




# MAREA METEOROLÓGICA



	Valor (m)
Mínimo	-0.38
Máximo	0.87
Promedio	0.00
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.08
Promedio + $\sigma$	0.08
Promedio + 2* $\sigma$	0.15
Promedio + 3* $\sigma$	0.23



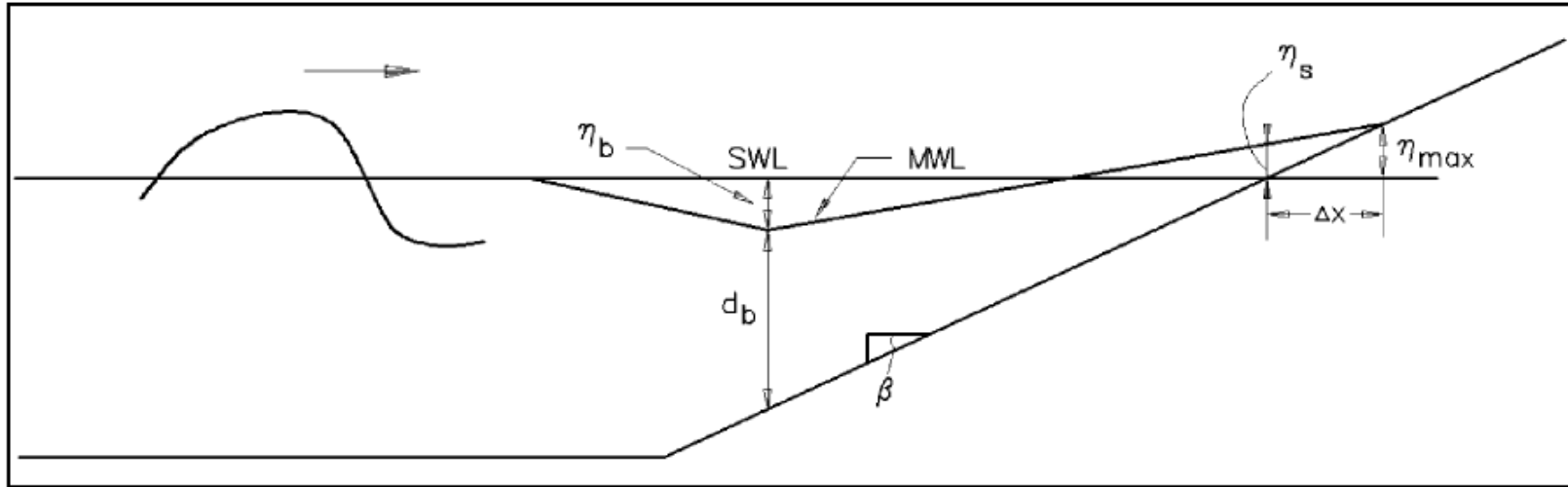


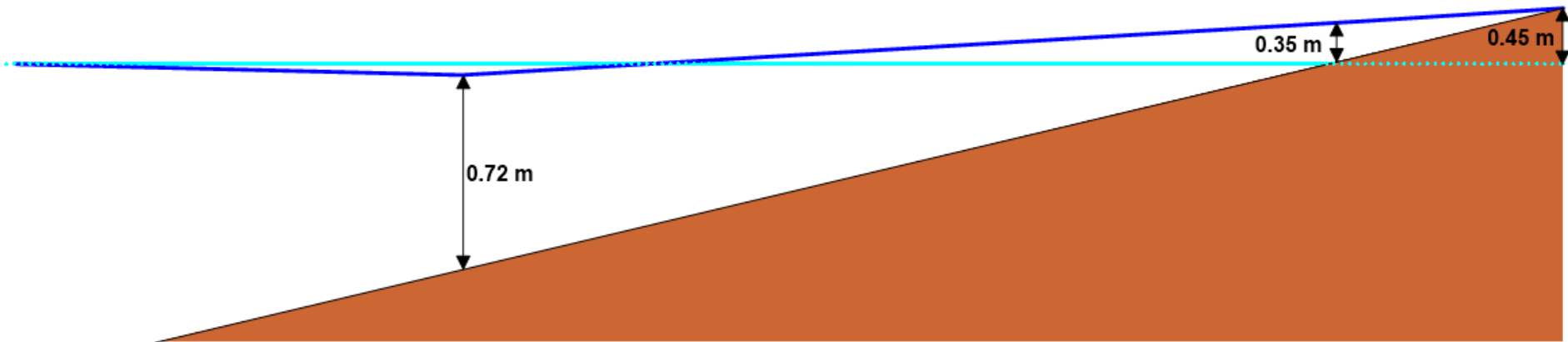
Figure II-4-7. Definition sketch for wave setup

McCowan (1891)

Weggel (1972)

Komar y Gaughan (1972)

# WAVE SETUP

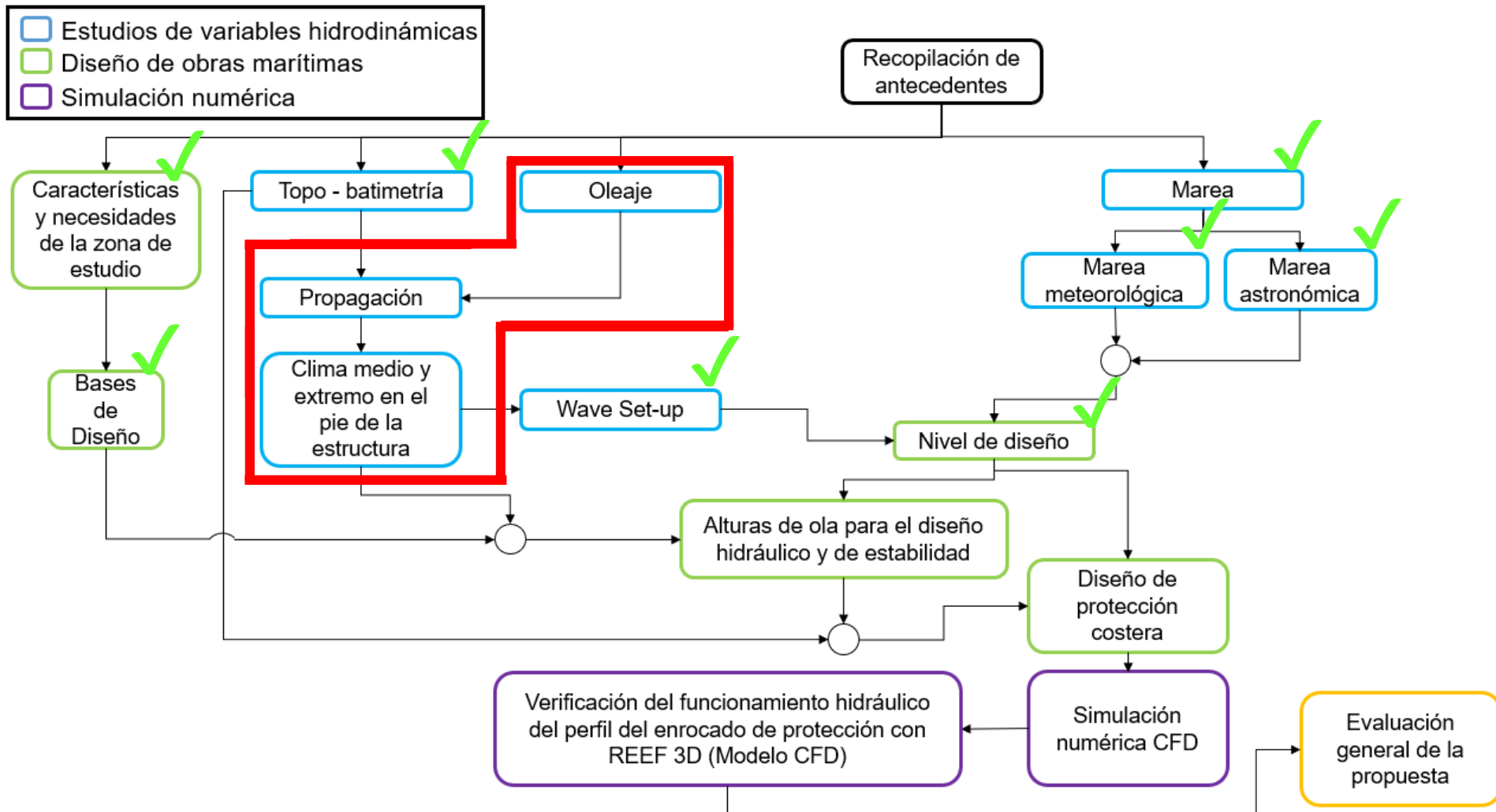


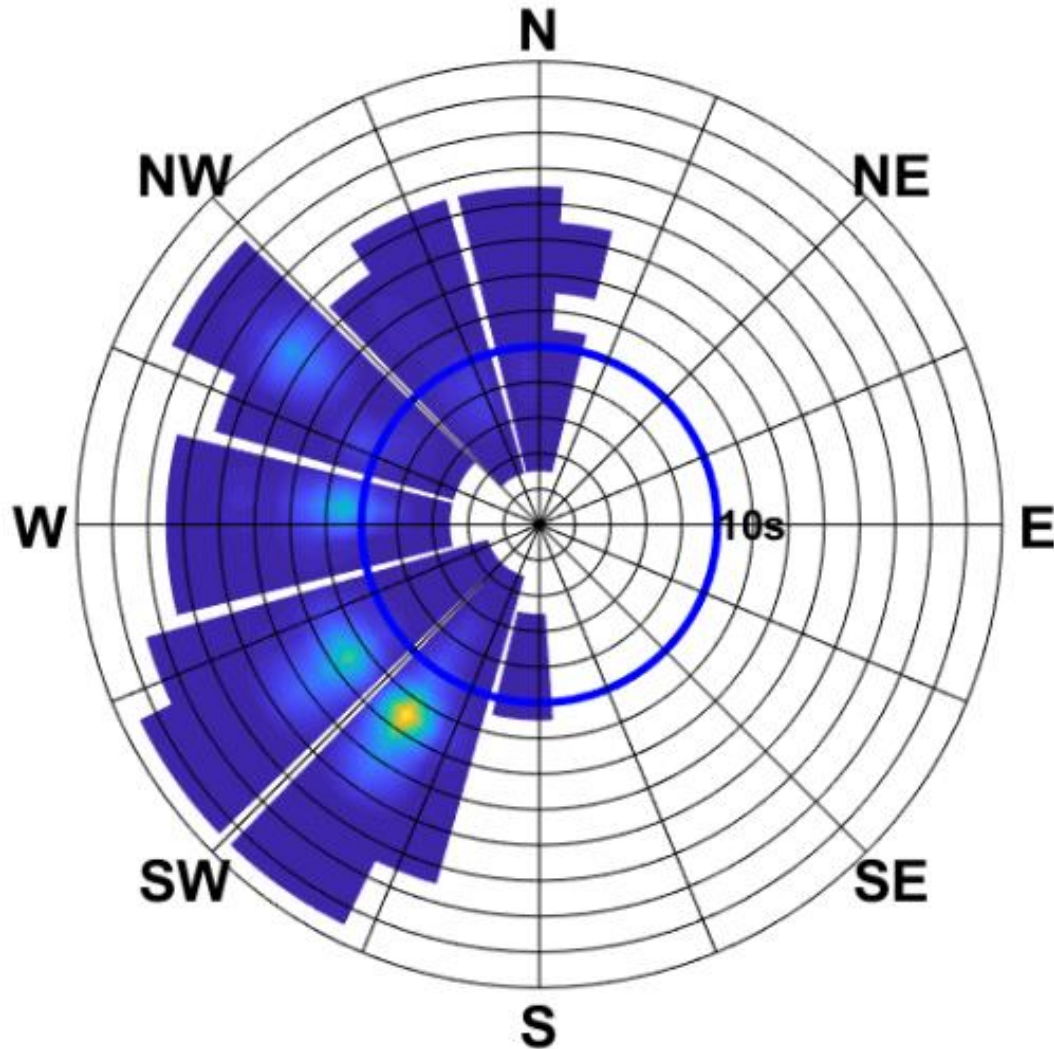
	x (m)	$\eta$ (m)
$\eta_b$	181.38	-0.09
$\eta_s$	0.00	0.35
$\eta_{max}$	-37.94	<b>0.45</b>

*Nivel de diseño = Prom. Pleamares + (Prom. MM + 3 \*  $\sigma$ ) + Wave setup*

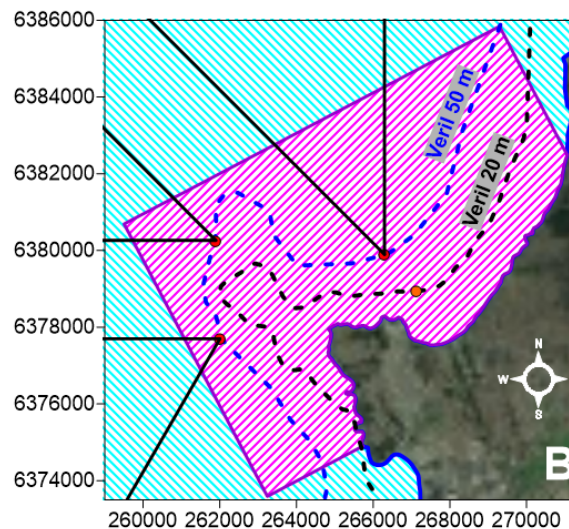
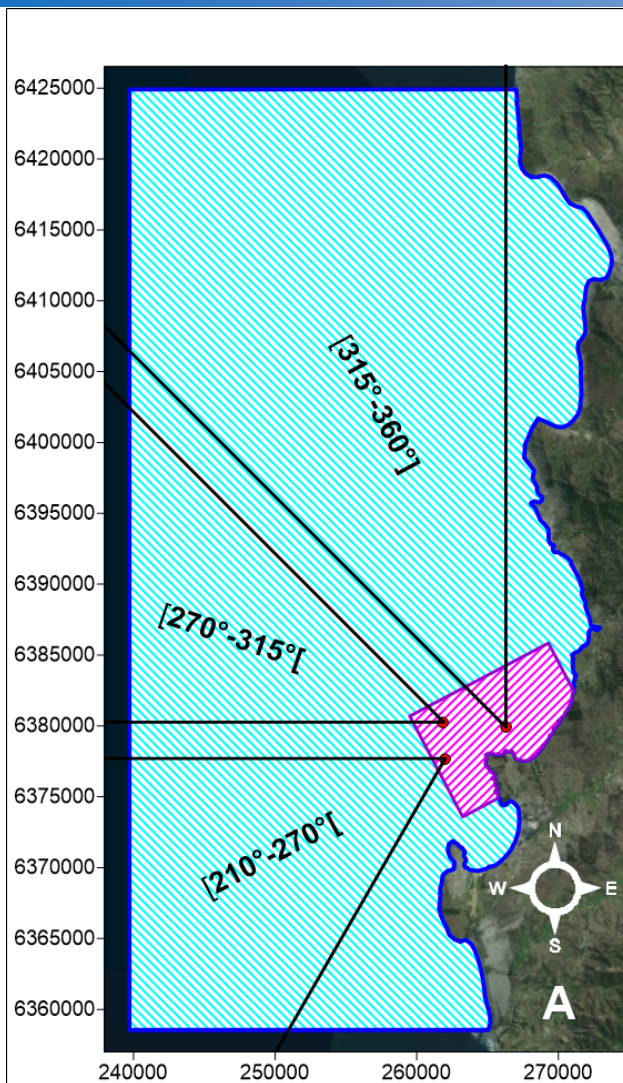
*Nivel de diseño = **1.39 m + 0.23 m + 0.45 m***

*Nivel de diseño = **2.07 m***





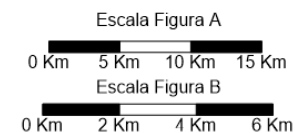
# ACOUPLE MIKE 21 SW MIKE 21 BW



LEYENDA:

- Puntos de acople SW-BW
- Punto de acople BW-Goda

CARACTERÍSTICAS CARTOGRÁFICAS:

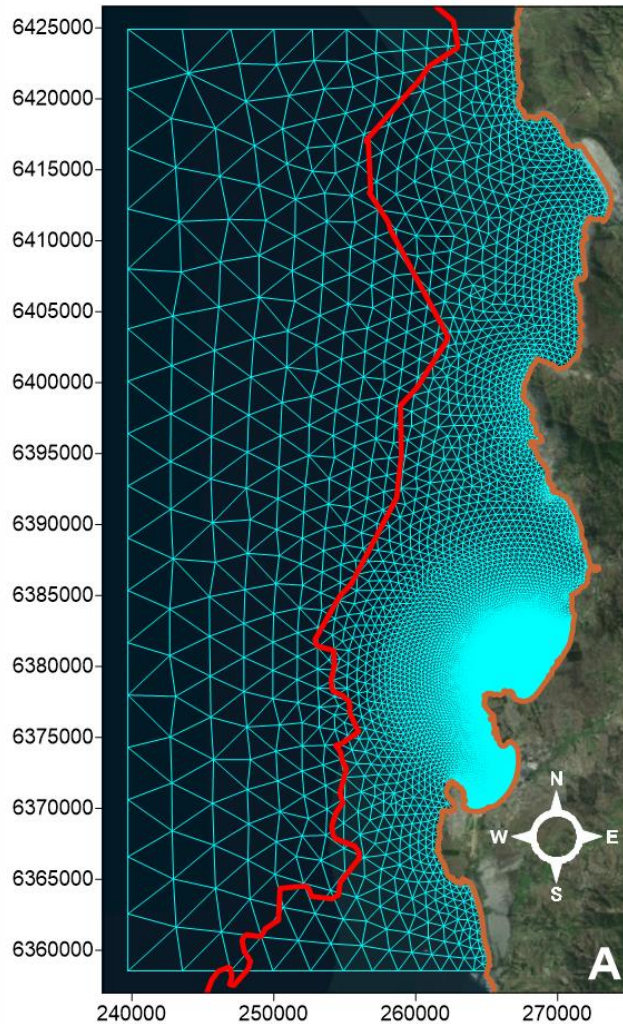


COORDENADAS UTM EN METROS  
DATUM WGS 1984, HUSO 19S  
IMAGEN BASE: WORLD IMAGEN

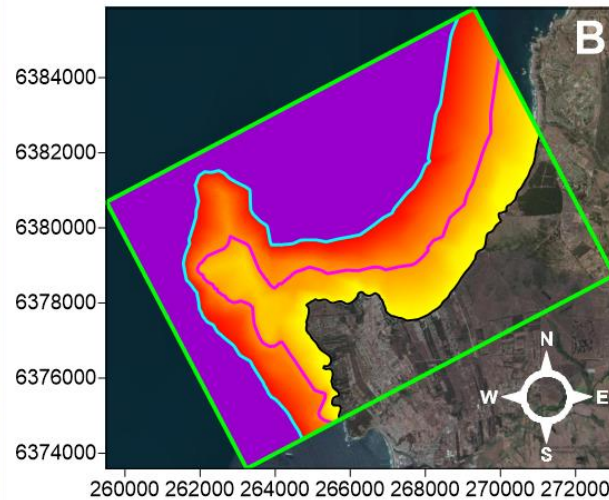


# DOMINIO MIKE 21 SW

## Dominio Mike 21 SW

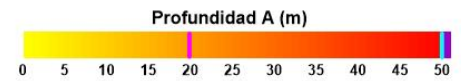


## Dominio Mike 21 BW

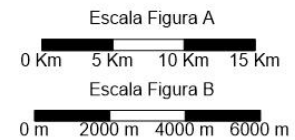


### LEYENDA:

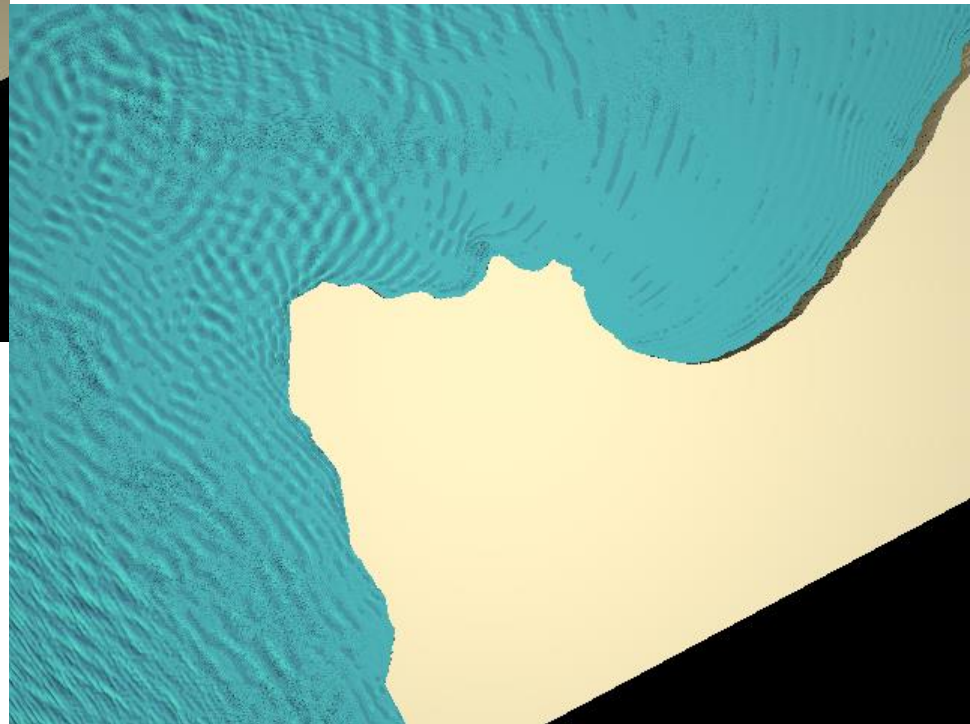
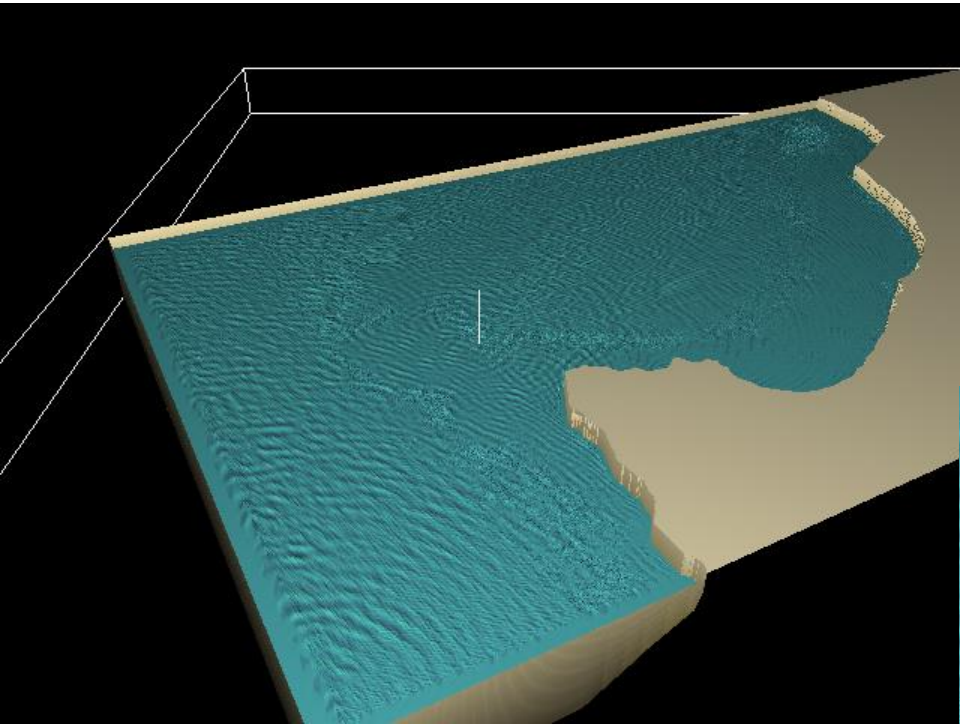
- Línea de costa
- ◁ Elemento finito de cálculo
- Veril 500 m
- Borde Dominio Mike 21 BW

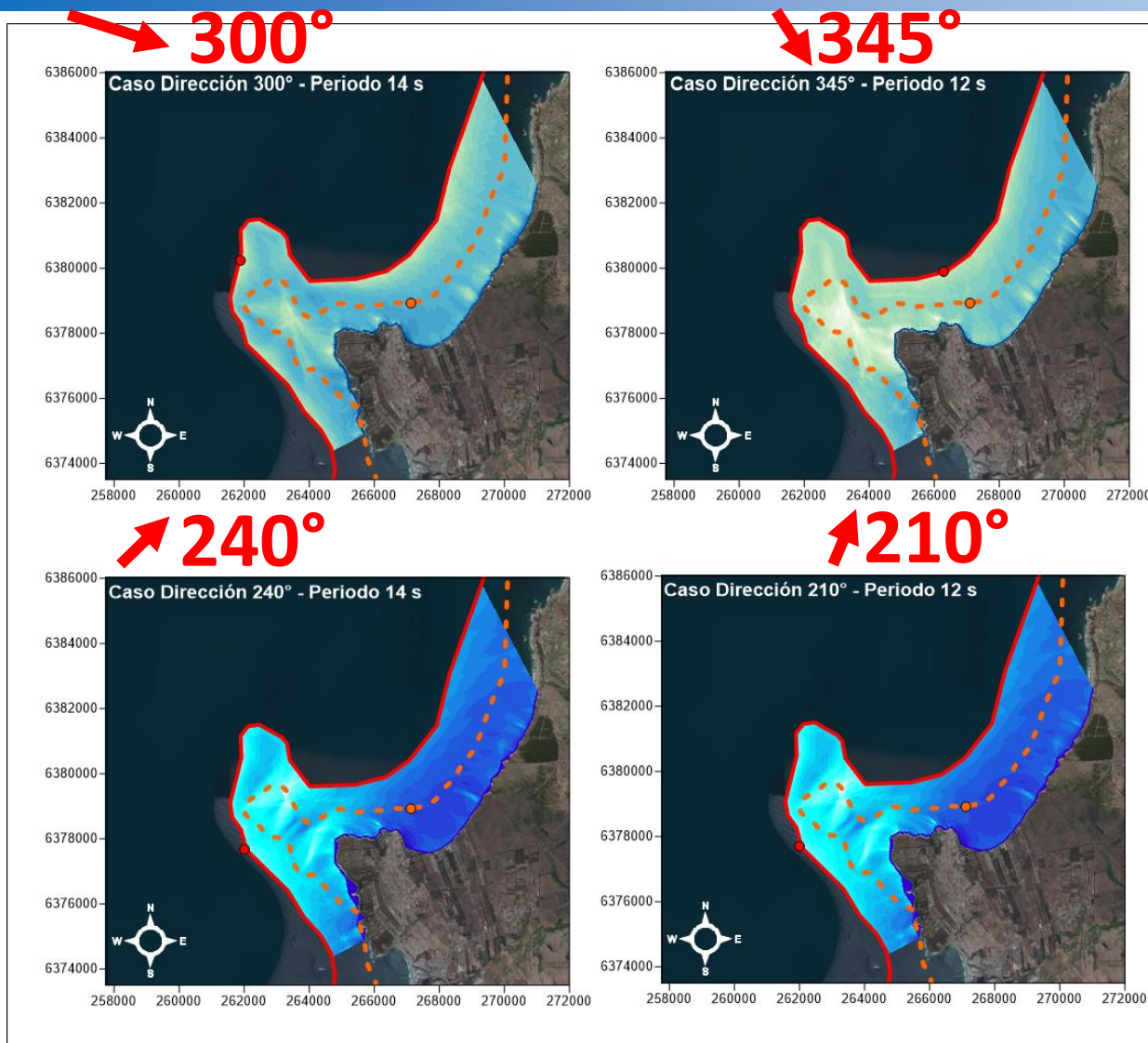


### CARTERÍSTICAS CARTOGRÁFICAS:



COORDENADAS UTM EN METROS  
DATUM WGS 1984, HUSO 19S  
IMAGEN BASE: WORLD IMAGEN





$$H_{1/3} = \begin{cases} K_S H'_0 \rightarrow h/L_0 \geq 0.2 \\ \min \{(\beta_0 H'_0 + \beta_1 h), \beta_{max} H'_0, K_S H'_0\} \rightarrow h/L_0 \geq 0.2 \end{cases}$$

Donde,

$$\beta_0 = 0.028 (H'_0/L_0)^{-0.38} e^{[20((\tan \theta)^{1.5})]}$$

$$\beta_1 = 0.52 e^{[4.2 \tan \theta]}$$

$$\beta_{max} = \max \{0.92, 0.32 (H'_0/L_0)^{-0.29} e^{[2.4 \tan \theta]}\}$$

$K_S$  = Coeficiente de Shoaling.

$K'_S$  = Coeficiente de Shoaling Lineal.

$H'_0$  = Altura de ola offshore (m).

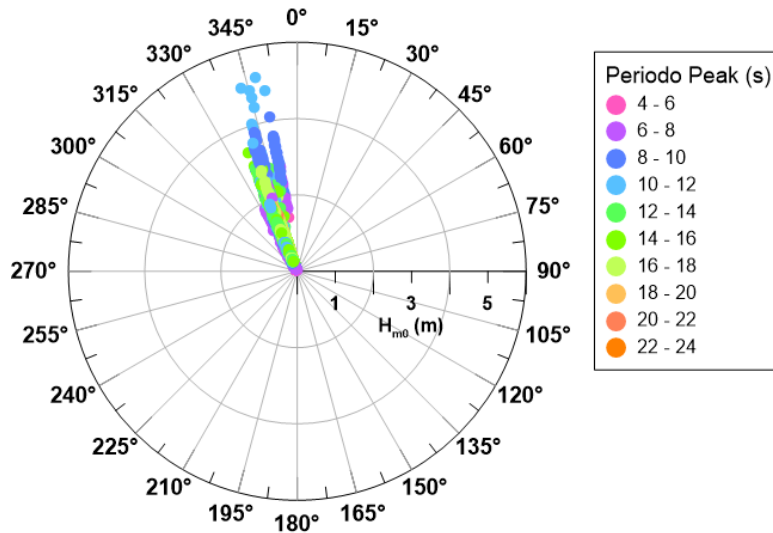
$h$  = Profundidad (m).

$L_0$  = Longitud de onda offshore (m).

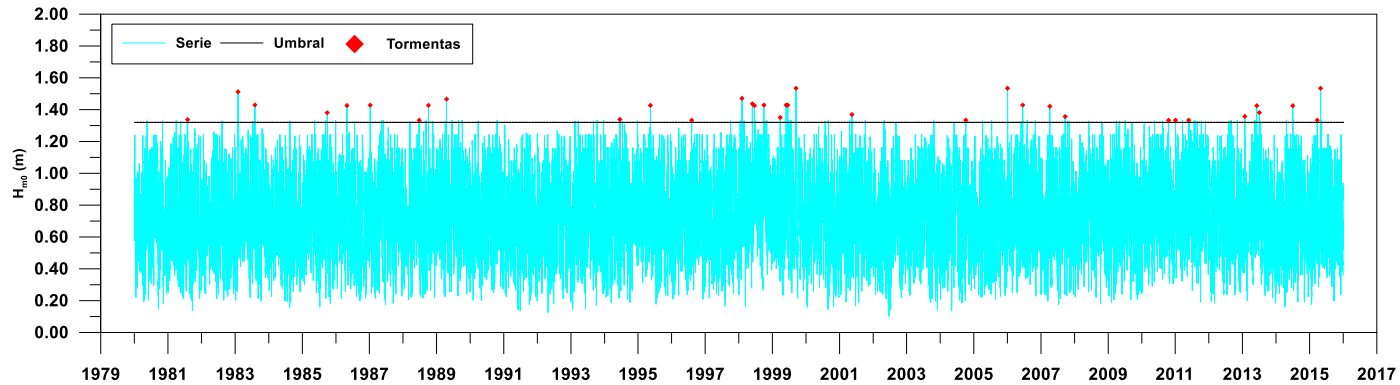
# CLIMA MEDIO AL PIE

H <sub>mo</sub> (m)	T <sub>p</sub> (s)										Total	f <sub>R</sub> (%)	f <sub>A</sub> (%)
	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 12	12 - 14	14 - 16	16 - 18	18 - 20	20 - 22	22 - 24			
0.0 - 0.5	101	2114	1428	3913	5917	1442	684	49			15648	14.88%	85.12%
0.5 - 1.0	14	896	2914	9944	37574	12116	6076	464	56	15	70069	66.61%	18.51%
1.0 - 1.5				10	8327	6682	4284	145	12	1	19461	18.50%	0.01%
1.5 - 2.0									13		13	0.01%	0.00%
2.0 - 2.5											0	0.00%	0.00%
2.5 - 3.0											0	0.00%	0.00%
3.0 - 3.5											0	0.00%	0.00%
3.5 - 4.0											0	0.00%	0.00%
4.0 - 4.5											0	0.00%	0.00%
4.5 - 5.0											0	0.00%	0.00%
> 5											0	0.00%	0.00%
<b>Total</b>	115	3010	4342	13867	51818	20240	11044	658	81	16	105191		
f <sub>R</sub> (%)	0.11%	2.86%	4.13%	13.18%	49.26%	19.24%	10.50%	0.63%	0.08%	0.02%			
f <sub>A</sub> (%)	99.89%	97.03%	92.90%	79.72%	30.46%	11.22%	0.72%	0.09%	0.02%	0.00%			

f<sub>R</sub> (%): Frec. Relativa  
f<sub>A</sub> (%): Frec. Acumulada



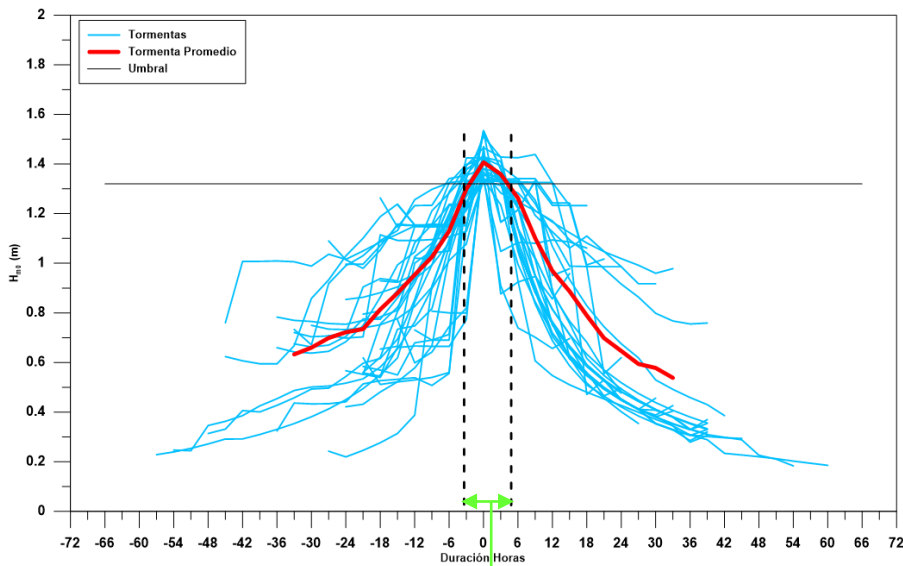
# CLIMA EXTREMO AL PIE



Fecha	$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	$D_p$ (°)
30-04-2015 12:00	1.53	21.78	313.77
02-01-2006 9:00	1.53	21.78	320.20
15-09-1999 0:00	1.53	21.78	313.77
02-02-1983 0:00	1.51	21.78	320.20
04-02-1998 21:00	1.47	21.78	320.20
19-04-1989 0:00	1.47	21.78	313.77
28-05-1998 12:00	1.44	19.80	315.06
04-08-1983 21:00	1.43	19.80	309.91
17-06-1999 21:00	1.43	19.80	315.06
16-06-2006 15:00	1.43	19.80	309.91
30-05-1999 21:00	1.43	19.80	309.91
30-09-1998 21:00	1.43	19.80	309.91
10-01-1987 0:00	1.43	19.80	320.20
04-10-1988 18:00	1.43	19.80	309.91
16-05-1995 6:00	1.43	19.80	309.91
01-05-1986 9:00	1.43	19.80	315.06
20-06-1998 9:00	1.43	19.80	309.91

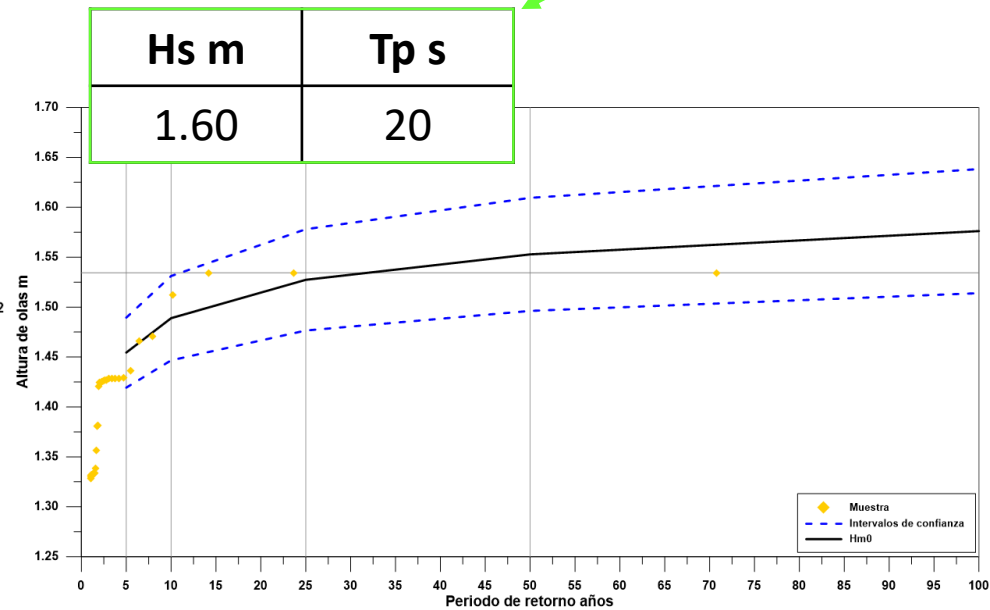
Fecha	$H_{m0}$ (m)	$T_p$ (s)	$D_p$ (°)
04-06-2013 15:00	1.43	19.80	309.91
02-07-2014 0:00	1.43	19.80	309.91
07-04-2007 3:00	1.42	19.80	309.91
03-07-2013 15:00	1.38	18.00	309.91
30-09-1985 0:00	1.38	19.80	309.91
16-05-2001 0:00	1.37	19.80	309.91
26-01-2013 18:00	1.36	19.80	320.20
20-09-2007 12:00	1.36	19.80	309.91
27-03-1999 15:00	1.35	21.78	320.20
18-06-1994 0:00	1.34	18.00	305.95
02-08-1981 15:00	1.34	18.00	305.95
05-10-2004 0:00	1.33	18.00	309.91
25-03-2015 9:00	1.33	18.00	309.91
03-01-2011 12:00	1.33	18.00	305.95
27-05-2011 9:00	1.33	18.00	305.95
06-08-1996 21:00	1.33	18.00	309.91
26-06-1988 12:00	1.33	18.00	305.95
19-10-2010 21:00	1.33	18.00	304.77

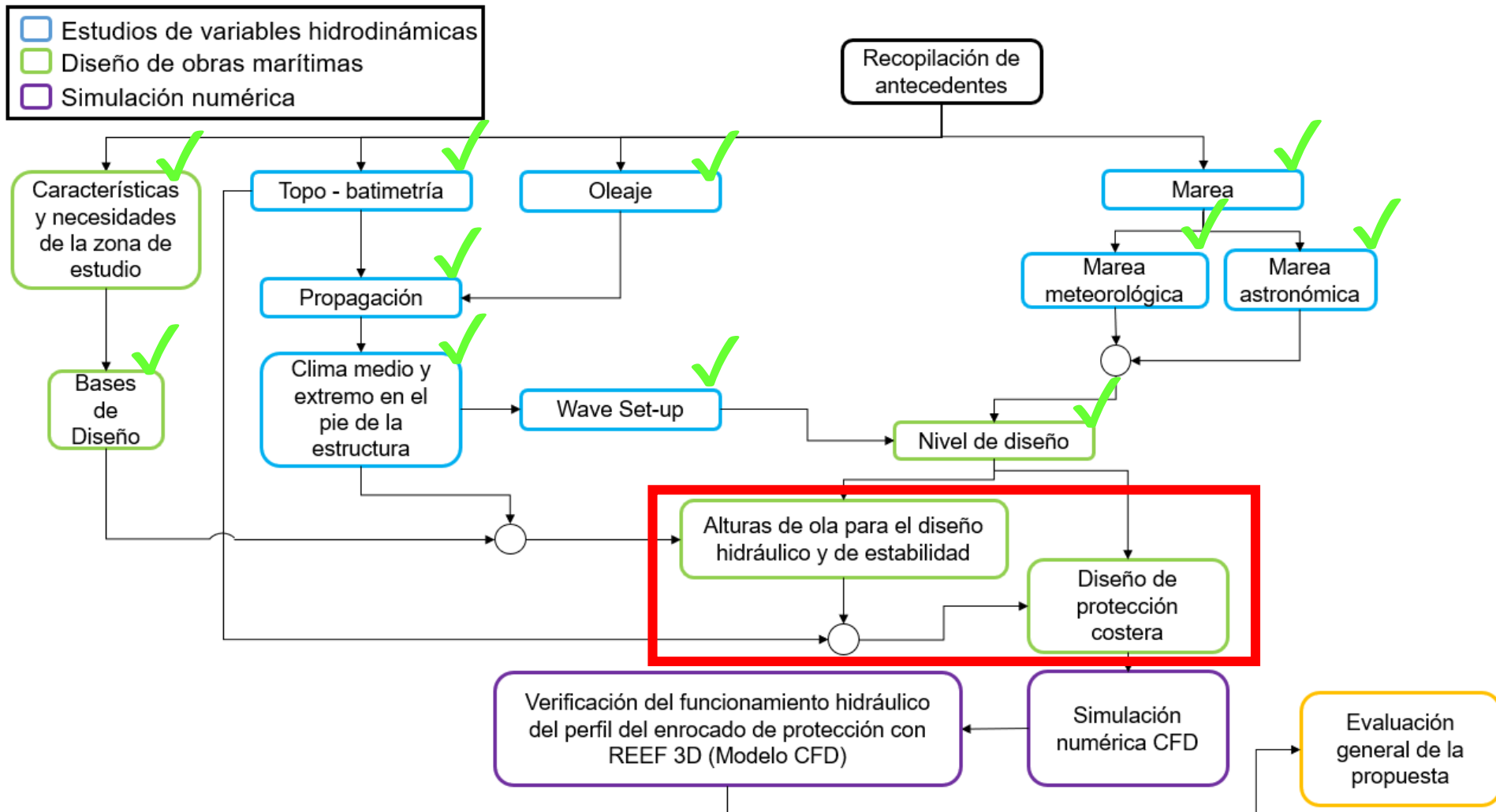
# CLIMA EXTREMO AL PIE



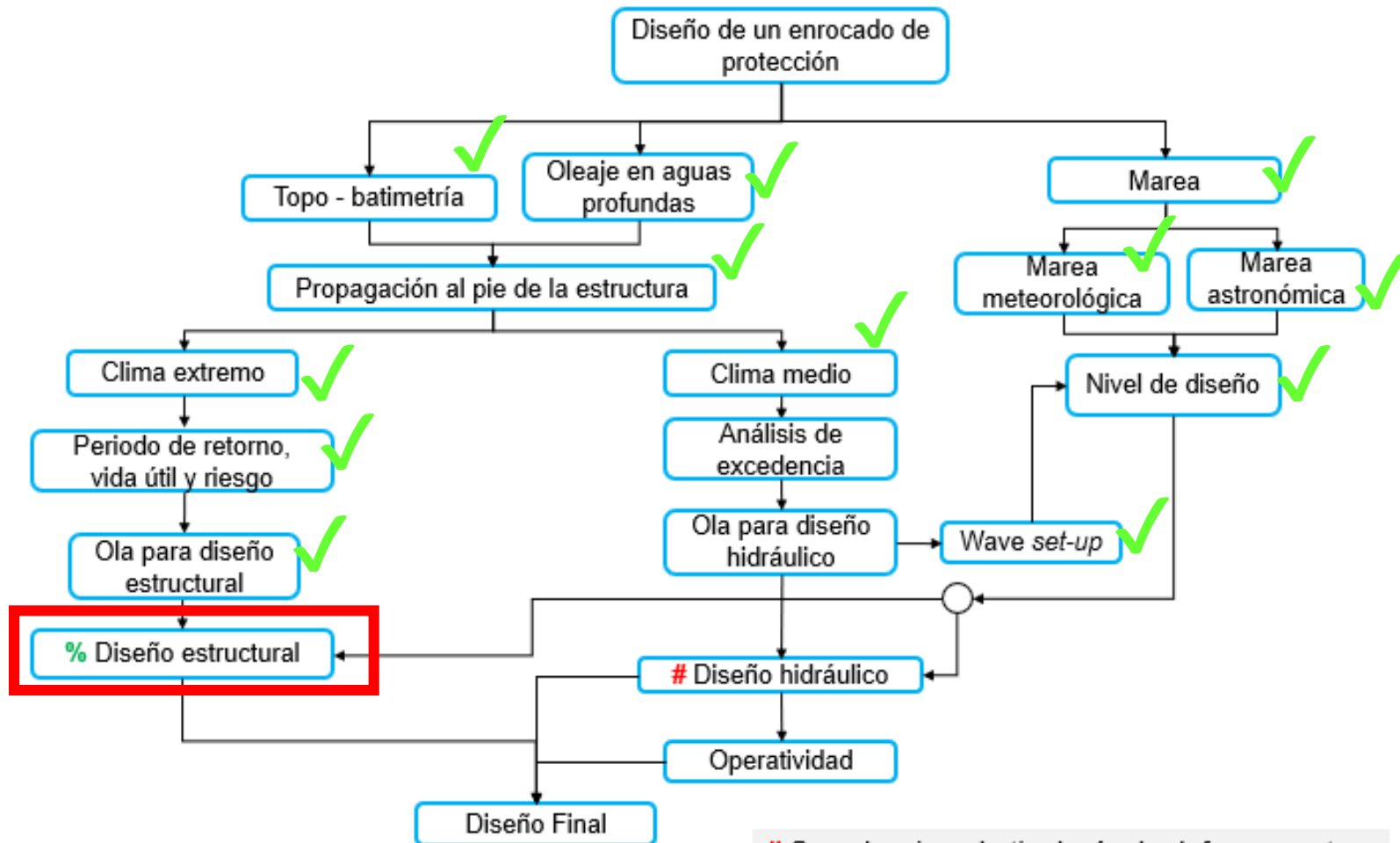
9 horas Aprox.

Intervalos de confianza.			
Tr	Banda inferior del 95% (m)	$H_{m0}$ (m)	Banda Superior del 95% (m)
5	1.42	1.46	1.49
10	1.45	1.49	1.53
25	1.48	1.53	1.58
50	1.50	1.55	1.60
100	1.51	1.57	1.63









% Se definen los elementos estructurales con sus características geométricas y físicas.

# Se selecciona la tipología de defensa costera a utilizar, y se calcula la geometría por medio de la estimación del caudal de sobrepaso.

*Hudson:*

$$\frac{H_{1/10}}{\Delta D_{n50}} = (K_D \cot \alpha)^{1/3}$$

*Van der Meer:*

$$\frac{H_{2\%}}{\Delta D_{n50}} = 8.7 P^{0.18} \left( \frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^{-0.5}, \quad \xi_m < \xi_{mc}$$

$$\frac{H_{2\%}}{\Delta D_{n50}} = 1.4 P^{-0.13} \left( \frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^P, \quad \xi_m < \xi_{mc}$$

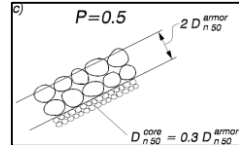
*Hudson:*

$$\frac{H_{1/10}}{\Delta D_{n50}} = (K_D \cot \alpha)^{1/3}$$

$H_{1/10}$	$1.27 * H_s$	- Rayleigh - Vincent & Thompson
$D_{n50}$	Incógnita	-
$\Delta$	$(\rho_s / \rho_{sw}) - 1$	-
$K_D$	2.0	“Application and stability criteria for rock and artificial units” (Van der Meer, 1998)
$\cot \alpha$	1:1.50, 1:1.75, 1:2.00, 1:2.25 y 1:2.50	(V:H)

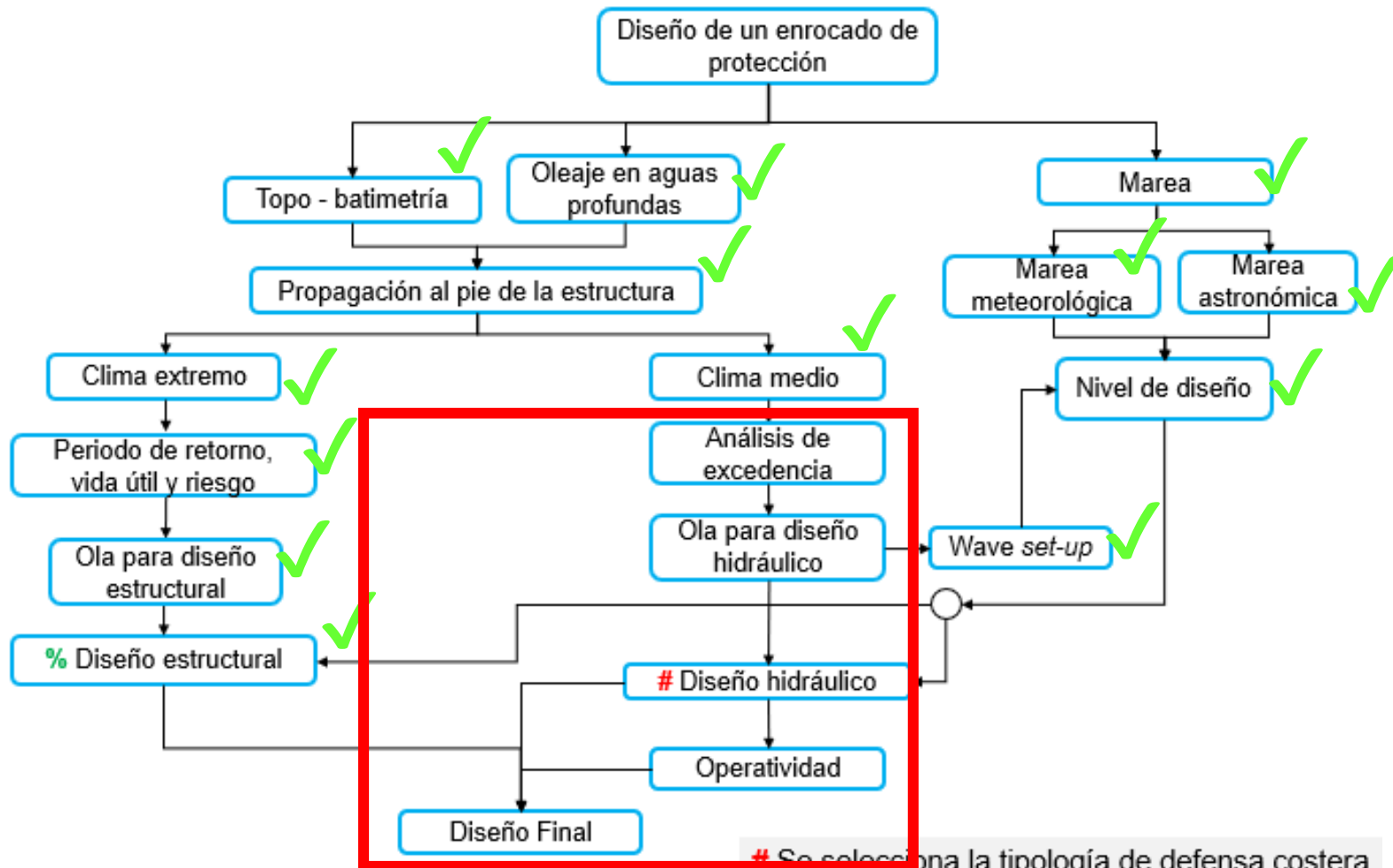
Van der Meer: 
$$\frac{H_{2\%}}{\Delta D_{n50}} = 8.7 P^{0.18} \left( \frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^{-0.5}, \quad \xi_m < \xi_{mc}$$

$$\frac{H_{2\%}}{\Delta D_{n50}} = 1.4 P^{-0.13} \left( \frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^P, \quad \xi_m < \xi_{mc}$$

$H_{2\%}$	$1.40 * H_s$	- Rayleigh - Vincent & Thompson
$D_{n50}$	Incógnita	-
$\Delta$	$(\rho_s/\rho_{sw}) - 1$	-
$P$	0.5	
$S$	3.0, 3.5, 4.0, 4.5 y 5.0/ 1:1.50, 1:1.75, 1:2.00, 1:2.25 y 1:2.50	Nivel de daño
$N$	9 horas → 1,852 olas	$T_p = 20$ s
$\cot \alpha$	1:1.50, 1:1.75, 1:2.00, 1:2.25 y 1:2.50	(V:H)
$\xi_m$	$\xi_m = S_m^{-0.5} \tan \alpha, \xi_{mc} = (6.2 P^{0.31} (\tan \alpha)^{0.5})^{1/(P+0.5)}$	$S_m \rightarrow$ Wave Steepness

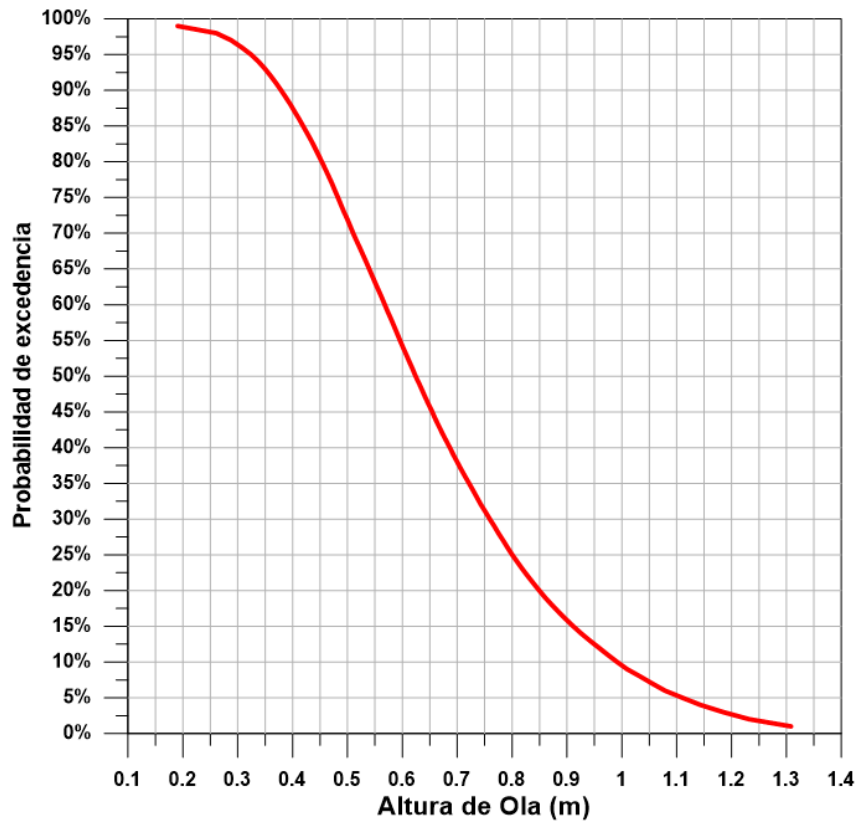
Pendiente (V:H)	Hudson			
	Coraza		Núcleo	
	$D_{n50}$ (m)	$M_{50}$ (T)	$D_{n50}$ (m)	$M_{50}$ (T)
1:1.50	0.864	<b>1.743</b>	0.148	0.009
1:1.75	0.821	1.494	0.140	0.007
1:2.00	0.785	<b>1.308</b>	0.134	0.007
1:2.25	0.755	1.162	0.129	0.006
1:2.50	0.729	<b>1.046</b>	0.125	0.005

Pendiente (V:H)	Van der Meer			
	Coraza		Núcleo	
	$D_{n50}$ (m)	$M_{50}$ (T)	$D_{n50}$ (m)	$M_{50}$ (T)
1:1.50	1.034	<b>2.984</b>	0.177	0.015
1:1.75	0.928	2.159	0.159	0.011
1:2.00	0.845	<b>1.631</b>	0.145	0.008
1:2.25	0.778	1.273	0.133	0.006
1:2.50	0.723	<b>1.021</b>	0.124	0.005



% Se definen los elementos estructurales con sus características geométricas y físicas.

# Se selecciona la tipología de defensa costera a utilizar, y se calcula la geometría por medio de la estimación del caudal de sobrepaso.



Probabilidad Excedencia	Equivalencia aproximada en días por año	$H_{m0}$ (m)	Delta $H_{m0}$ (m)
5%	18	1.11	-
4%	15	1.14	0.03
3%	11	1.18	0.04
2%	7	1.23	0.05
1%	4	1.31	0.08

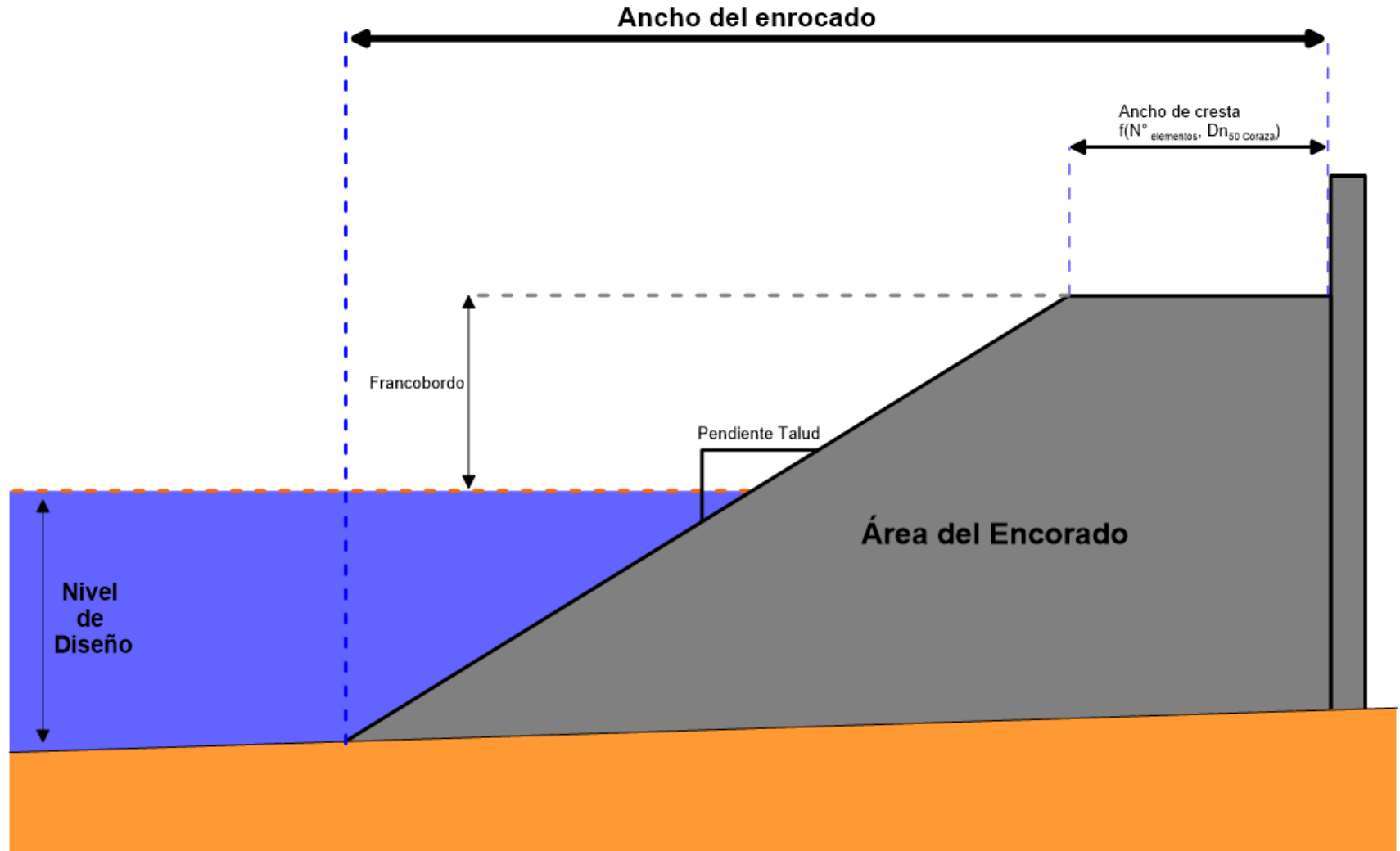
$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = \frac{0.023}{\sqrt{\tan \alpha}} \gamma_b * \xi_{m-1,0} * \exp \left[ - \left( 2.7 \frac{R_c}{\xi_{m-1,0} * H_{m0} * \gamma_b * \gamma_f * \gamma_\beta * \gamma_v} \right)^{1.3} \right] * C_r$$

Donde,

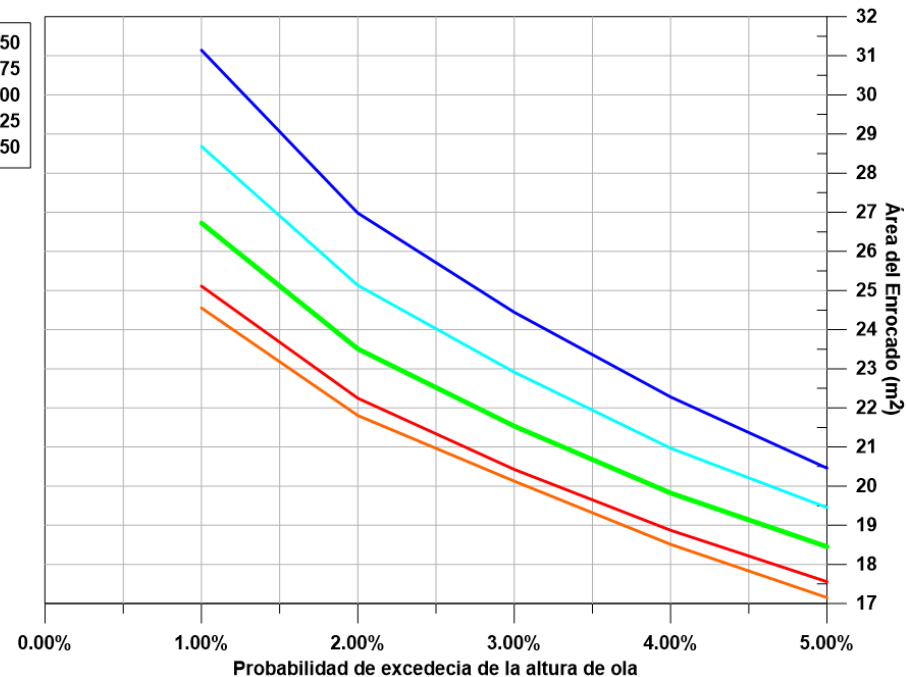
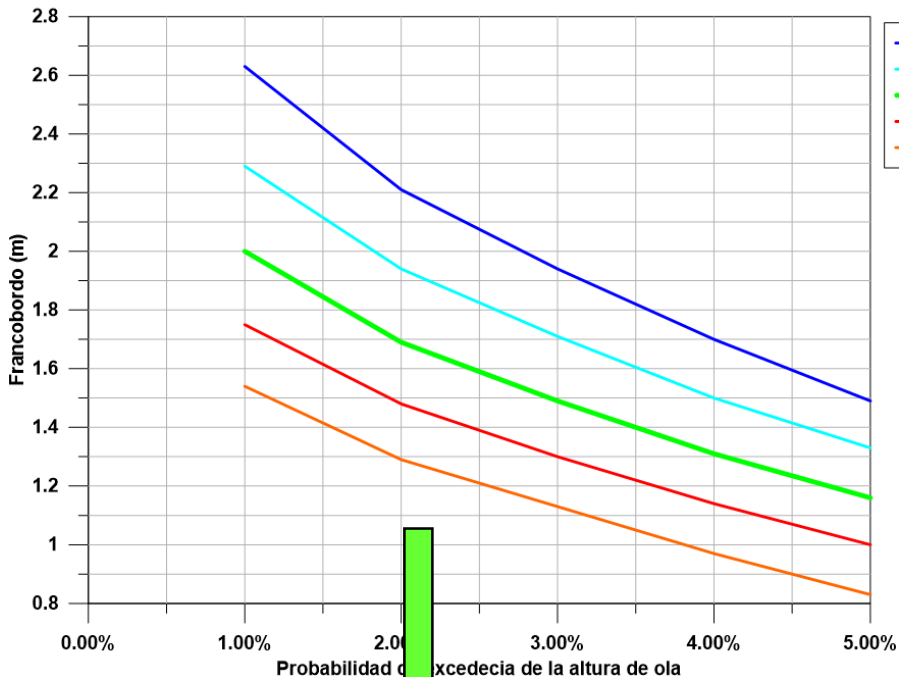
- $q$  es el caudal de **sobrepaso** por metro lineal ( $m^3/s$  por metro lineal).
- $g$  es la aceleración de gravedad ( $m/s^2$ ).
- $H_{m0}$  es la **altura** significativa espectral (m).
- $\alpha$  es la **pendiente del frente de la estructura** ( ).
- $\gamma_b$  es el factor de influencia de la berma ( ).
- $\xi_{m-1,0}$  es el número de Iribarren ( ).
- $\gamma_f$  es el factor de influencia por la **rugosidad de los elementos** de la pendiente ( ).
- $\gamma_\beta$  es el factor de influencia por ola oblicua ( ).
- $\gamma_v$  es el factor de influencia por una **pared al final de la pendiente** ( ).
- $R_c$  es el **francobordo** (m).
- $C_r$  es el efecto de la **cresta del enrocado**, con  $C_r = 3.06 * \exp(-1.5 * G_c * H_{m0})$
- $G_c$  es el ancho de la cresta.



Tipo de peligro y razón	Caudal admisible $q$ ( $l/s$ por metro)	Volumen Máximo $V_{max}$ ( $l$ por metro)
Personas en estructuras con posible sobrepaso violento, en su mayoría estructuras verticales	Acceso prohibido para cualquier sobrepaso pronosticado	Acceso prohibido para cualquier sobrepaso pronosticado
<p><b>Gente en el muro/cresta del dique.</b>  <b>Con vista clara al mar.</b></p> <p><math>H_{m0} = 3.0 m</math>  <math>H_{m0} = 2.0 m</math>  <math>H_{m0} = 1.0 m</math>  <math>H_{m0} &lt; 0.5 m</math></p>	<p>0.3  1  10-20  Sin límite</p>	<p>600  600  600  Sin límite</p>
<p>Autos en al muro/cresta del dique o Ferrocarriles detrás de la cresta.</p> <p><math>H_{m0} = 3.0 m</math>  <math>H_{m0} = 2.0 m</math>  <math>H_{m0} = 1.0 m</math></p>	<p>&lt;5  10-20  &lt;75</p>	<p>2000  2000  2000</p>
Autopistas o caminos, tráfico rápido	Cerrado antes de que los escombros desparramados se vuelvan peligrosos	Cerrado antes de que los escombros desparramados se vuelvan peligrosos

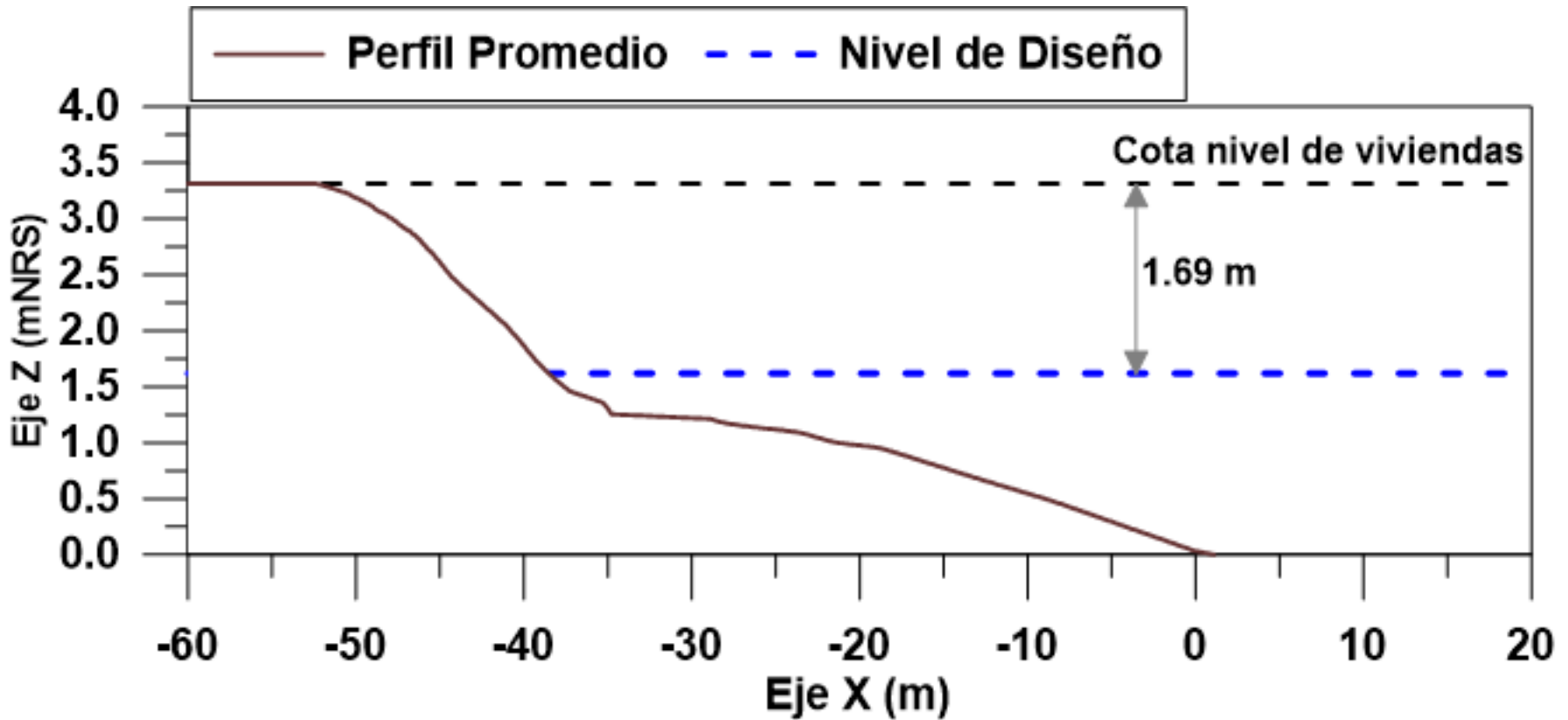


Cresta de 3 D<sub>n50</sub> con muro de 1 m

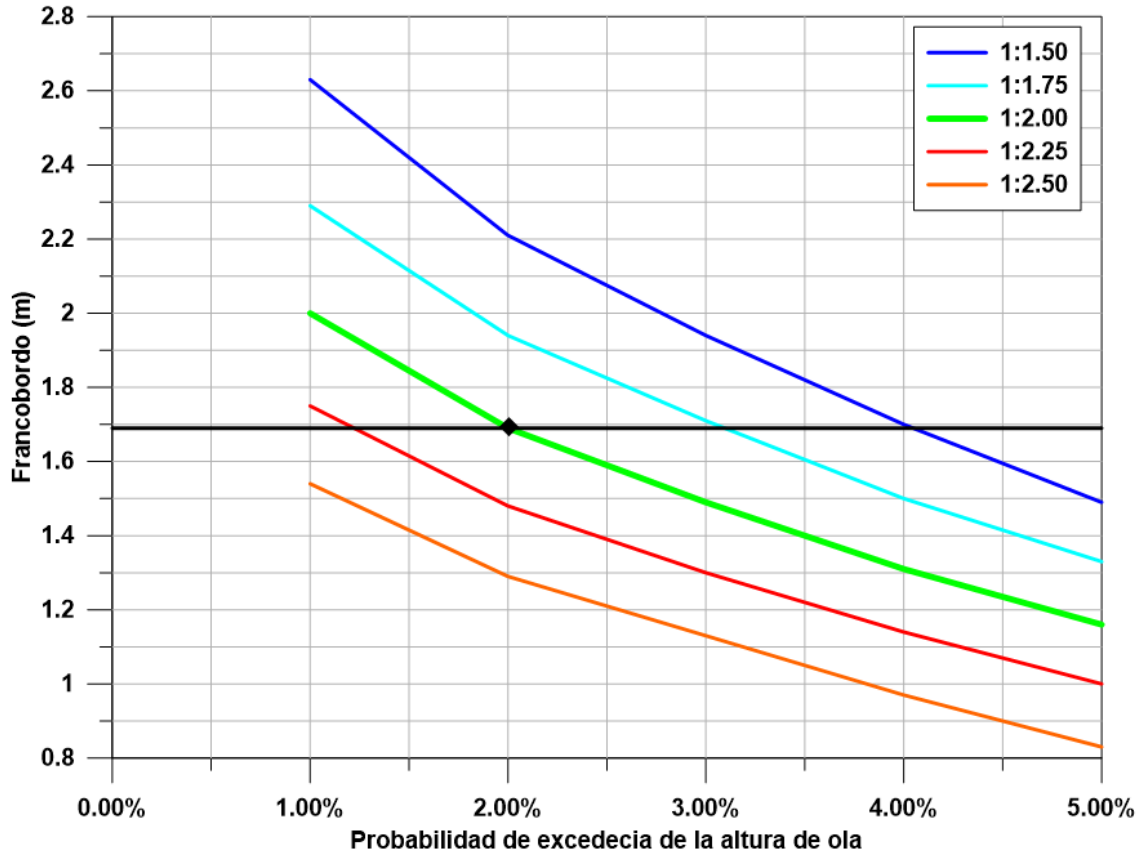


Prob. de exce.	Pendiente				
	1:1.50	1:1.75	1:2.00	1:2.25	1:2.50
5%	1.49	1.33	1.16	1.00	0.83
4%	1.70	1.50	1.31	1.14	0.97
3%	1.94	1.71	1.49	1.30	1.13
2%	2.21	1.94	1.69	1.48	1.29
1%	2.63	2.29	2.00	1.75	1.54

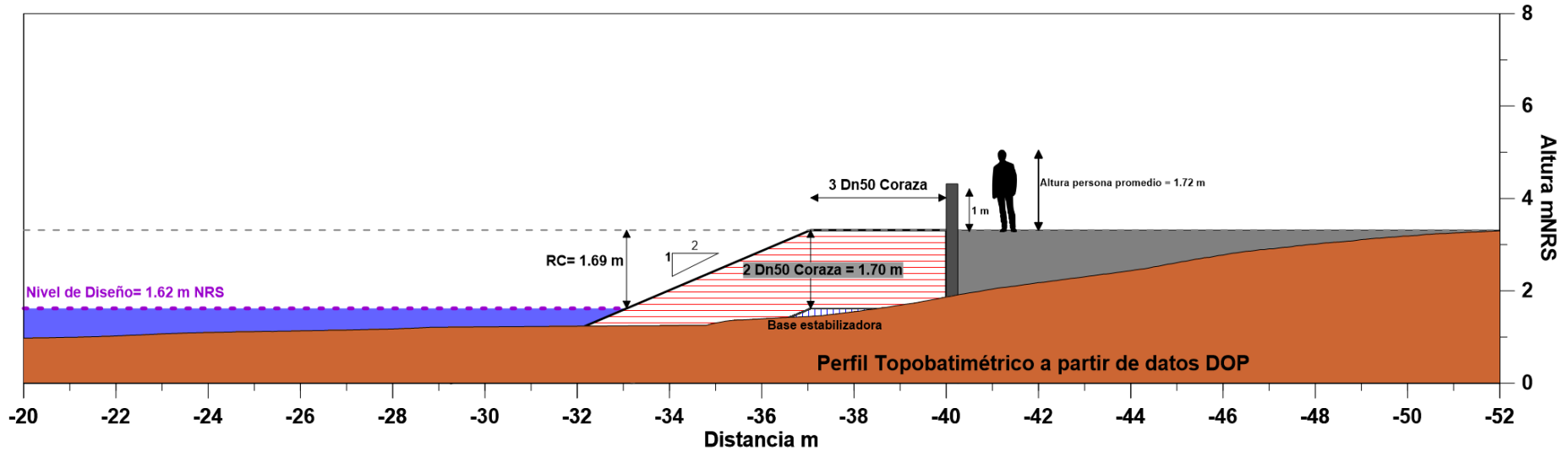
Pendiente (V:H)	Van der Meer		
	D <sub>n50</sub> (m)	M <sub>50</sub> (T)	
1:1.50	1.034	2.984	→ Cresta 3,1 m
1:1.75	0.928	2.159	
1:2.00	0.845	1.631	→ Cresta 2,5 m
1:2.25	0.778	1.273	
1:2.50	0.723	1.021	→ Cresta 2,2 m

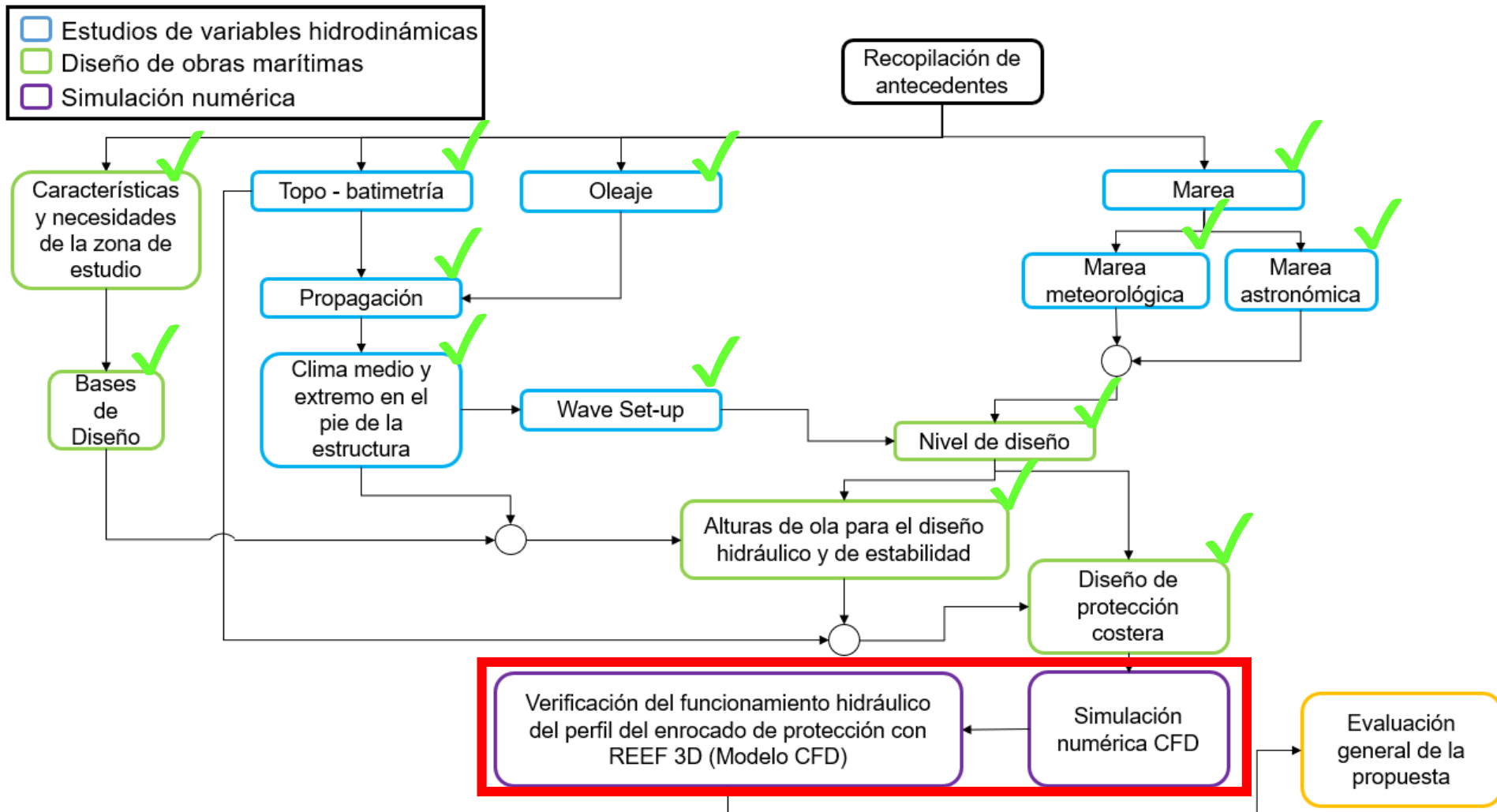


Cresta de 3 D<sub>n50</sub> con muro de 1 m



Pendiente (V:H)	Van der Meer			
	Coraza		Núcleo	
	D <sub>n50</sub> (m)	M <sub>50</sub> (T)	D <sub>n50</sub> (m)	M <sub>50</sub> (T)
1:1.50	1.034	2.984	0.177	0.015
1:1.75	0.928	2.159	0.159	0.011
1:2.00	0.845	1.631	0.145	0.008
1:2.25	0.778	1.273	0.133	0.006
1:2.50	0.723	1.021	0.124	0.005



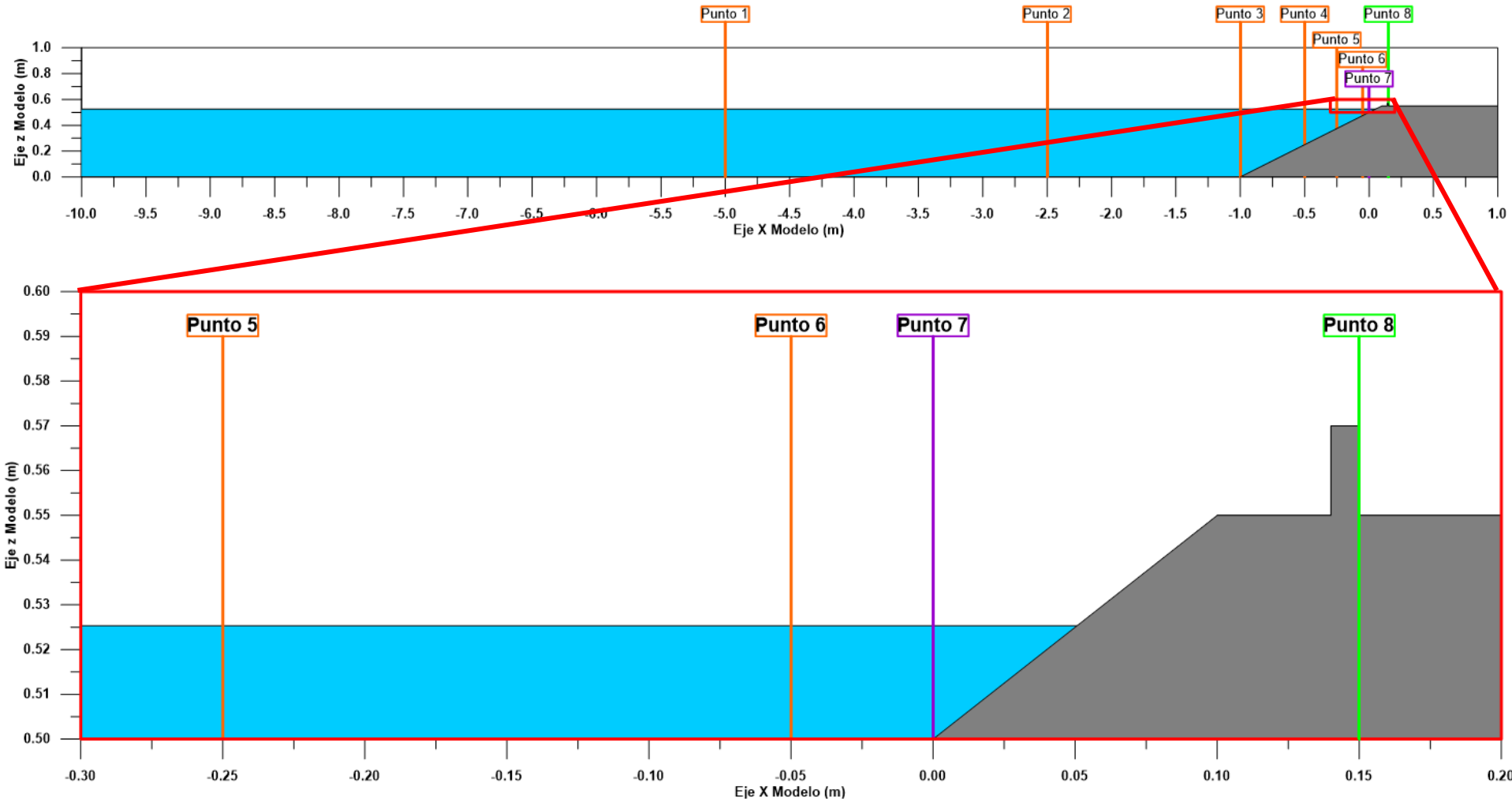


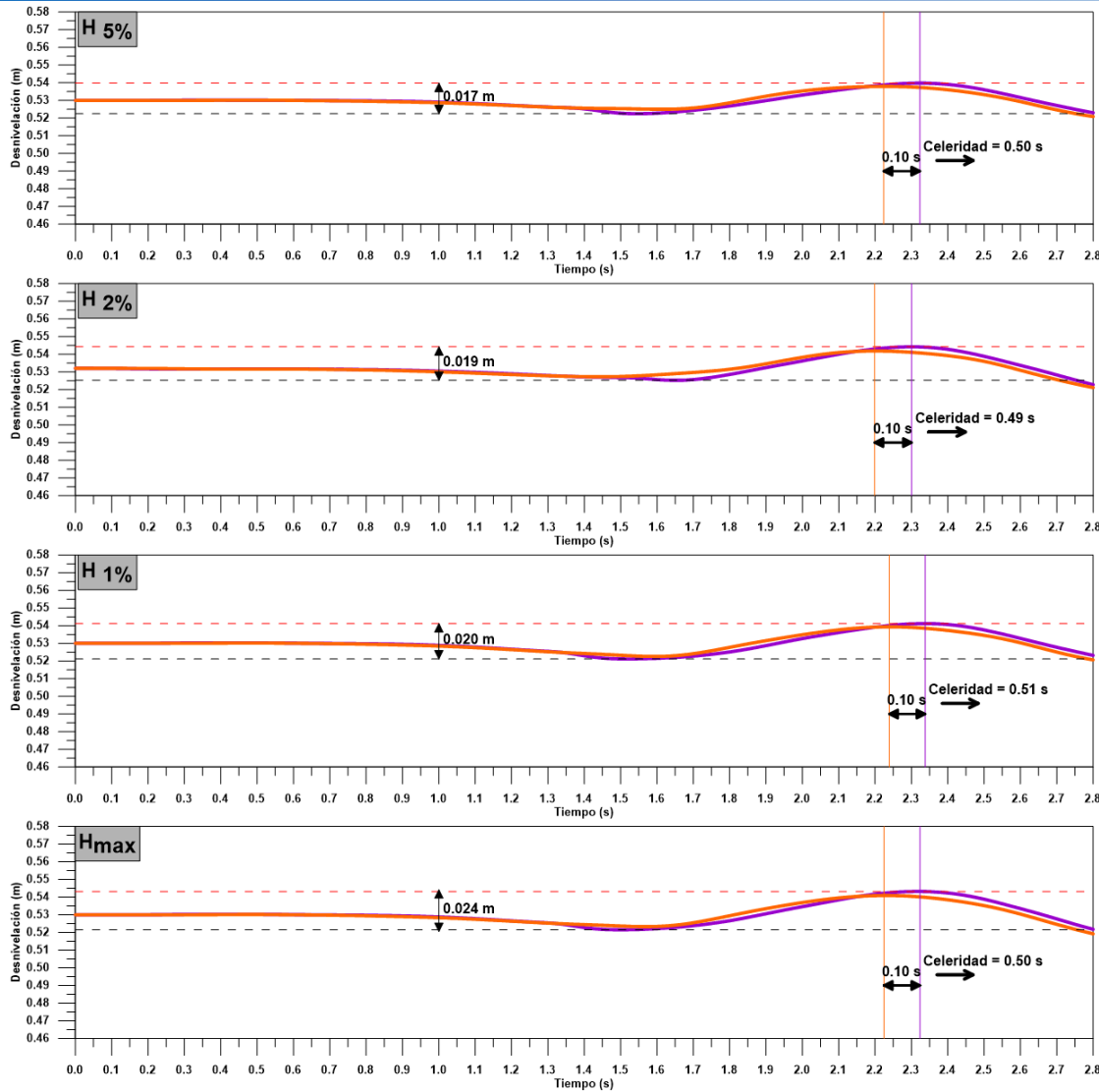
$$\lambda = 64 \text{ y } \tau = 8$$

Nombre	Prototipo	Modelo
Cota de coronamiento (m)	1.690	0.020
Pendiente (V:H)	1:2	1:2
<b>Nivel de diseño (m)</b>	<b>1.620</b>	0.025
<b>Altura de ola, excedencia del 5% (m)</b>	<b>1.111</b>	0.017
<b>Altura de ola, excedencia del 2% (m)</b>	1.232	0.019
<b>Altura de ola, excedencia del 1% (m)</b>	1.308	0.020
<b>Altura de ola máxima propagada (m)</b>	<b>1.534</b>	0.024
Periodo máximo (s)	14.000	1.750
Aceleración de gravedad (m/s <sup>2</sup> )	9.810	9.810
Longitud de onda en aguas profundas (m)	147.800	2.300
<b>Celeridad (m/s)</b>	21.858	2.732
Nº Froude ( )	0.574	0.574
Longitud de onda al pie de la estructura (m)	55.501	0.867
Celeridad al pie de la estructura (m/s)	3.964	0.496
<b>Nº Reynolds ( )</b>	34.260	34.260



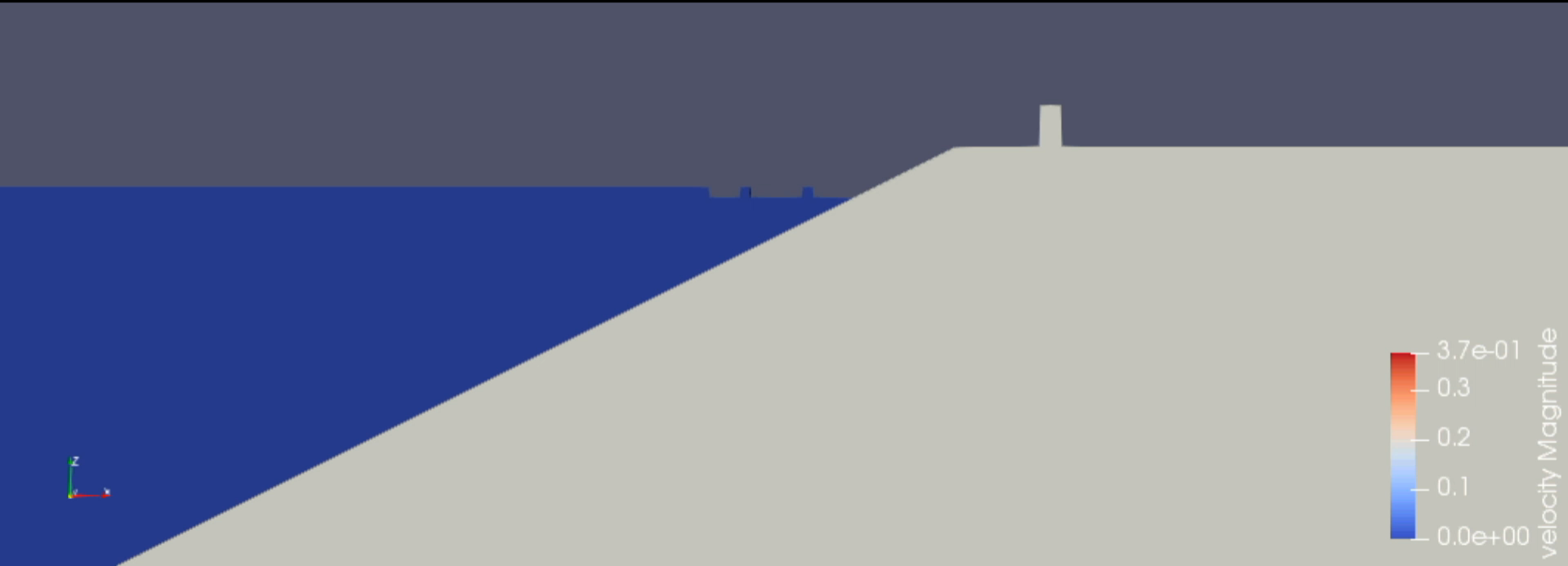
# REEF 3D





	Valor Real	Valor Escalado	Valor obtenido en el modelo
H5% (m)	1.111	0.017	0.017
H2% (m)	1.232	0.019	0.019
H1% (m)	1.308	0.020	0.020
Hmax (m)	1.534	0.024	0.024

# REEF 3D



## Variable Hidrodinámicas

- Marea.
- Oleaje

## Diseño

- Variables utilizadas diseño de estabilidad.
- Tamaños.
- Abaco de posibilidades diseño hidráulico.
- Impacto visual.
- Días se sobrepaso.

## REEF 3D

- Set de casos propuestos.
- Casos ejecutados no presentados.

GRACIAS

INGENIERÍA CIVIL  
OCEÁNICA



**Universidad  
de Valparaíso**  
CHILE

INGENIERÍA CIVIL  
**OCEÁNICA**





# Universidad de Valparaíso CHILE

