



# APLICACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS PARA EL ESTUDIO DE AGITACIÓN Y RESONANCIA EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO - CHILE

CRISTIAN FLORES PÉREZ

JUNIO 2010

# ÍNDICE

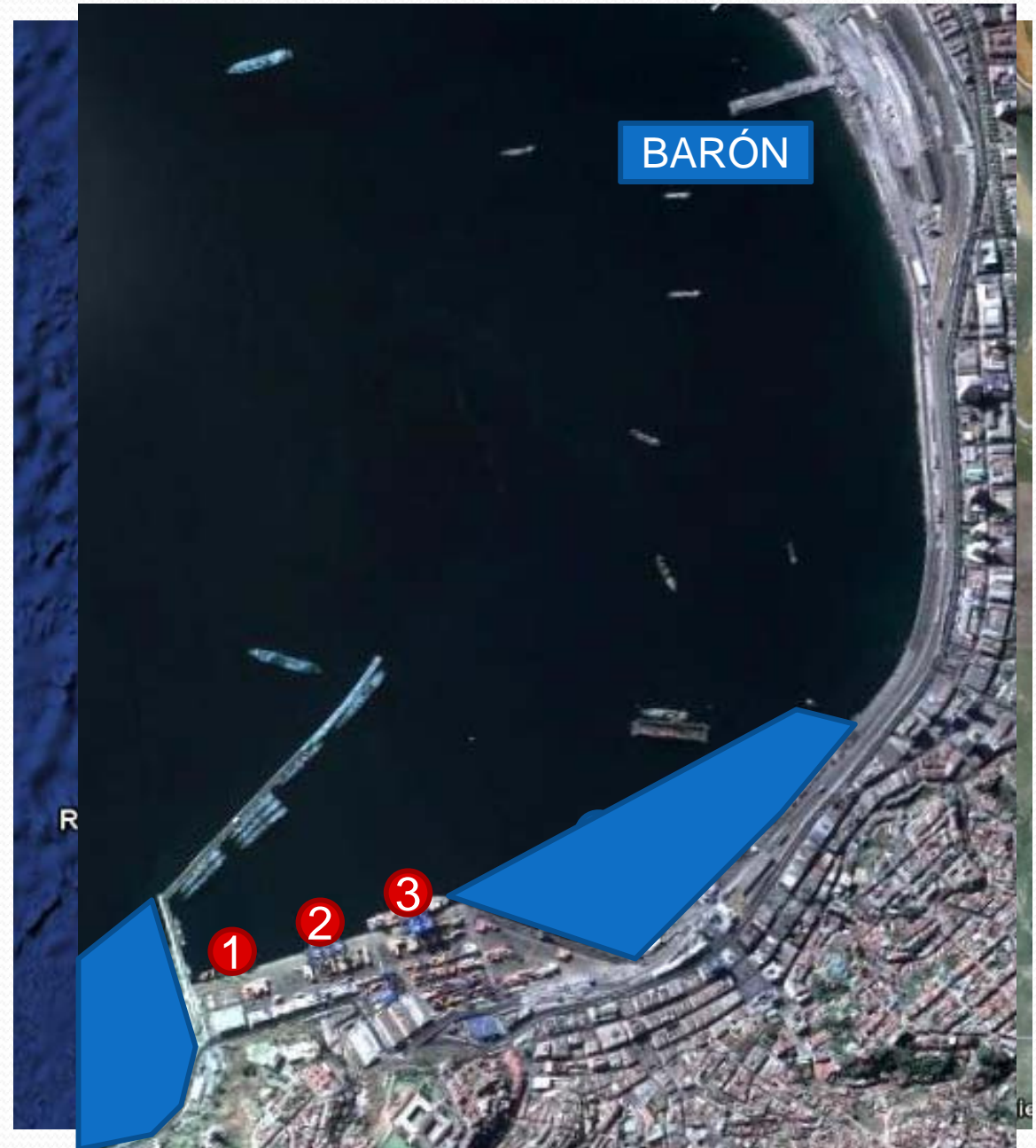
1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
  1. OBJETIVOS GENERALES
  2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS
3. CONDICIONES DE OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS
4. MODELO DE PROPAGACIÓN DE OLEAJE
  1. GENERACIÓN DE GRILLAS
  2. GENERACIÓN DE ESPECTROS
  3. FUNCIONES DE TRANSFERENCIA
  4. CLIMA DE OLEAJE FRENTE AL PUERTO
5. MODELO DE AGITACIÓN DE OLEAJE
  1. GENERACIÓN DE BATIMETRÍA
  2. PUNTOS DE EXTRACCIÓN
  3. COEFICIENTES DE REFLEXIÓN
  4. GENERACIÓN DE CAPAS DE ESPONJA
  5. PROCEDIMIENTO DE LAS SIMULACIONES
  6. CLIMA DE OLEAJE AL INTERIOR DEL PUERTO
  7. CALIBRACIÓN
  8. ESTIMACIÓN DE LA OPERATIVIDAD DE LOS SITIOS
6. ANÁLISIS DE RESONANCIA
7. CONCLUSIONES
8. DISCUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

# INTRODUCCIÓN



# 1. INTRODUCCIÓN

- Ubicación: 110 [km] de Santiago
- Cargas
- Primer muelle de atención de naves en 1810
- Poder de Varios organismos hasta 1960 (EMPORCHI)
- 1999 – Concesión TPS
- Transferencia, para la Región de Valparaíso, para el año 2015 de 25 a 30 millones de toneladas aproximadamente
- Puerto Valparaíso se encontraría entre 16 y 18.5 millones de toneladas, esperadas
- Plan de Desarrollo del Puerto: Frente Costanera y San Mateo



# OBJETIVOS



## **2. OBJETIVOS**

### **1. OBJETIVO GENERAL**

**Analizar la variación de la agitación y resonancia entre la situación actual y los escenarios planteados en este estudio, contemplados dentro del plan de Desarrollo del Puerto de Valparaíso, para determinar los efectos en la operatividad.**

### **2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- **Caracterizar el clima de oleaje operacional en las cercanías al puerto.**
- **Determinar los coeficientes de reflexión de los sitios de atraque existentes y estimar los futuros.**
- **Caracterizar el clima de oleaje al interior del puerto para cada uno de los sitios de atraque, existentes y futuros.**
- **Determinar los coeficientes de agitación para cada uno de los sitios de atraque, tanto existentes como futuros.**
- **Determinar los modos de resonancia de la situación actual y los escenarios planteados.**
- **Plantear estudios complementarios.**

# CONDICIONES DE OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS



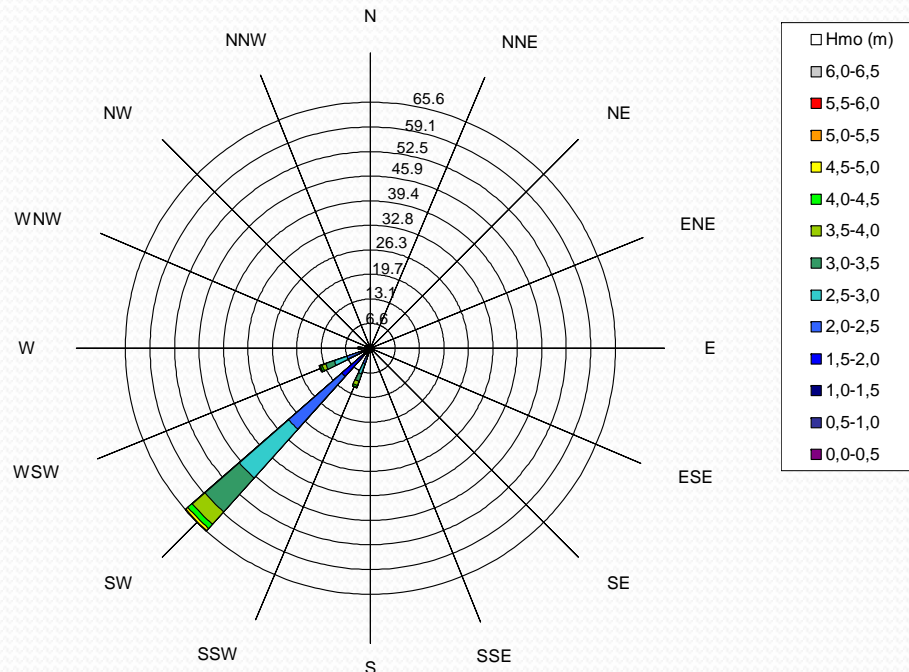
### 3. CONDICIONES DE OLEAJE EN A. P.

Proyecto Olas Chile II – Parámetros de Resumen, Nodo Valparaíso: 5 años cada 3 horas (14.616 datos) del 2000 al 2004

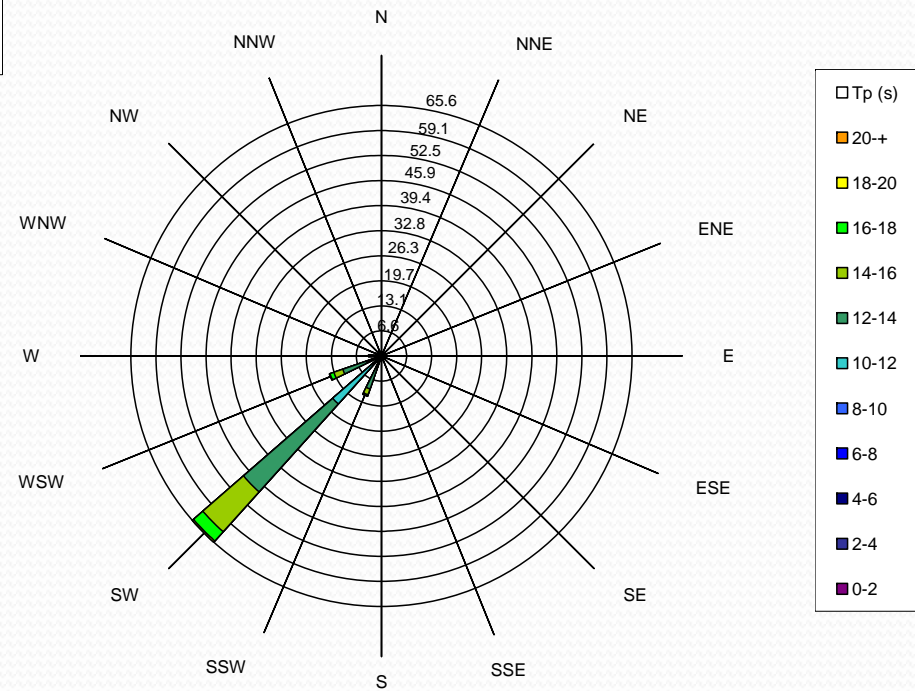




# 3. CONDICIONES DE OLEAJE EN A. P.



**ROSA DE ALTURAS**



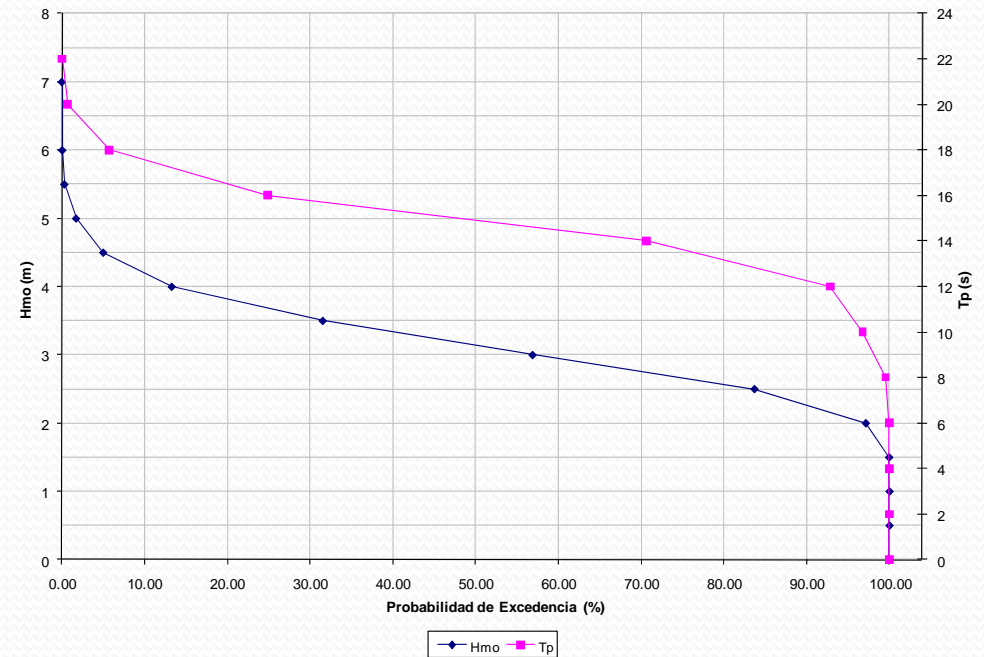
**ROSA DE PERÍODOS**

# 3. CONDICIONES DE OLEAJE EN A. P.

Altura de ola (m)	Periodo (s)										Total	F(%)	
	0.0 - 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 6.0	6.0 - 8.0	8.0 - 10.0	10.0 - 12.0	12.0 - 14.0	14.0 - 16.0	16.0 - 18.0	18.0 - 20.0			20.0 +
0.0 - 0.5												100.00	100.00
0.5 - 1.0					0.02		0.03					0.05	100.00
1.0 - 1.5					0.06	1.05	1.18	0.38	0.12	0.03		2.82	99.95
1.5 - 2.0			0.13	0.08	0.62	4.35	5.32	1.97	0.81	0.18		13.45	97.13
2.0 - 2.5			0.23	0.52	0.81	7.46	11.57	4.32	1.71	0.19	0.01	26.81	83.68
2.5 - 3.0			0.08	0.76	0.86	5.33	13.16	3.97	1.02	0.14	0.01	25.34	56.88
3.0 - 3.5			0.01	0.61	0.77	2.61	8.82	4.50	0.83	0.10		18.25	31.54
3.5 - 4.0				0.48	0.44	1.03	3.67	2.43	0.21	0.01		8.27	13.29
4.0 - 4.5				0.19	0.14	0.30	1.52	1.01	0.12	0.01		3.28	5.02
4.5 - 5.0				0.10	0.12	0.10	0.42	0.51	0.16			1.42	1.74
5.0 - 5.5				0.01	0.06		0.03	0.12	0.03			0.25	0.32
5.5 - 6.0					0.03			0.02				0.05	0.07
6.0 +					0.01							0.01	0.01
<b>Total</b>			0.44	2.75	3.94	22.24	45.72	19.21	5.01	0.66	0.02	100.00	
<b>F(%)</b>	100.00	100.00	100.00	99.56	96.80	92.86	70.63	24.90	5.69	0.68	0.02		

**Leyenda**  
**Total** -- basado en el número total de registros usados en el intervalo seleccionado  
**F** -- porcentaje de ocurrencia derivado de "Total"  
 Frecuencias de ocurrencia son presentados en porcentajes (%)

## TABLA DE INCIDENCIA



**PLOTEIO EXCEDENCIA Hmo Y Tp**

# MODELO DE PROPAGACIÓN DE OLEAJE

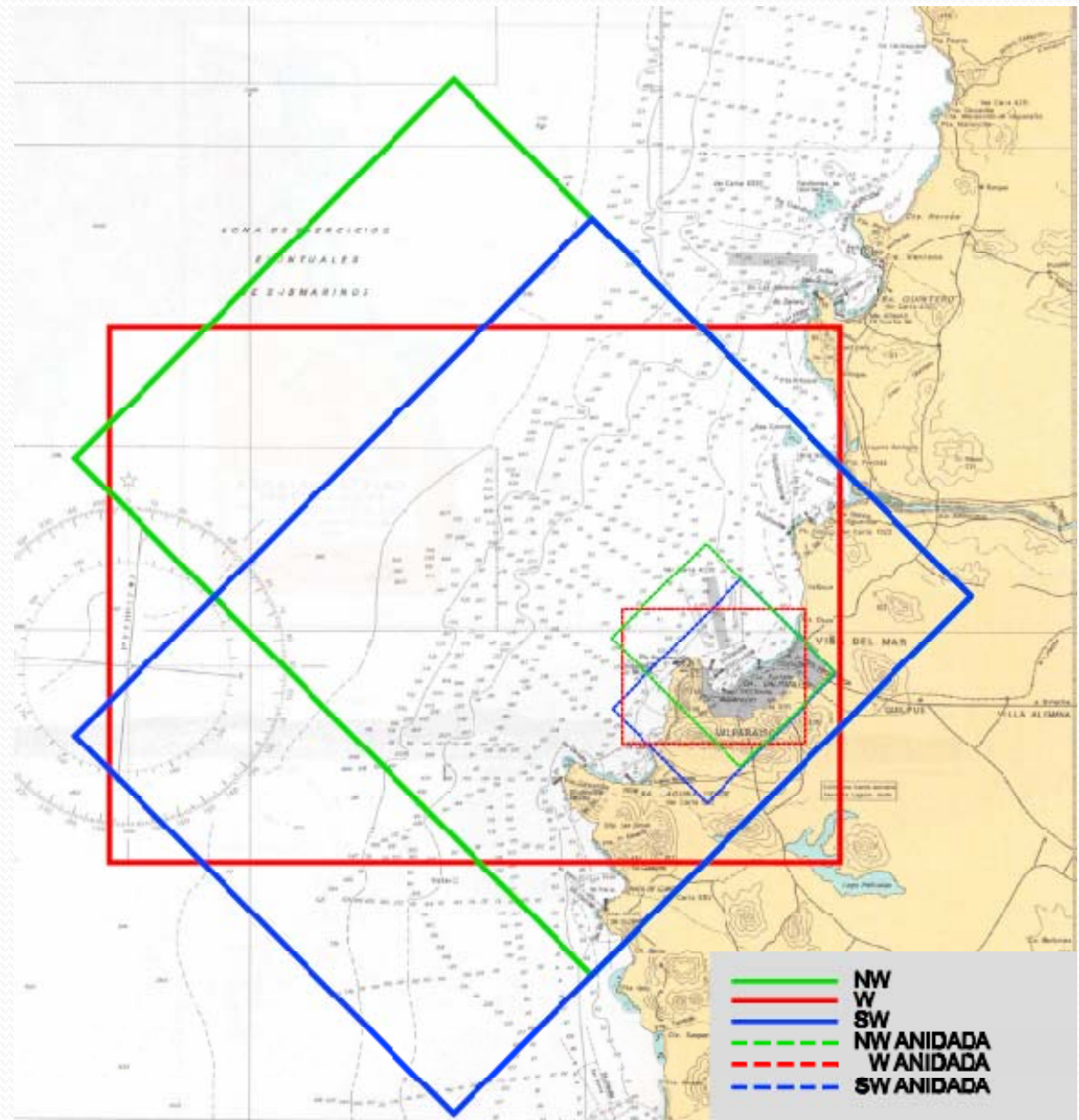


# GENERACIÓN DE GRILLAS



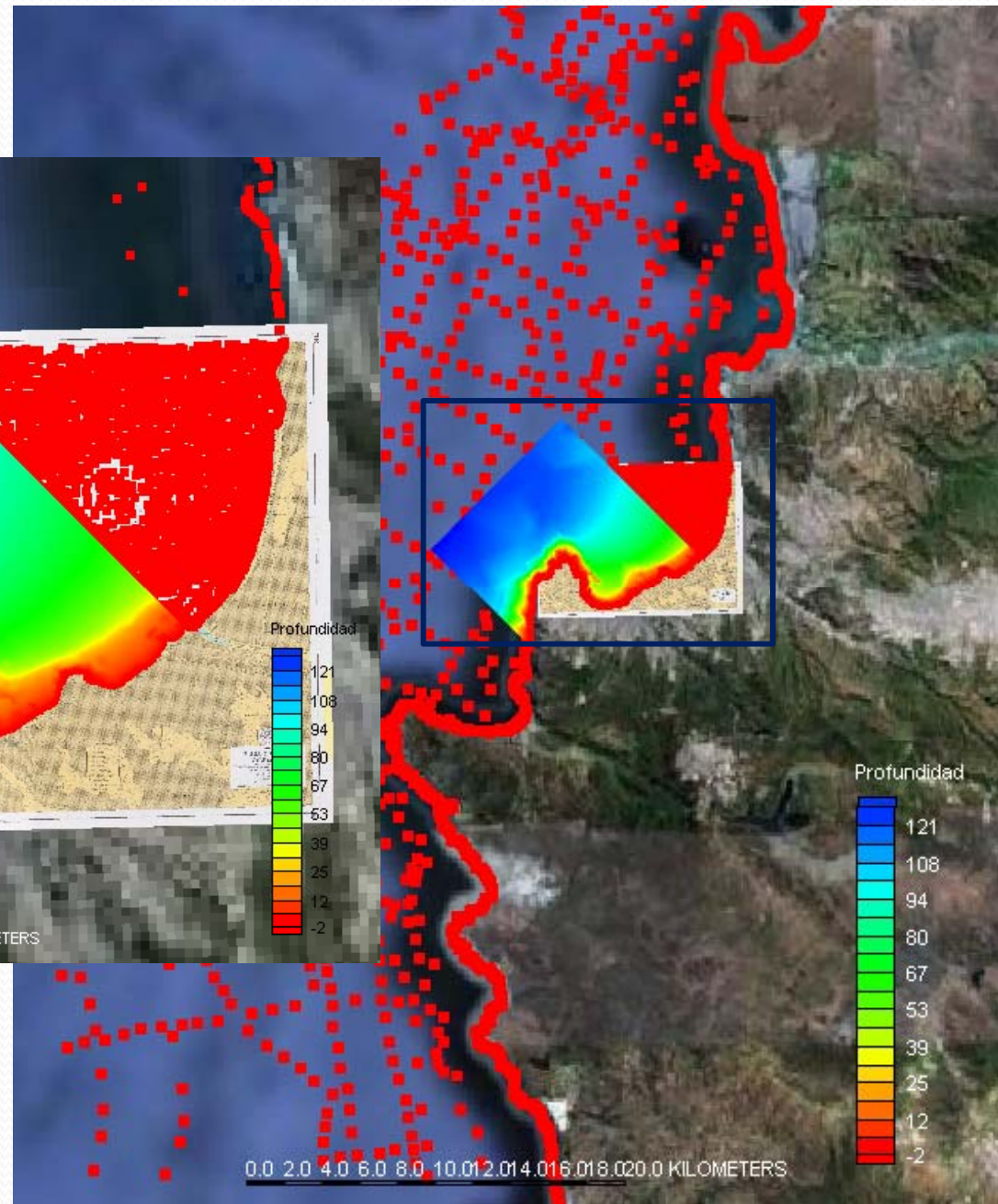
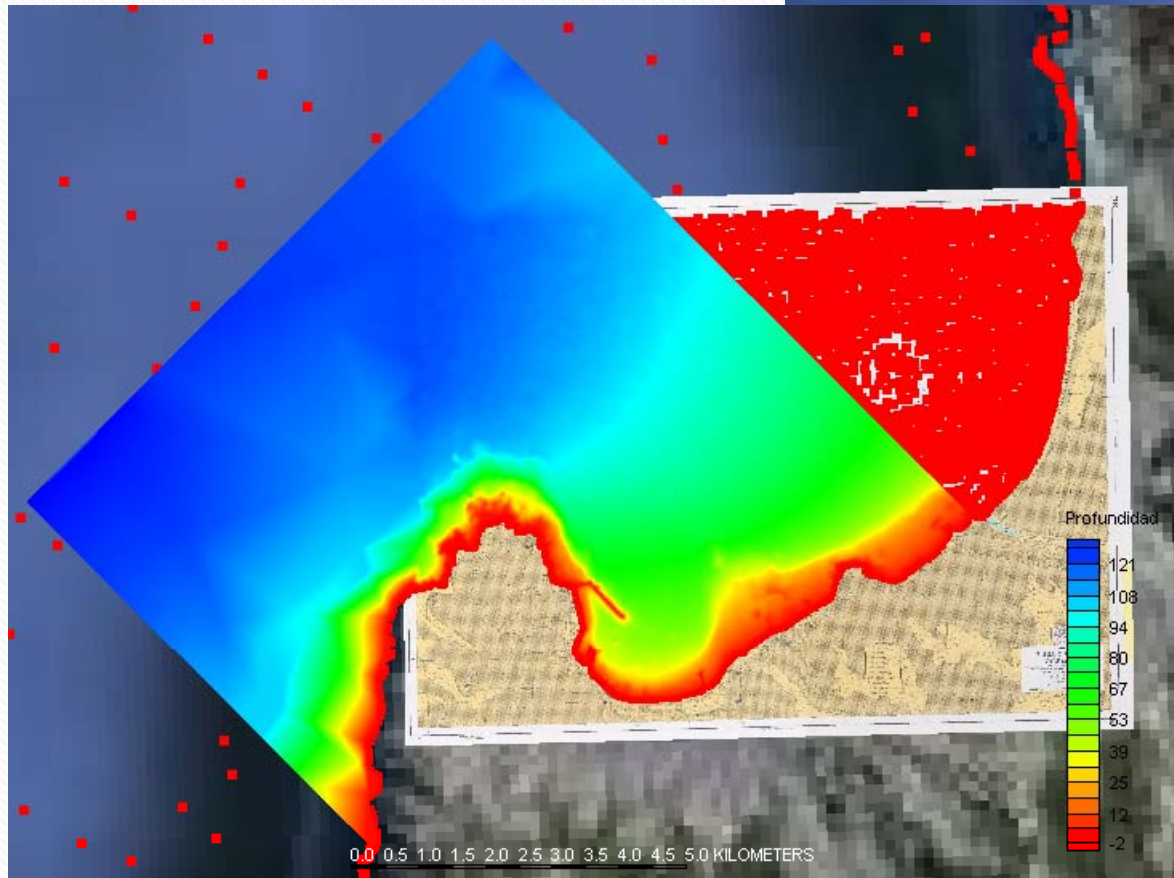
# 4.1. GENERACIÓN DE GRILLAS

- Batimetría
  - Carta SHOA N° 5000
  - Carta SHOA N° 5111
- Malla Exterior: 150x150 m
- Malla Anidada: 25x25 m



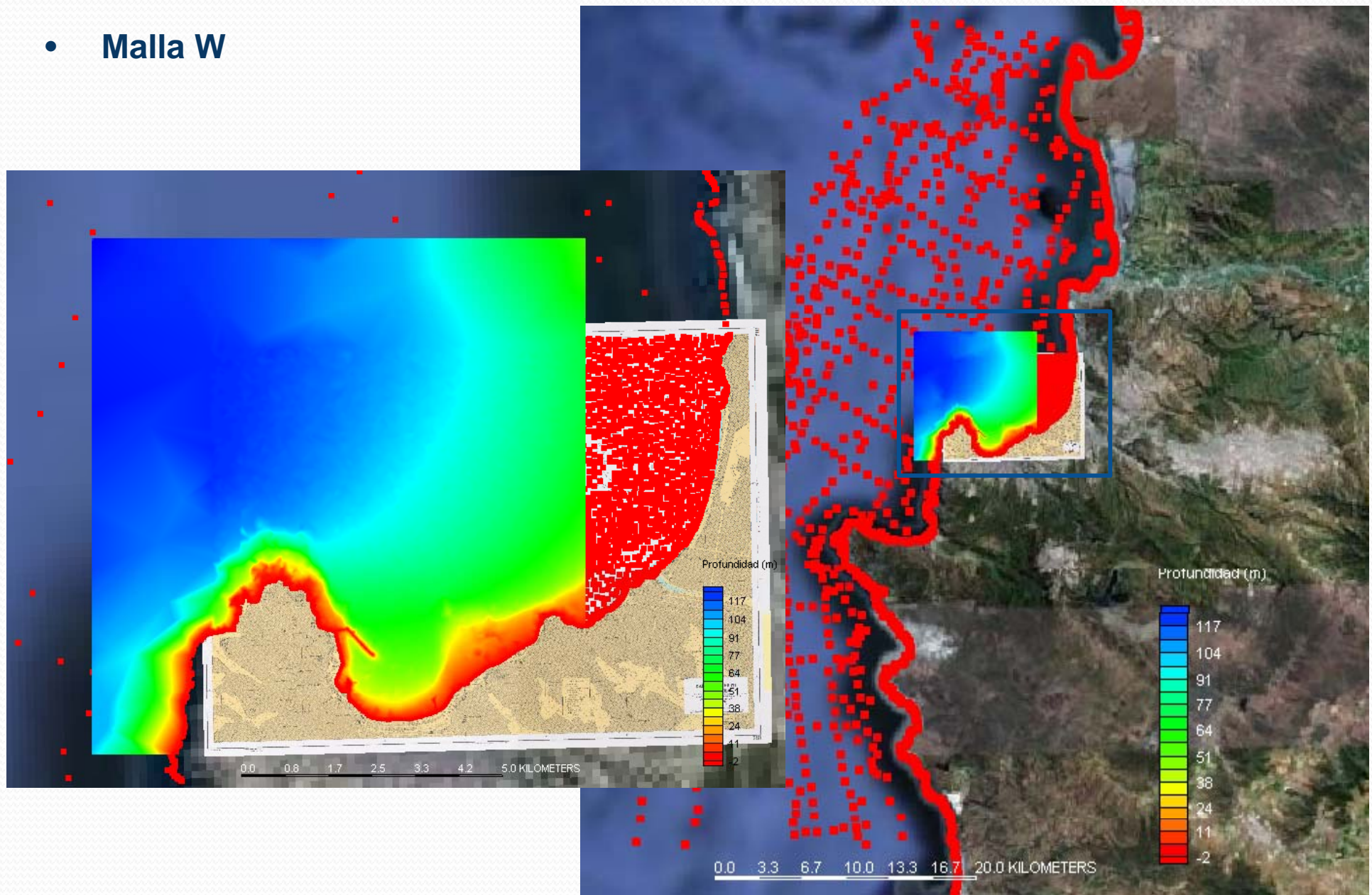
# 4.1. GENERACIÓN DE GRILLAS

- Malla SW



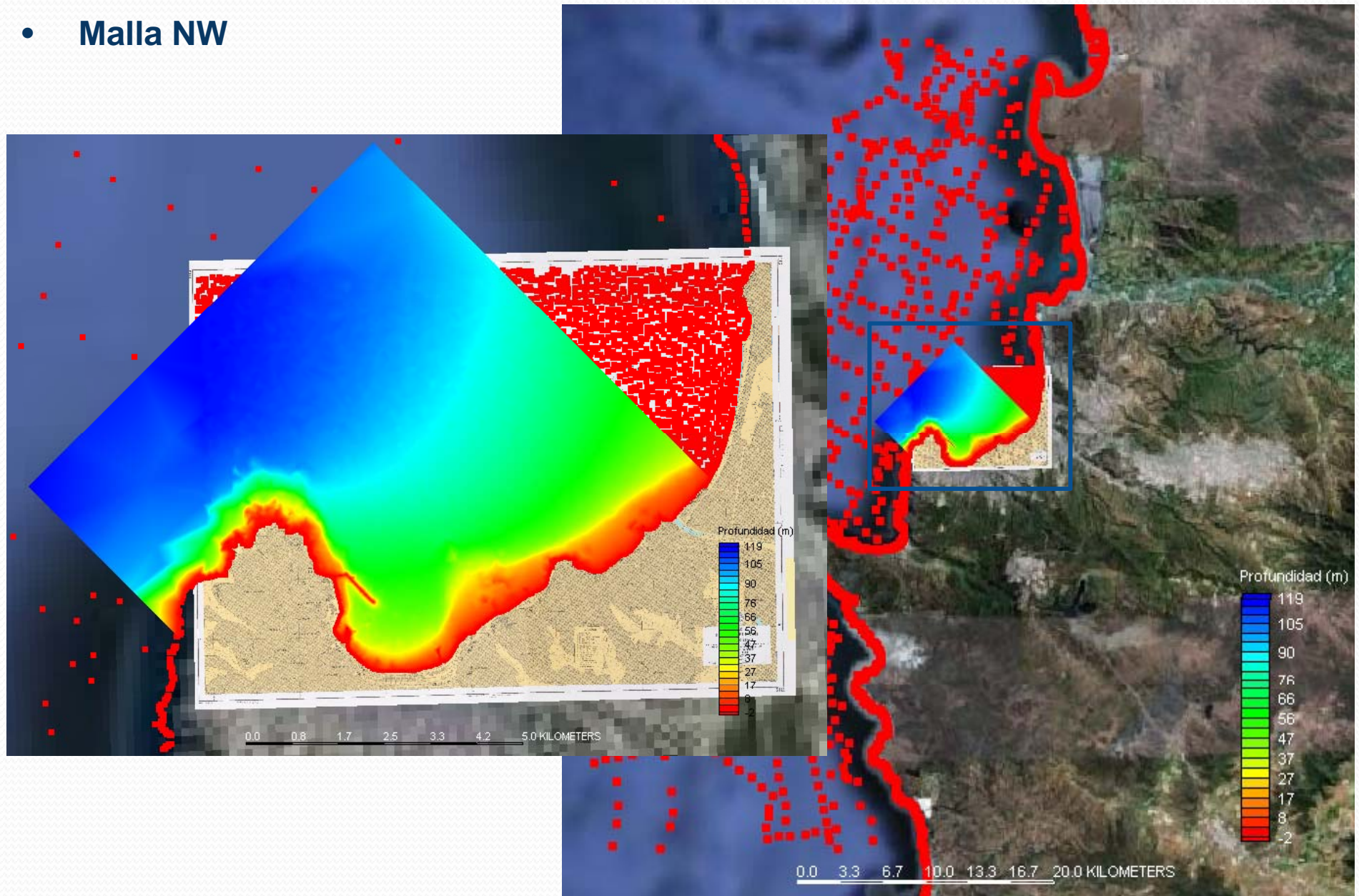
# 4.1. GENERACIÓN DE GRILLAS

- Malla W



# 4.1. GENERACIÓN DE GRILLAS

- Malla NW



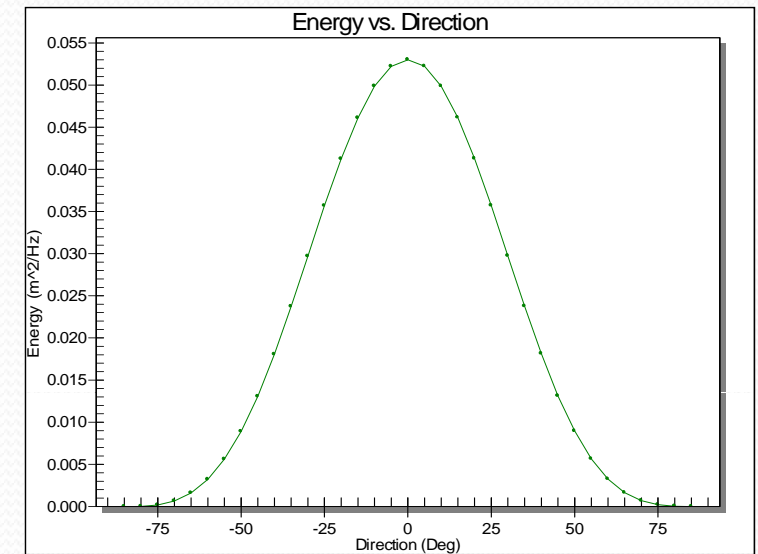
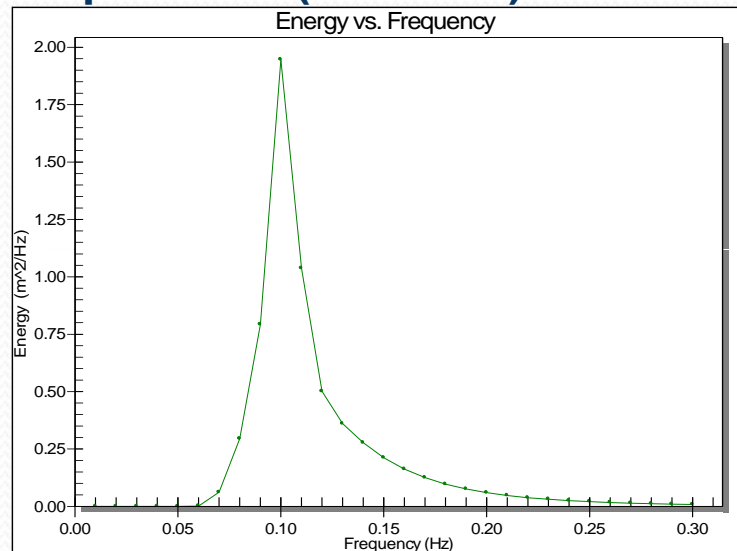
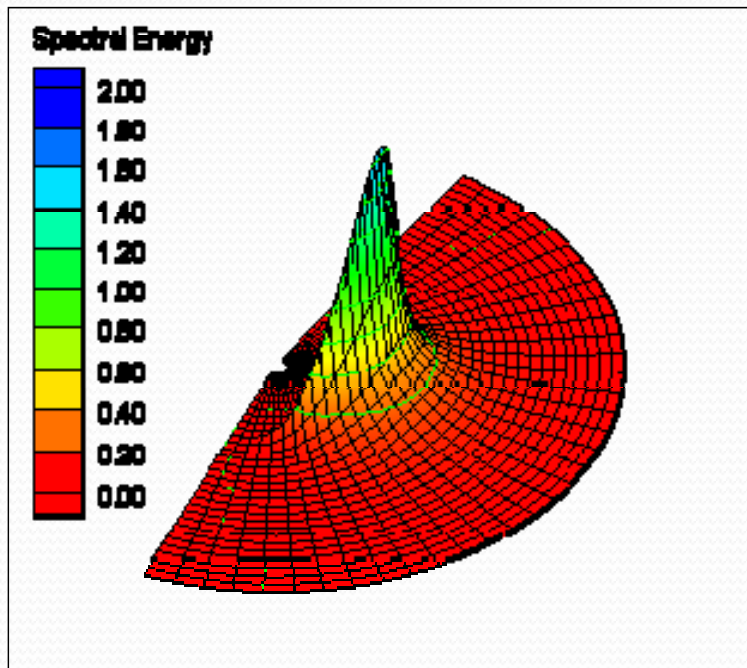


# GENERACIÓN DE ESPECTROS



## 4.2. GENERACIÓN DE ESPECTROS

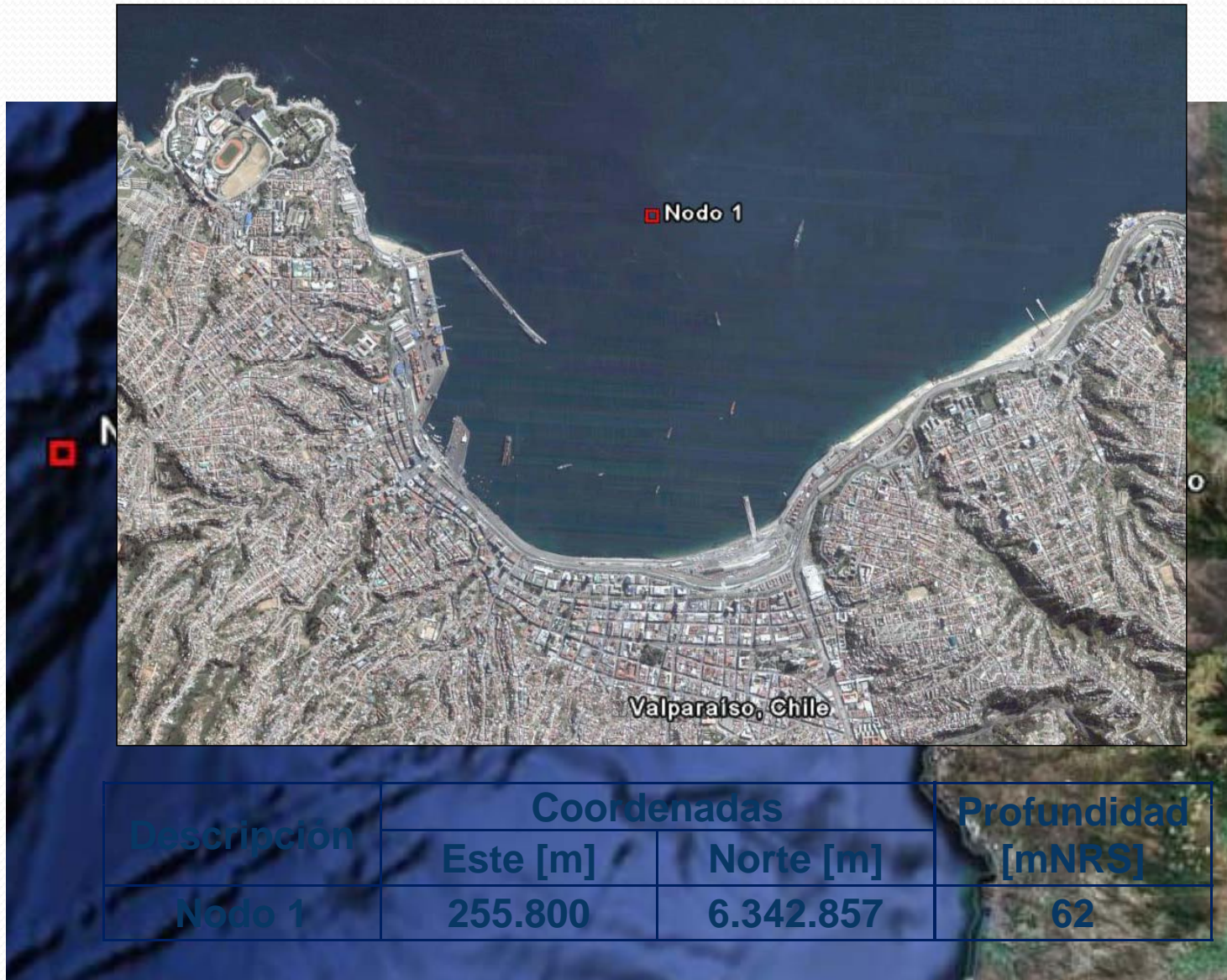
- Espectro de frecuencia Tipo JONSWAP (Hasselmann, 1973)
- Distribuciones direccionales espectrales de tipo cosenoidal (USACE, 2003).
- Total de 7 Direcciones y 10 períodos (70 casos)



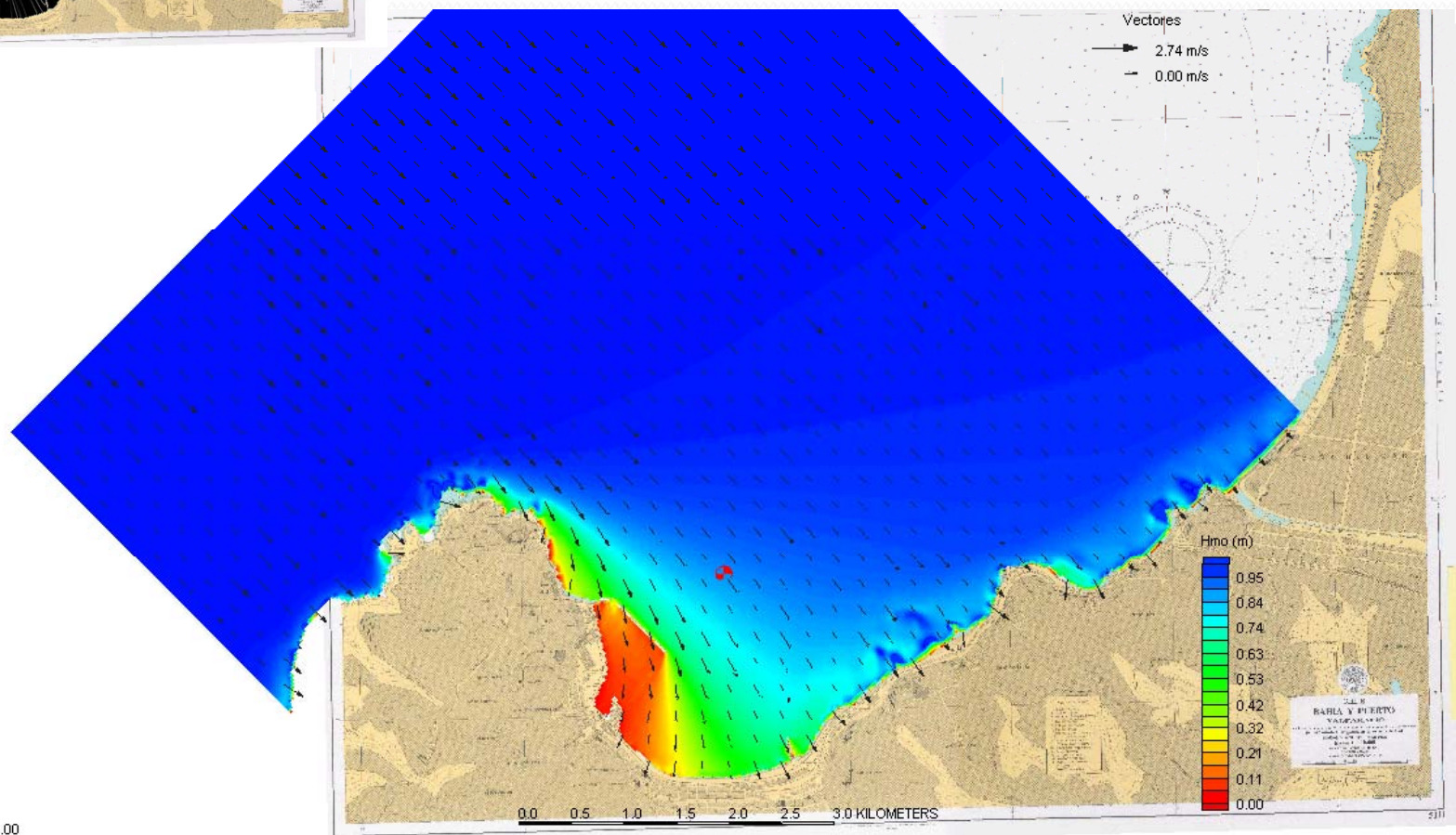
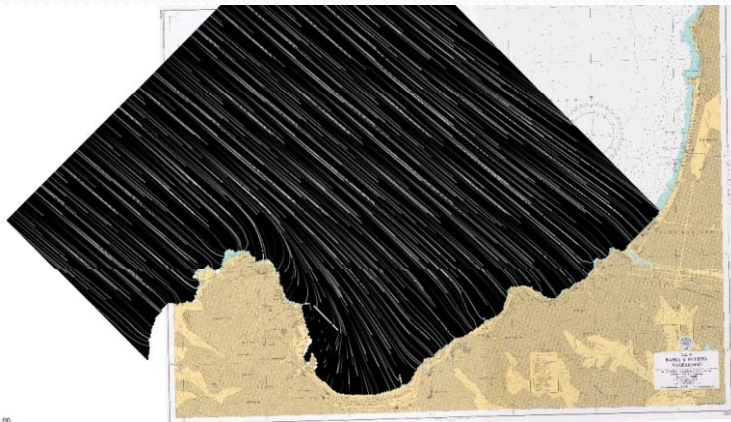
# **FUNCIONES DE TRANSFERENCIA**



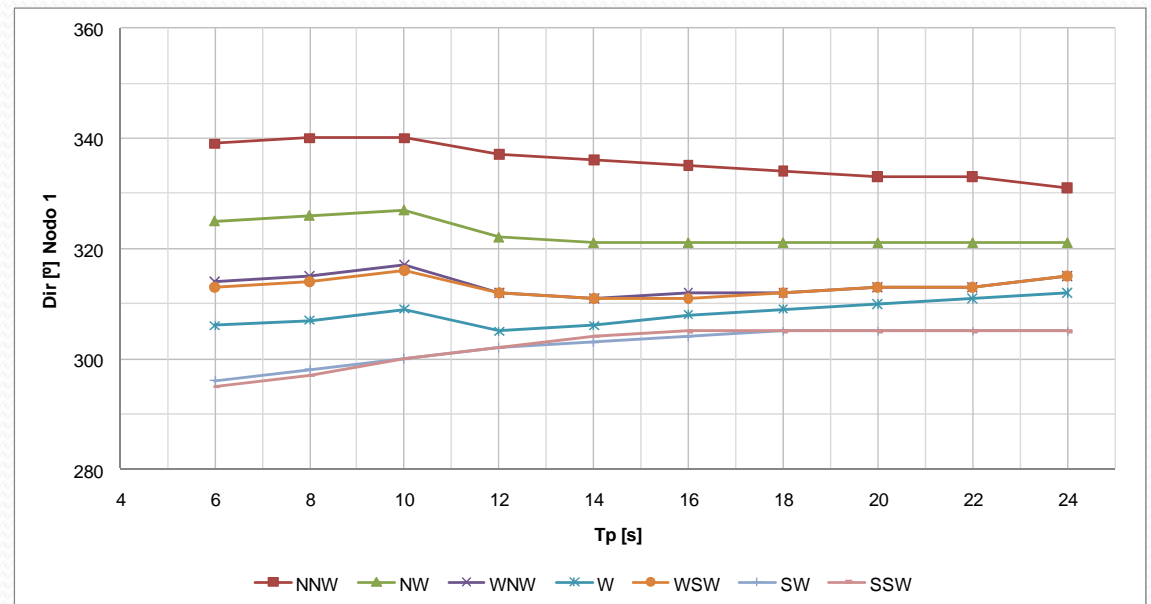
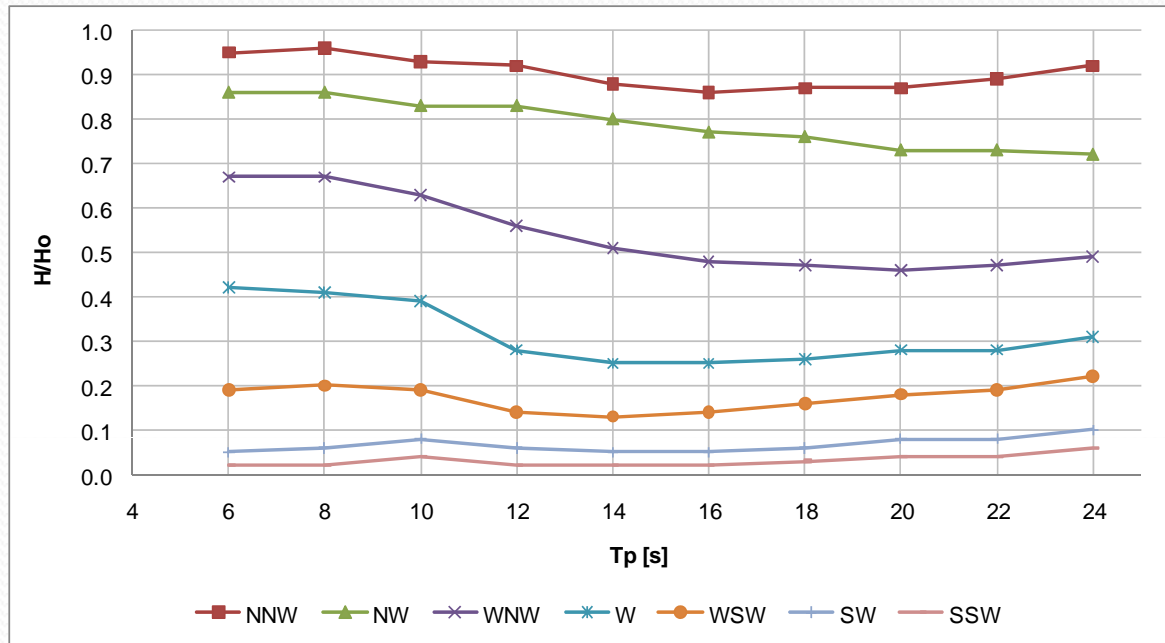
## 4.3. FUNCIONES DE TRANSFERENCIA



# 4.3. FUNCIONES DE TRANSFERENCIA



# 4.3. FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

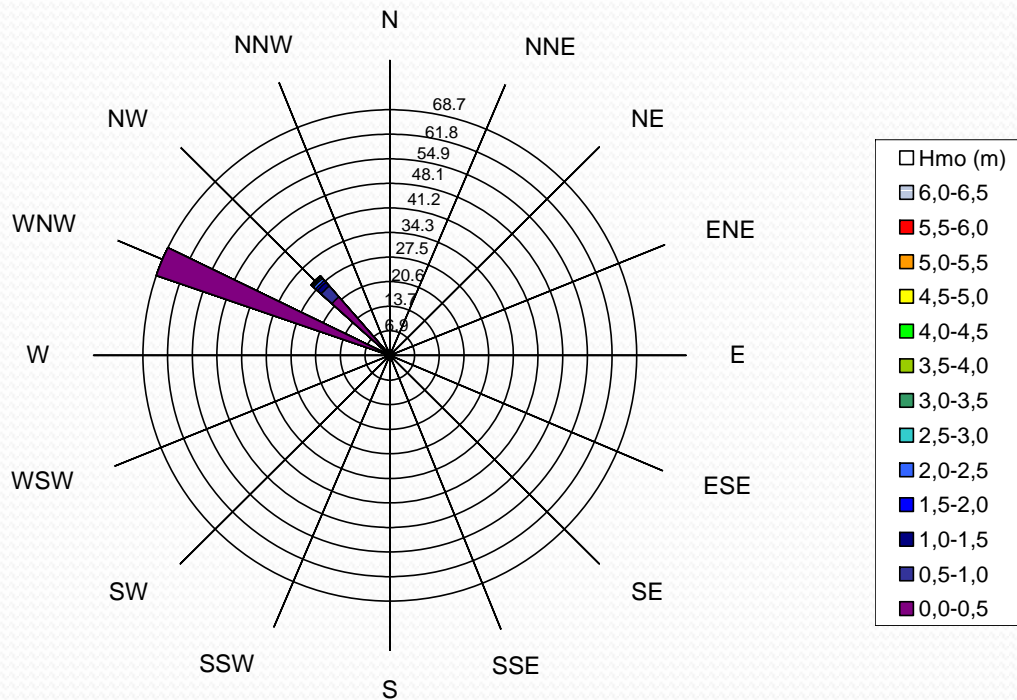


# CLIMA DE OLEAJE FRENTE AL PUERTO (NODO 1)

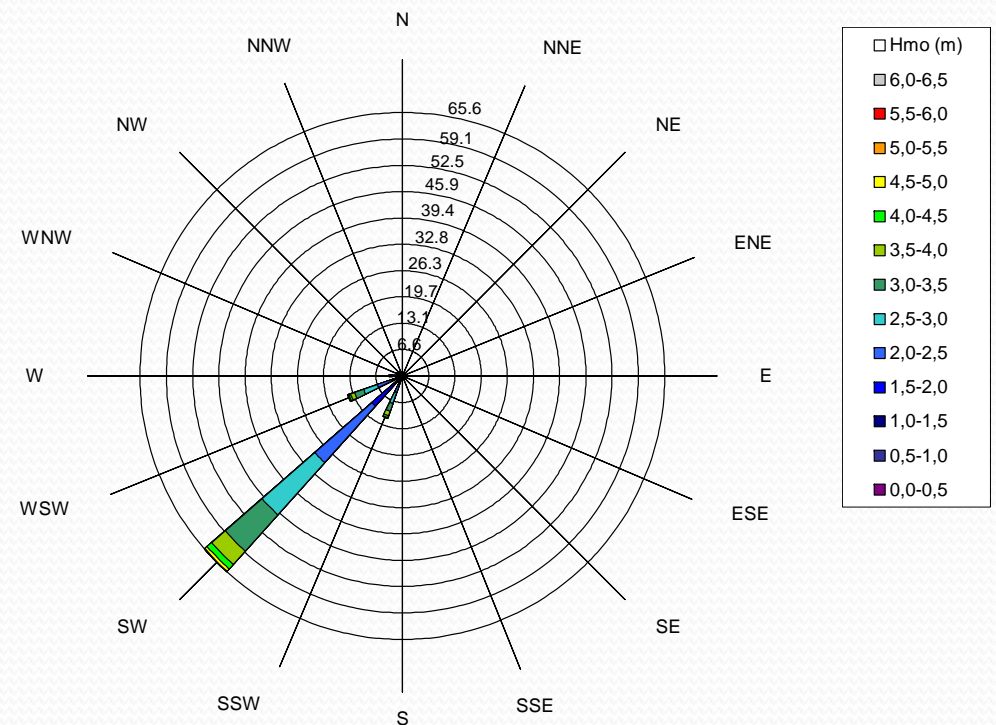


# 4.4. CLIMA DE OLEAJE FRENTE AL PUERTO

## NODO 1



## AGUAS PROFUNDAS

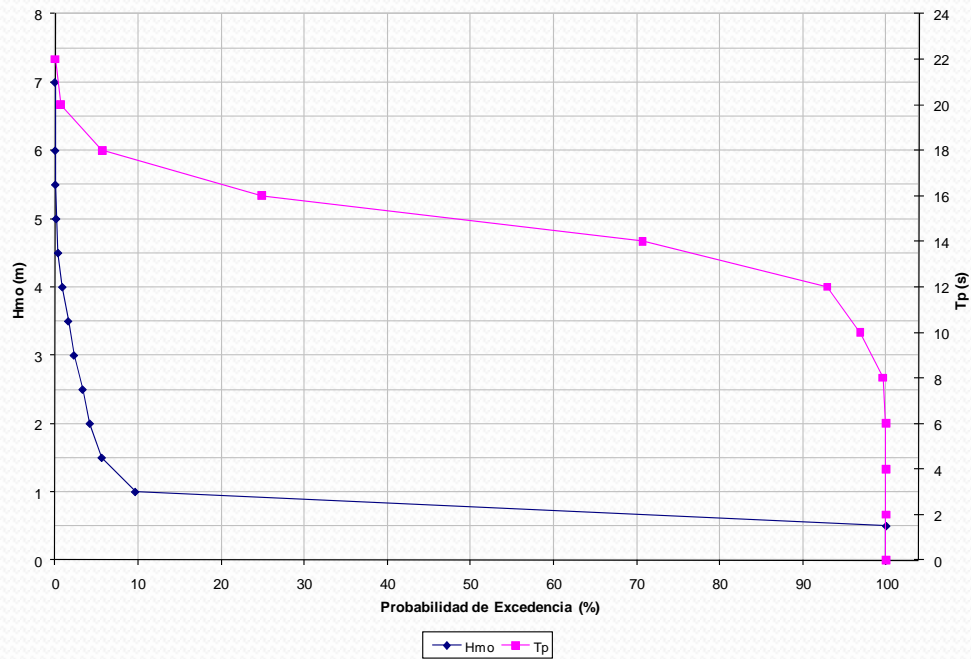




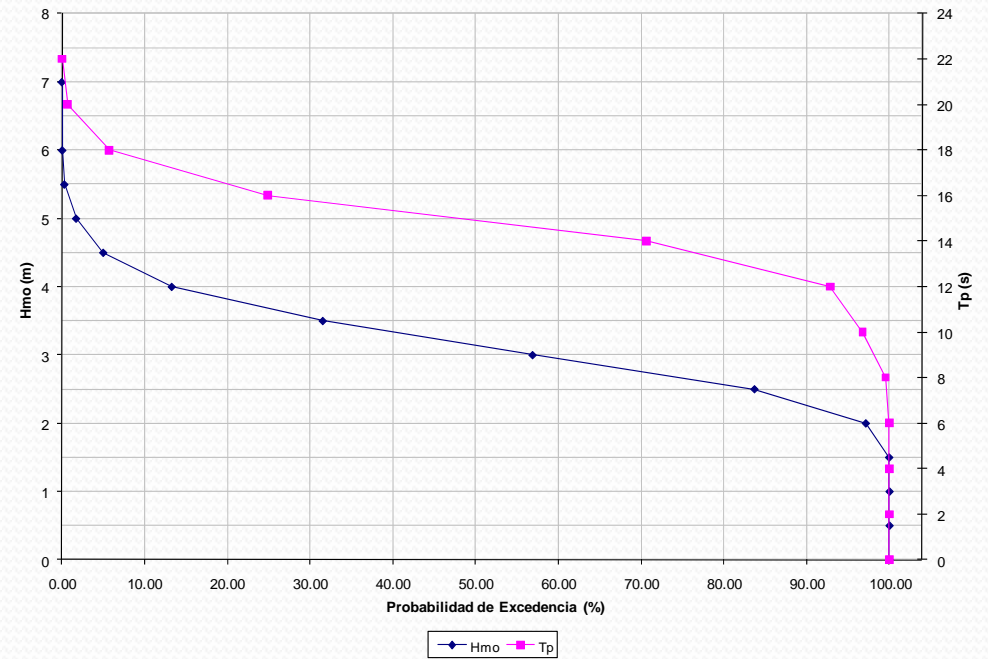


# 4.4. CLIMA DE OLEAJE FRENTE AL PUERTO

## NODO 1



## AGUAS PROFUNDAS



# MODELO DE AGITACIÓN DE OLEAJE

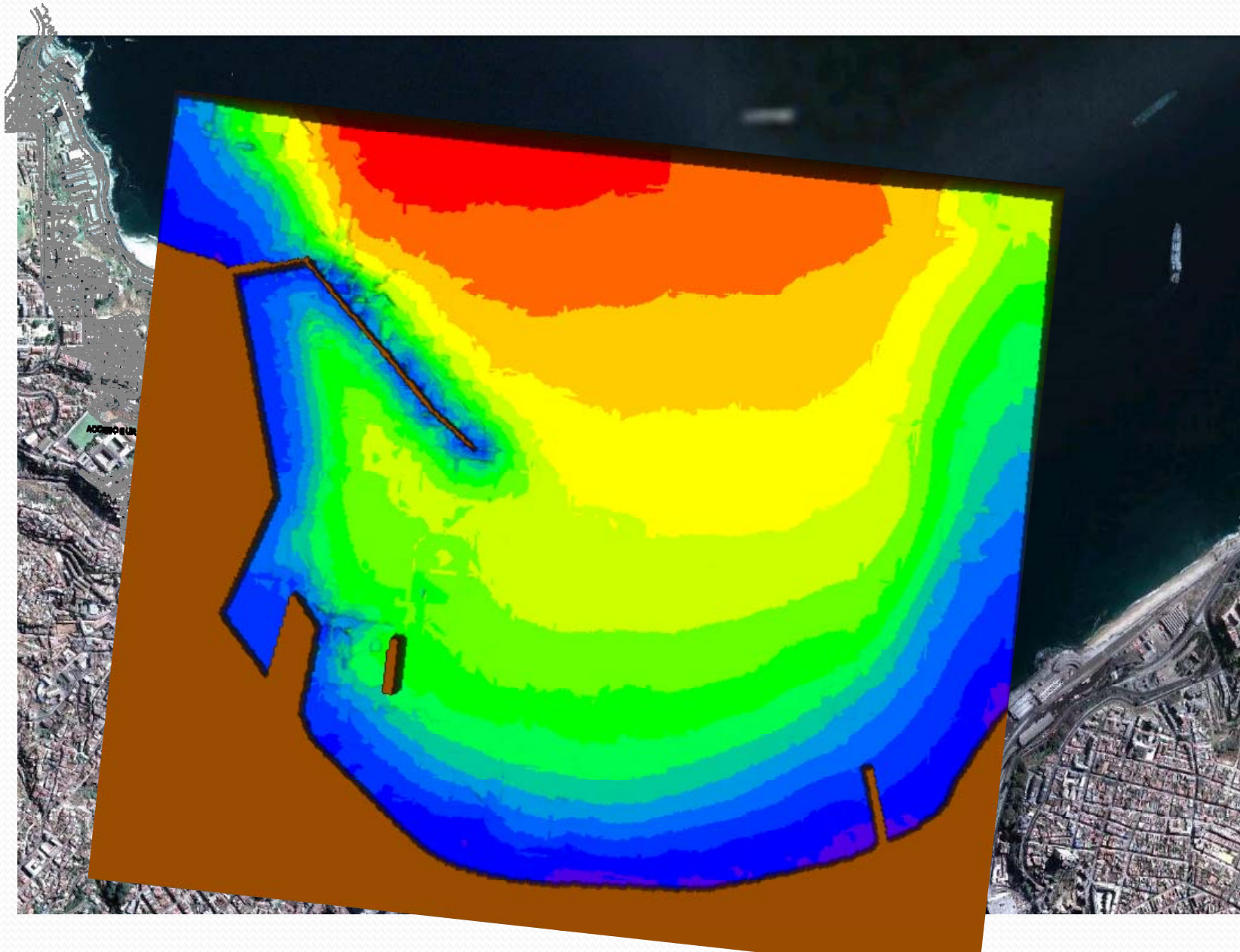


# GENERACIÓN DE BATIMETRÍA



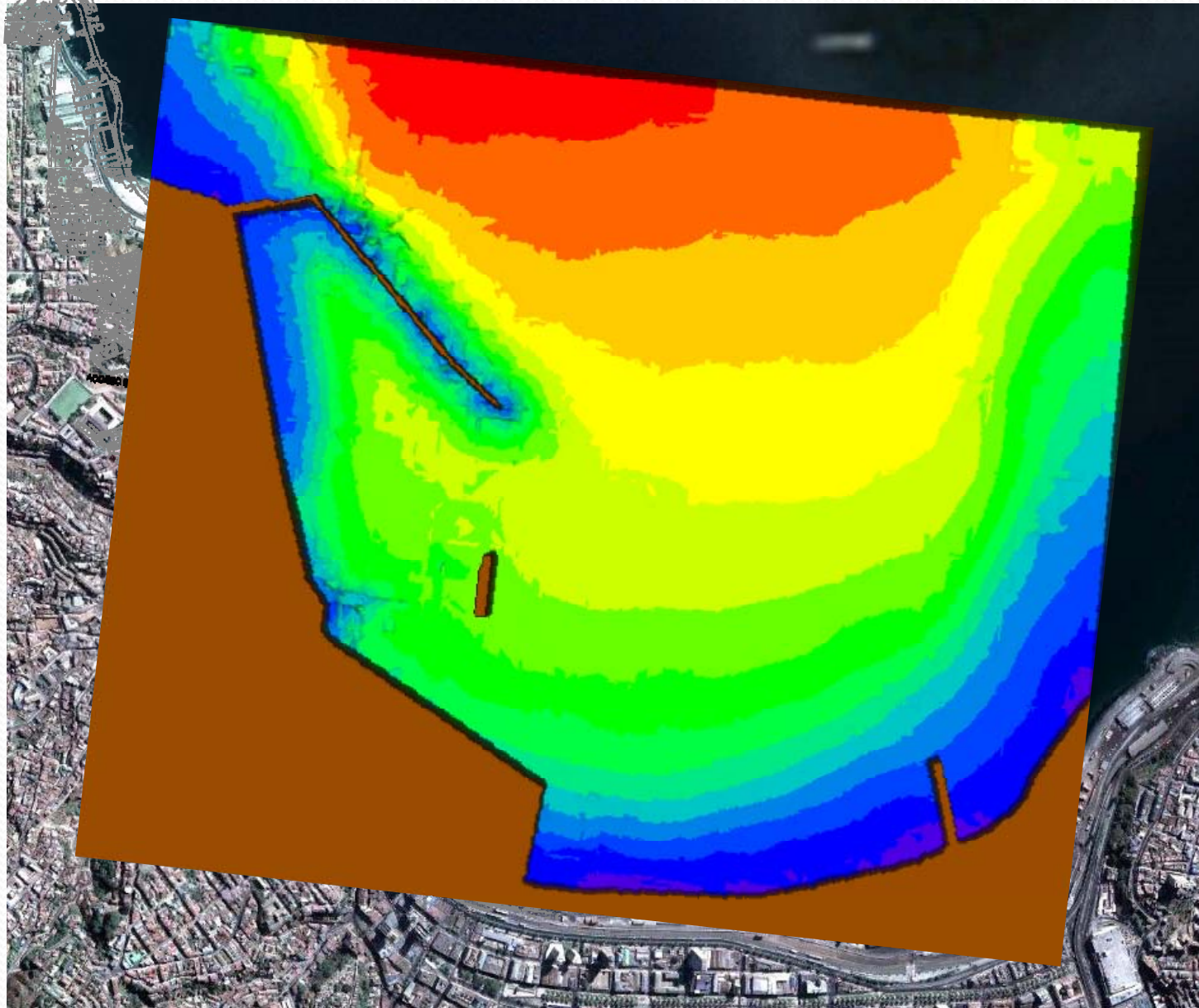
# 5.1. GENERACIÓN DE BATIMETRÍA

SITUACIÓN ACTUAL



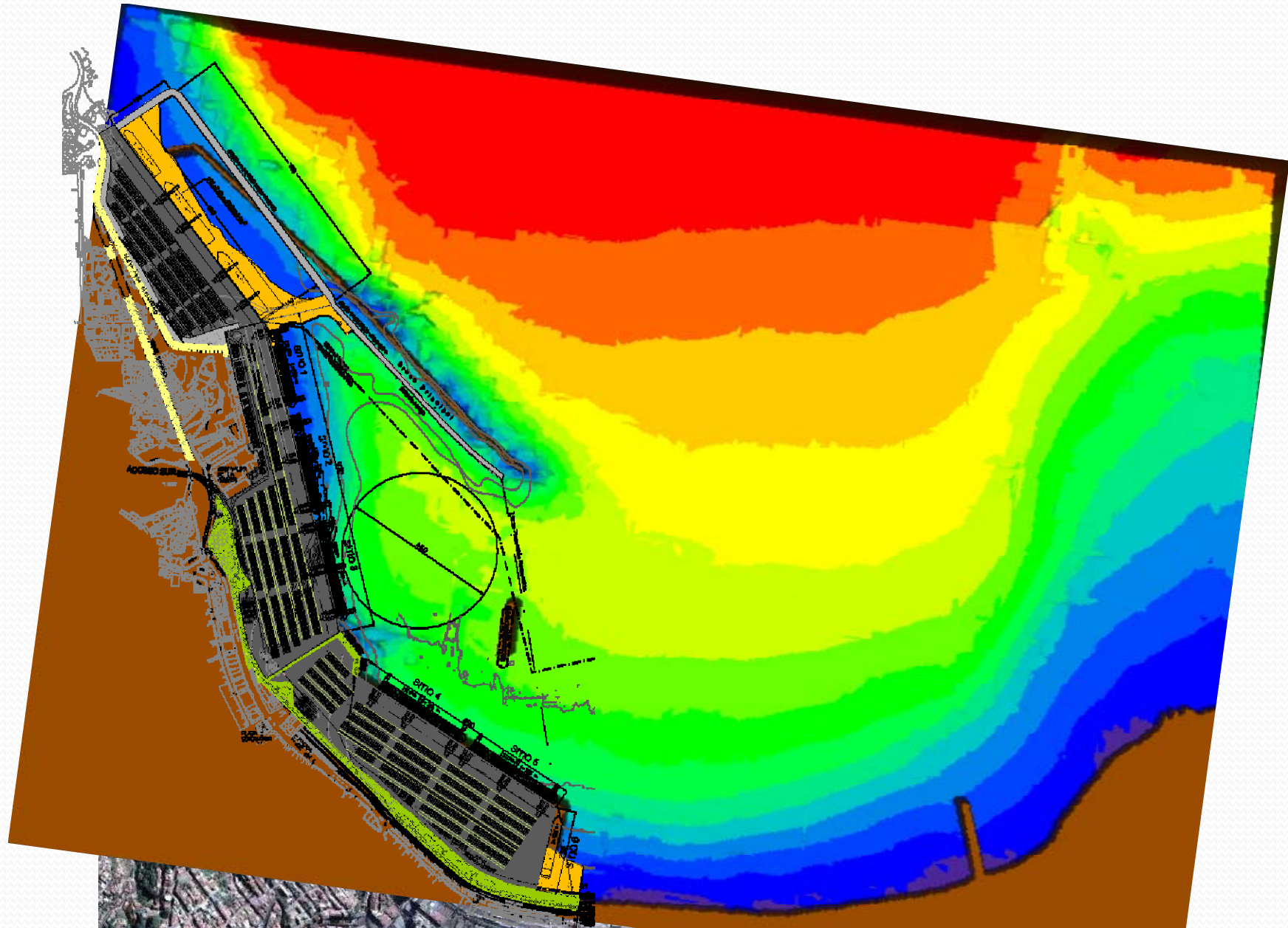
# 5.1. GENERACIÓN DE BATIMETRÍA

## ESCENARIO 1 – FRENTE COSTANERA



# 5.1. GENERACIÓN DE BATIMETRÍA

## ESCENARIO 2 – EXTENSIÓN PLAYA SAN MATEO



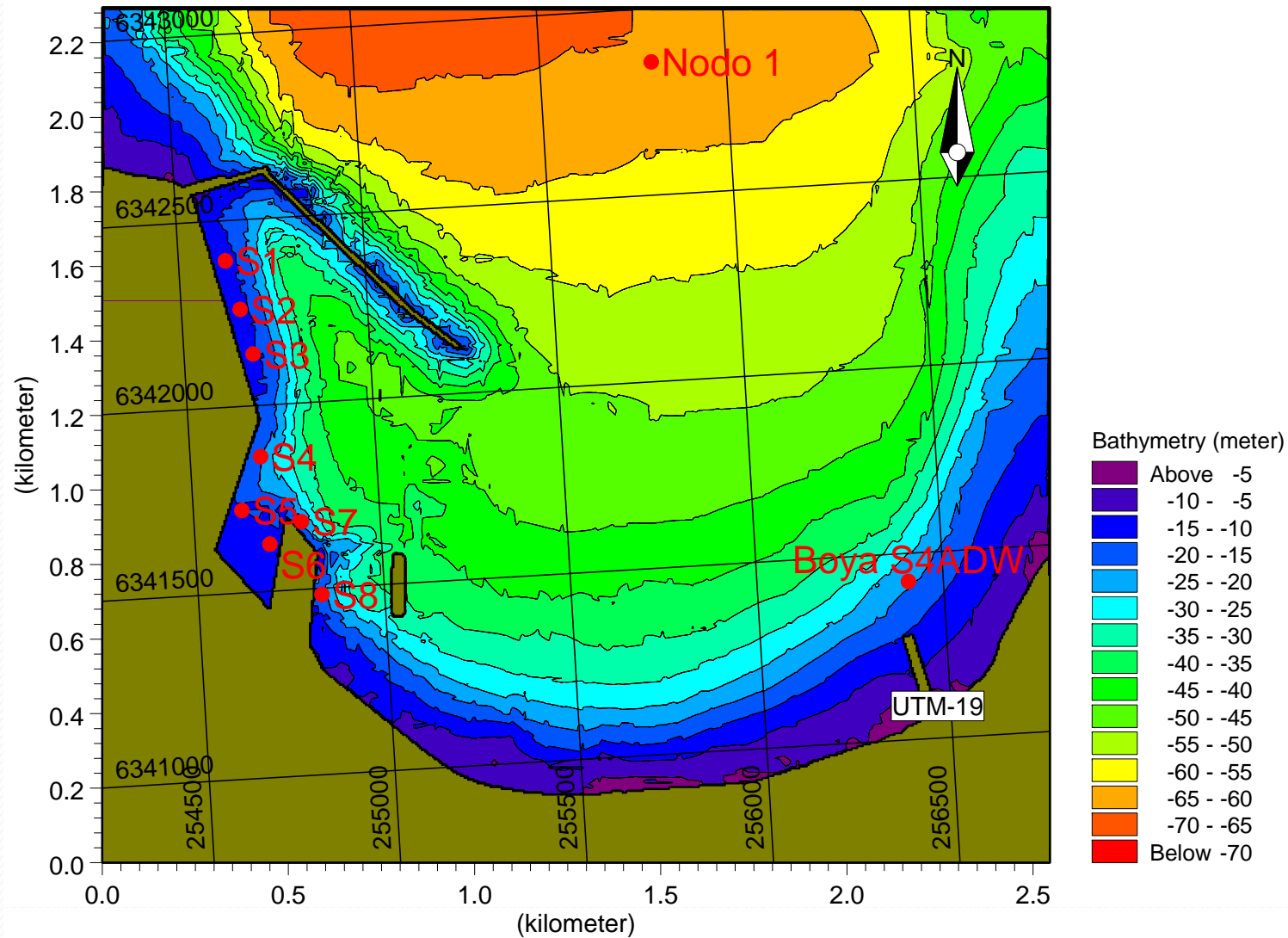
# PUNTOS DE EXTRACCIÓN





# 5.2. PUNTOS DE EXTRACCIÓN

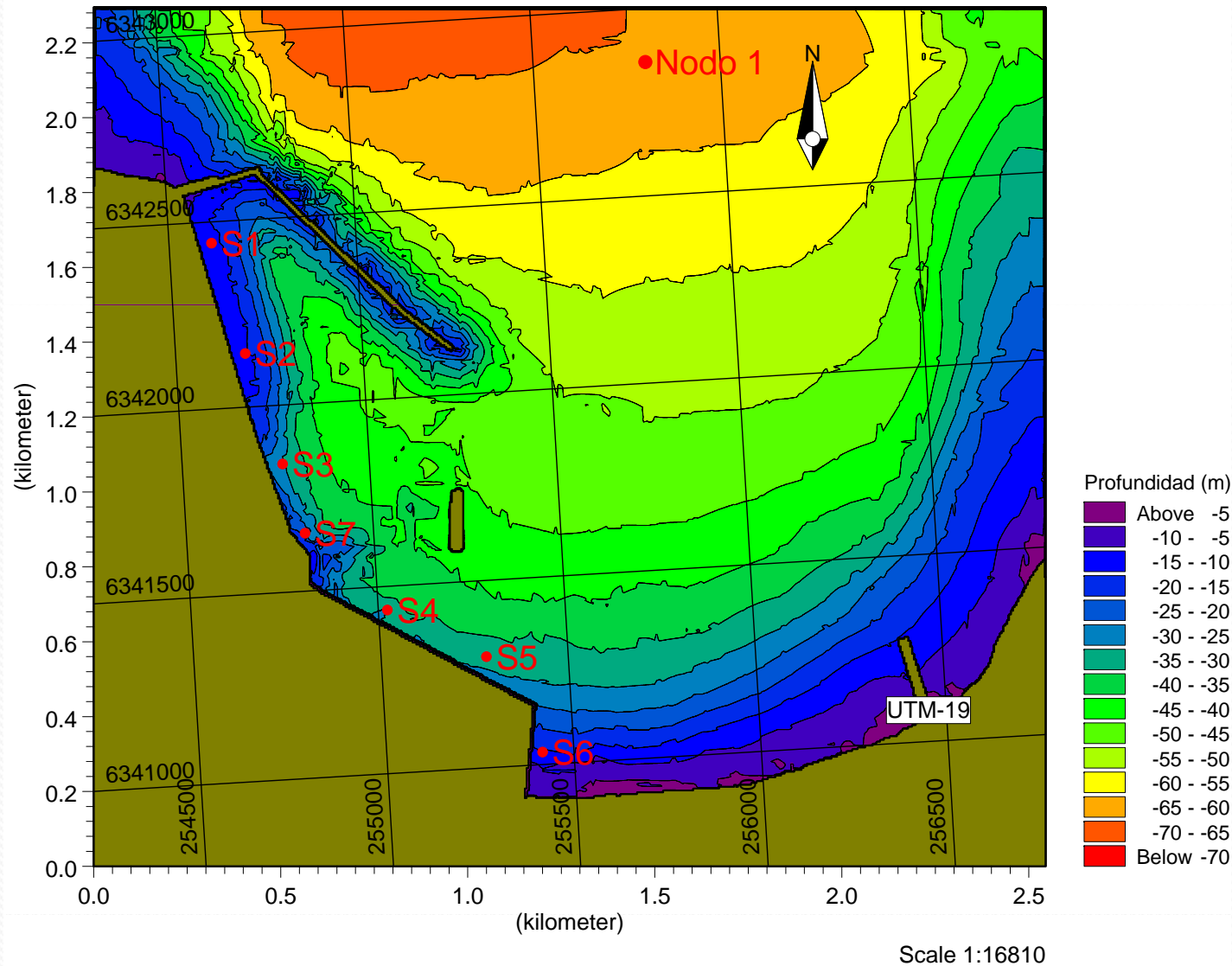
## SITUACIÓN ACTUAL



Scale 1:21700

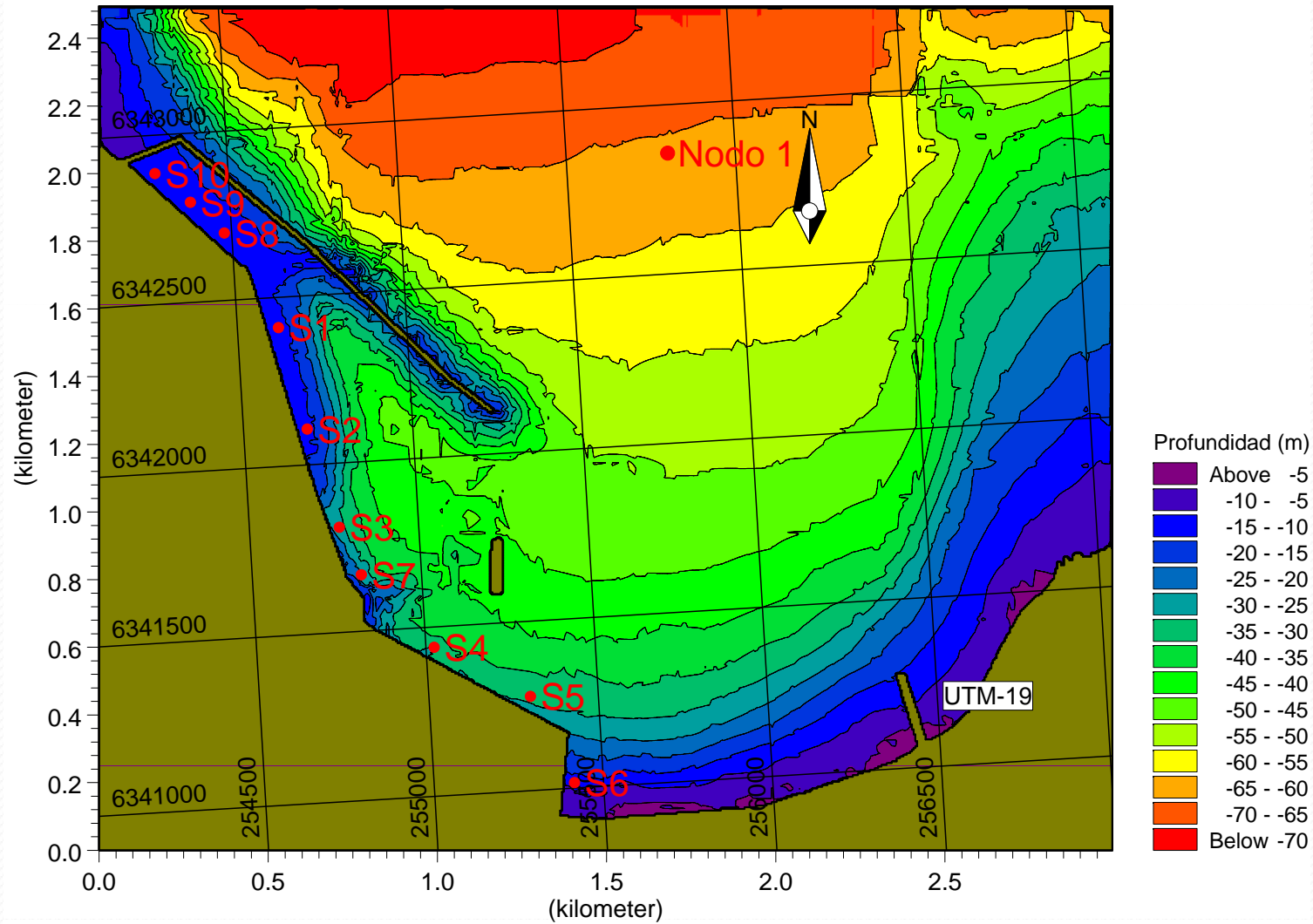
# 5.2. PUNTOS DE EXTRACCIÓN

## ESCENARIO 1 – FRENTE COSTANERA



# 5.2. PUNTOS DE EXTRACCIÓN

## ESCENARIO 2 – EXTENSIÓN A SAN MATEO



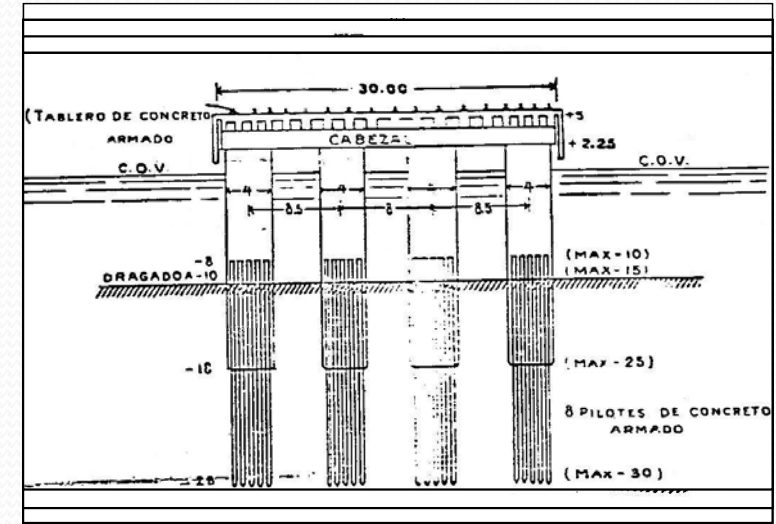
Scale 1:20540

# COEFICIENTES DE REFLEXIÓN



# 5.3. COEFICIENTES DE REFLEXIÓN

## SITUACIÓN ACTUAL



## **5.3. COEFICIENTES DE REFLEXIÓN**

### **ESCENARIO 1 – FRENTE COSTANERA**

**Se ha considerado una estructuración de las mismas características a la existente en el espigón. Coeficiente de 0.9.**

### **ESCENARIO 2 – EXTENSIÓN PLAYA SAN MATEO**

**Sitios: estructuración de los Sitios 1, 2 y 3. Coeficiente de 0.6**

**Extensión Molo: Continuación actual molo. Coeficiente de 0.9**

# GENERACIÓN DE CAPAS DE ESPONJA



## **5.4. GENERACIÓN DE CAPAS DE ESPONJA**

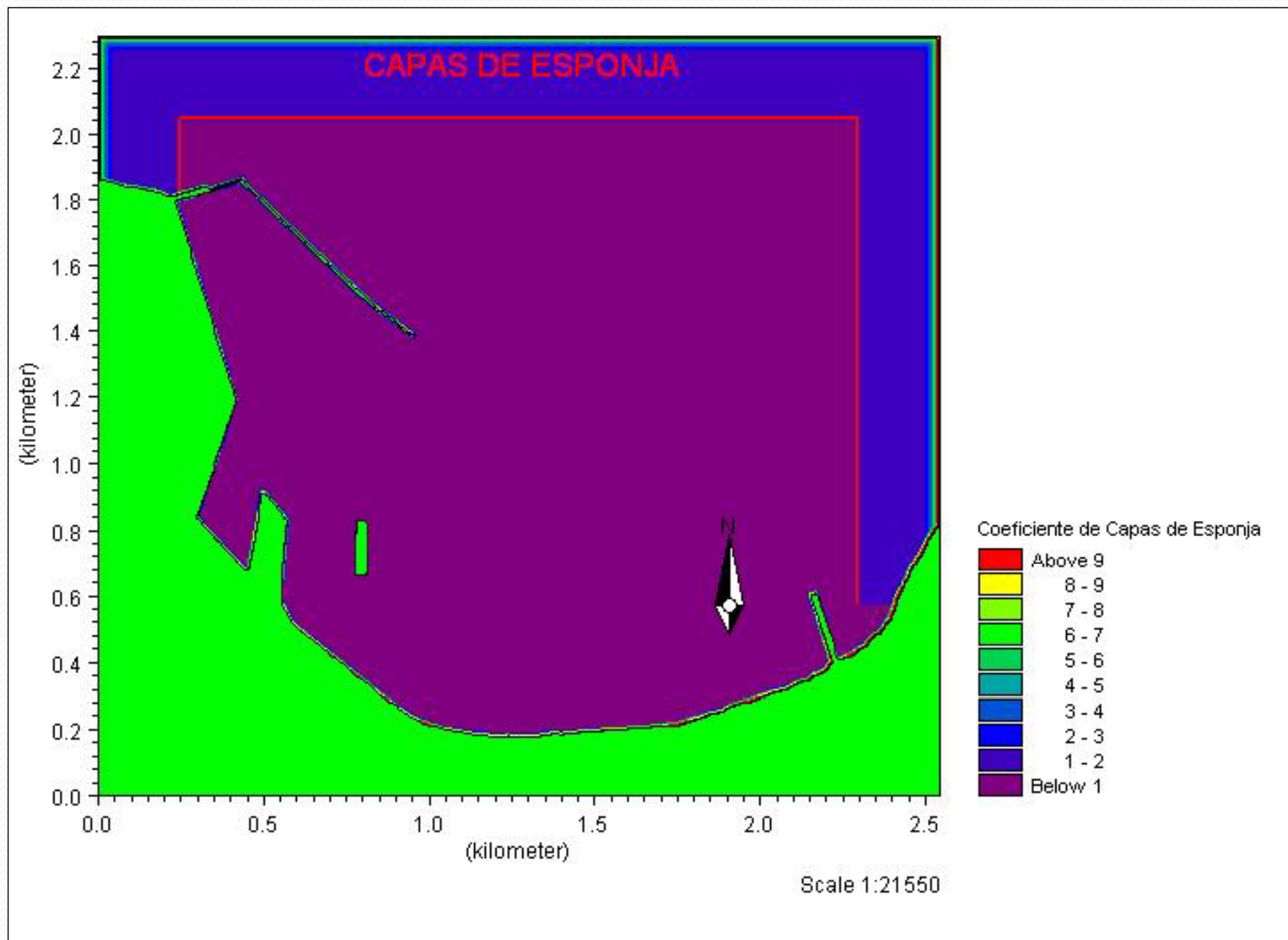
---

- 1. Absorben la energía del oleaje que sale del modelo**
- 2. Para estudios agitación valores recomendados de 50 o más líneas de grilla (DHI, 2005)**
- 3. Se utilizó un valor de 50 líneas de grilla, equivalente a 250 [m].**



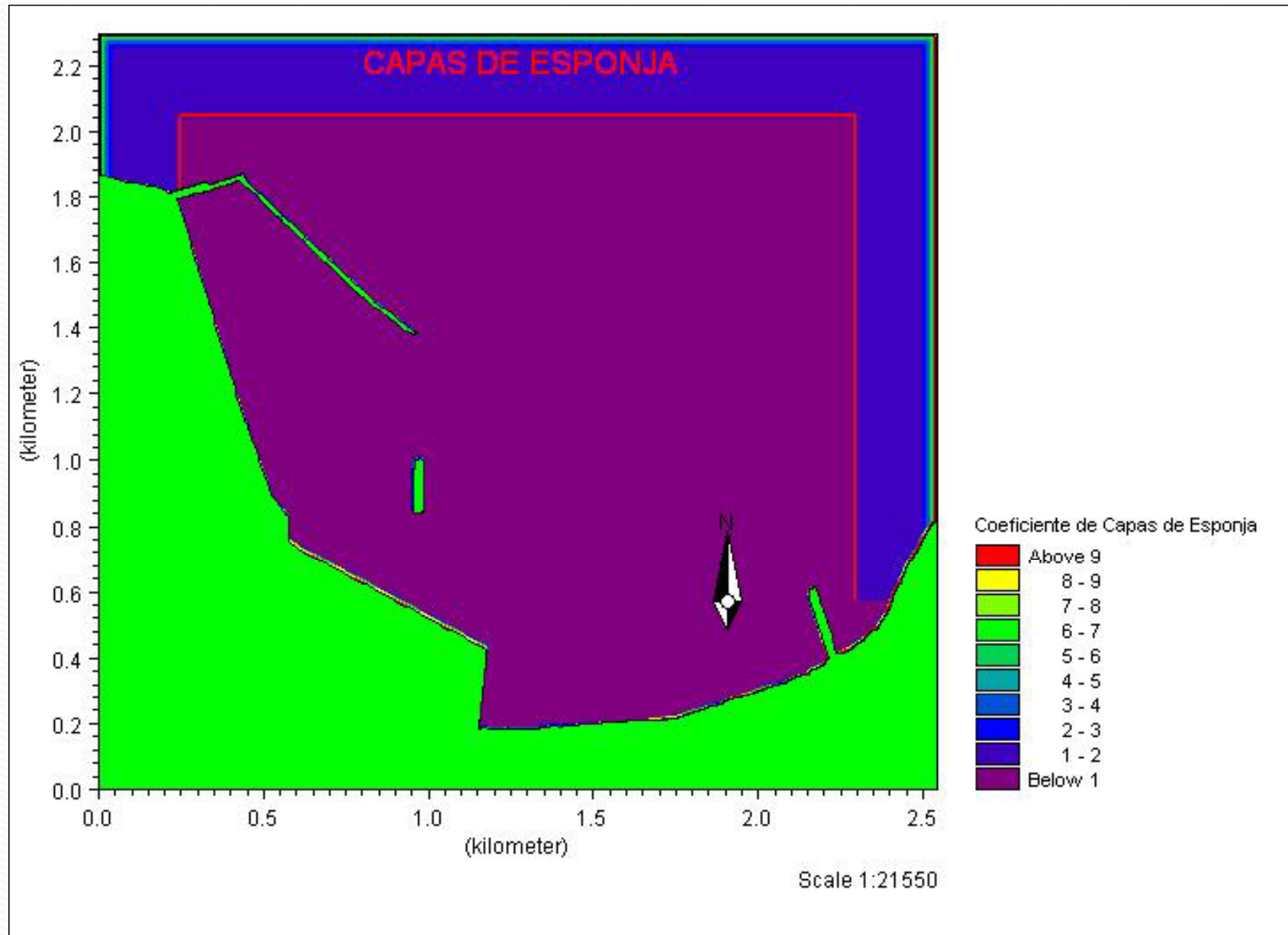
# 5.4. GENERACIÓN DE CAPAS DE ESPONJA

## SITUACIÓN ACTUAL



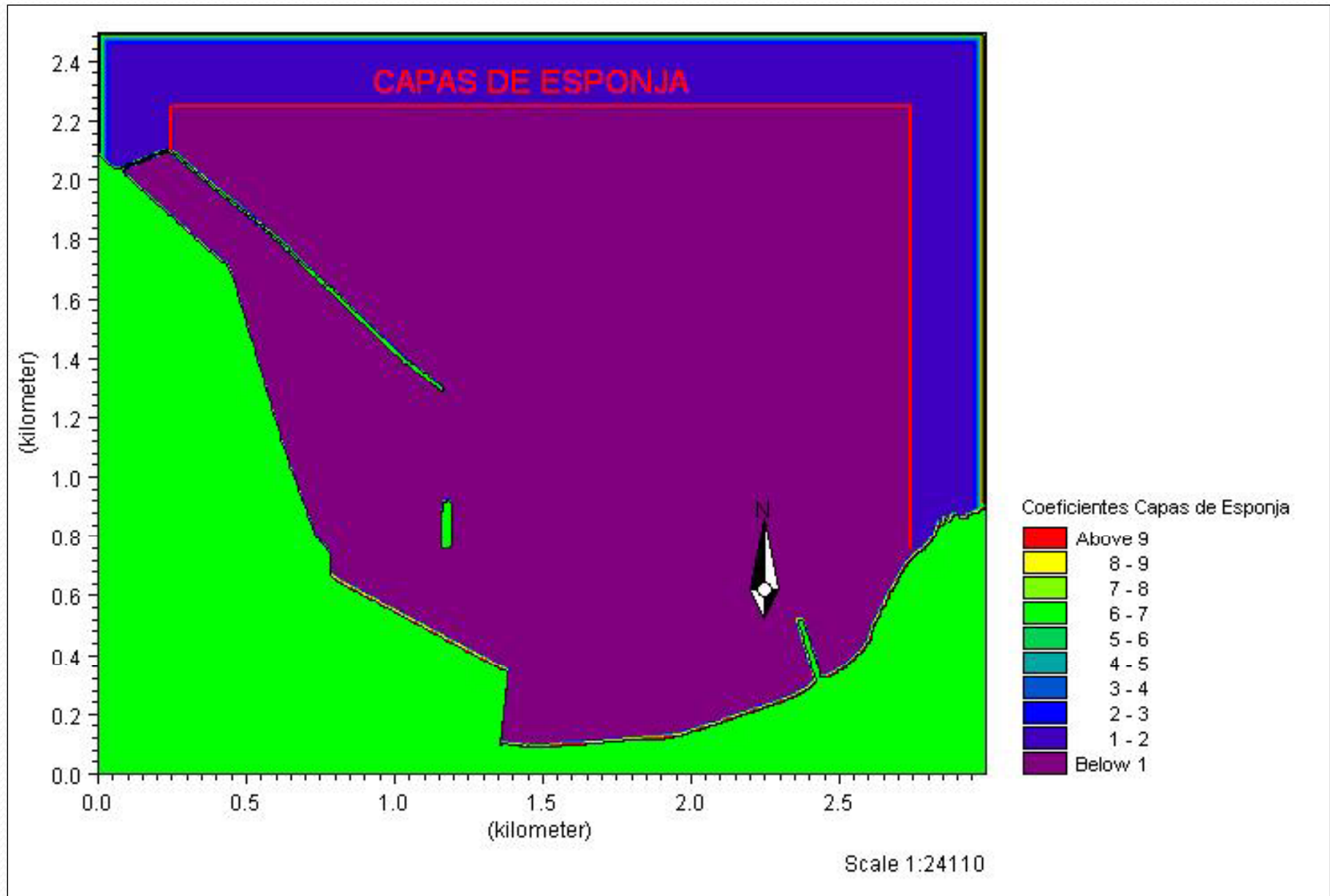
# 5.4. GENERACIÓN DE CAPAS DE ESPONJA

## ESCENARIO 1 – FRENTE COSTANERA



# 5.4. GENERACIÓN DE CAPAS DE ESPONJA

## ESCENARIO 2 – EXTENSIÓN A SAN MATEO

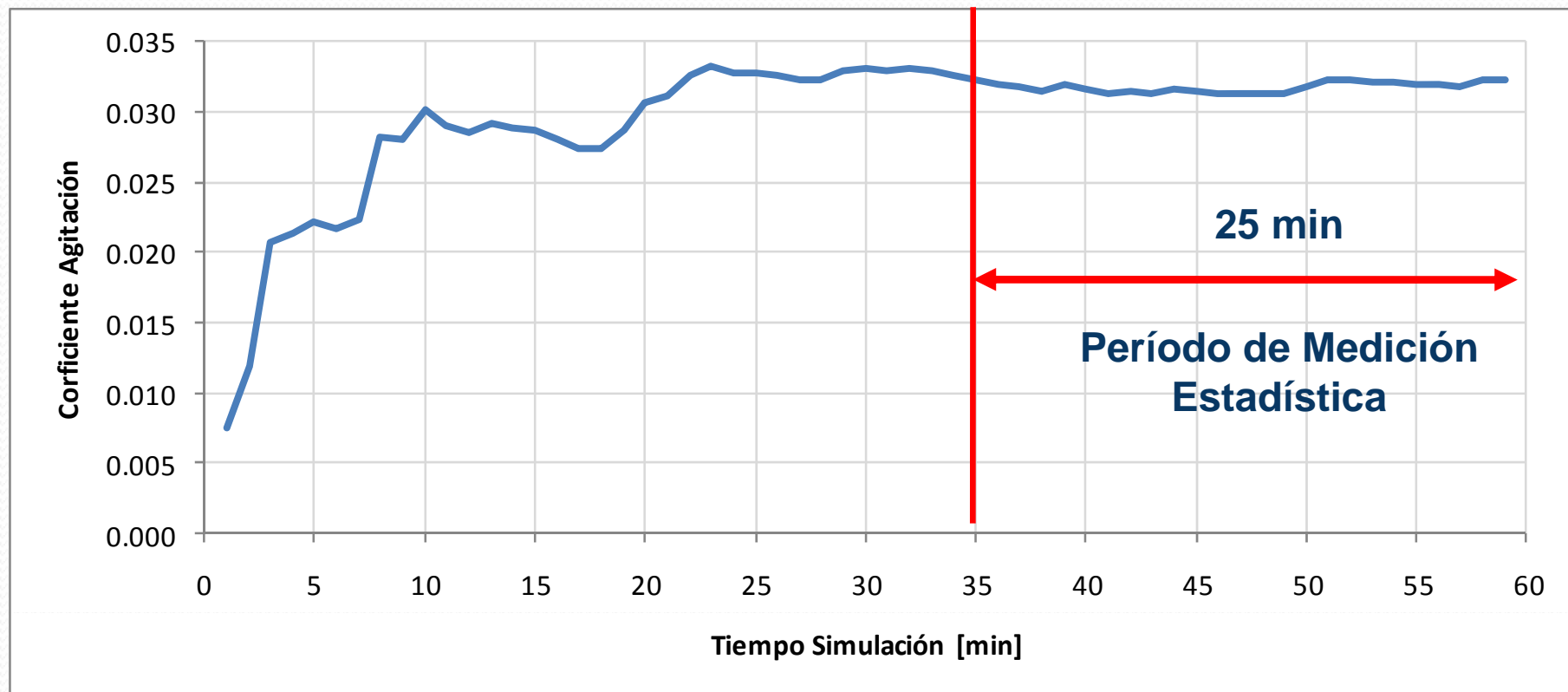


# PROCEDIMIENTO DE LAS SIMULACIONES



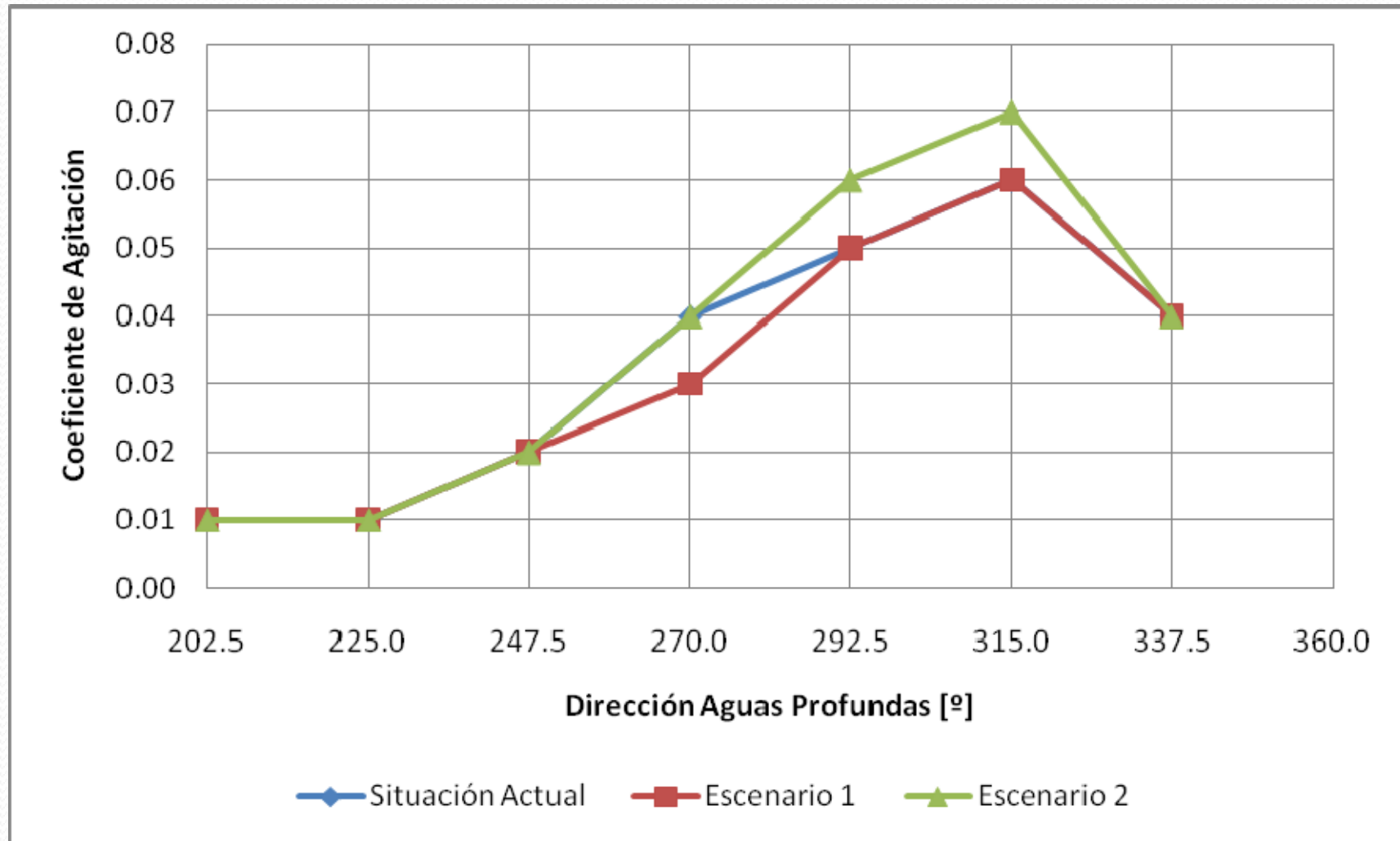
## 5.5. PROCEDIMIENTO DE LAS SIMULACIONES

1. Espaciamiento de grilla 5 [m]
2. Intervalo tiempo 0.18 [s]
3. Tiempo de simulación de 60 minutos
4. 70 casos (7 direcciones y 10 períodos)
5. Dato cada 60 [s]
6. Coeficiente en base a últimos 25 minutos de simulación (condición estacionaria)



# 5.5. PROCEDIMIENTO DE LAS SIMULACIONES

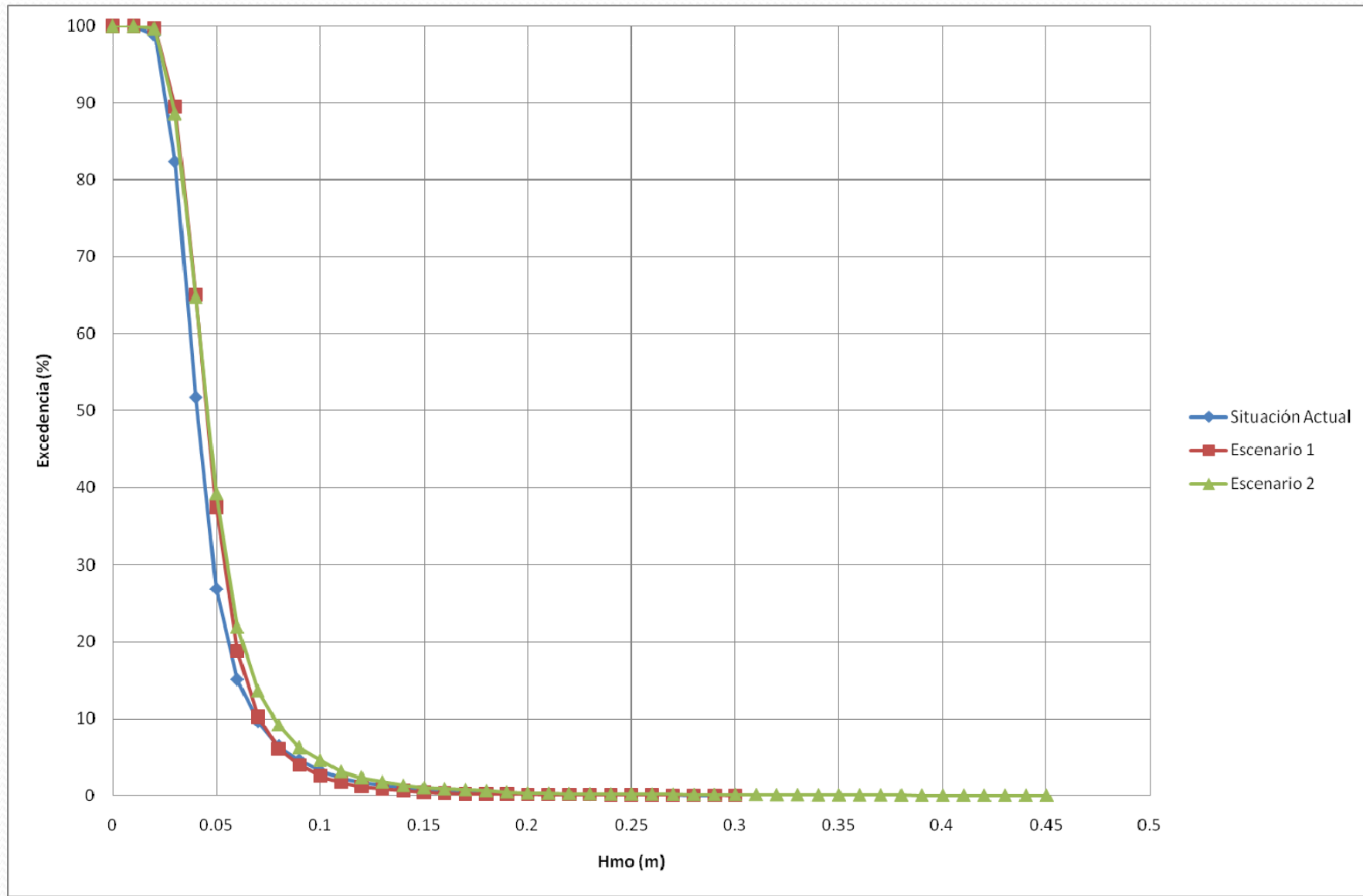
SITIO 1,  $T_p = 14$  [s]



# CLIMA DE OLEAJE AL INTERIOR DEL PUERTO



# 5.6. CLIMA DE OLEAJE AL INTERIOR DEL PUERTO



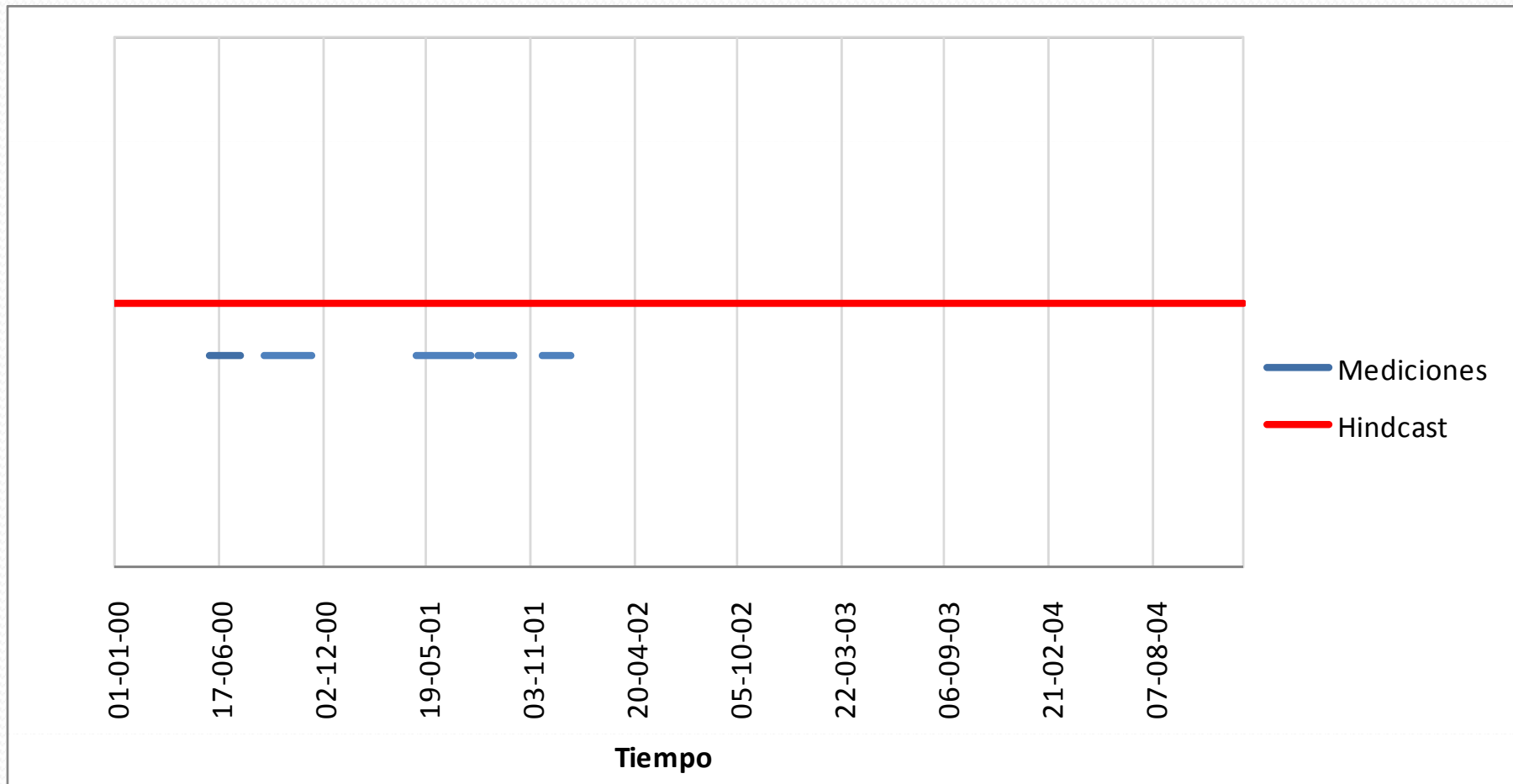


# CALIBRACIÓN



## 5.7. CALIBRACIÓN

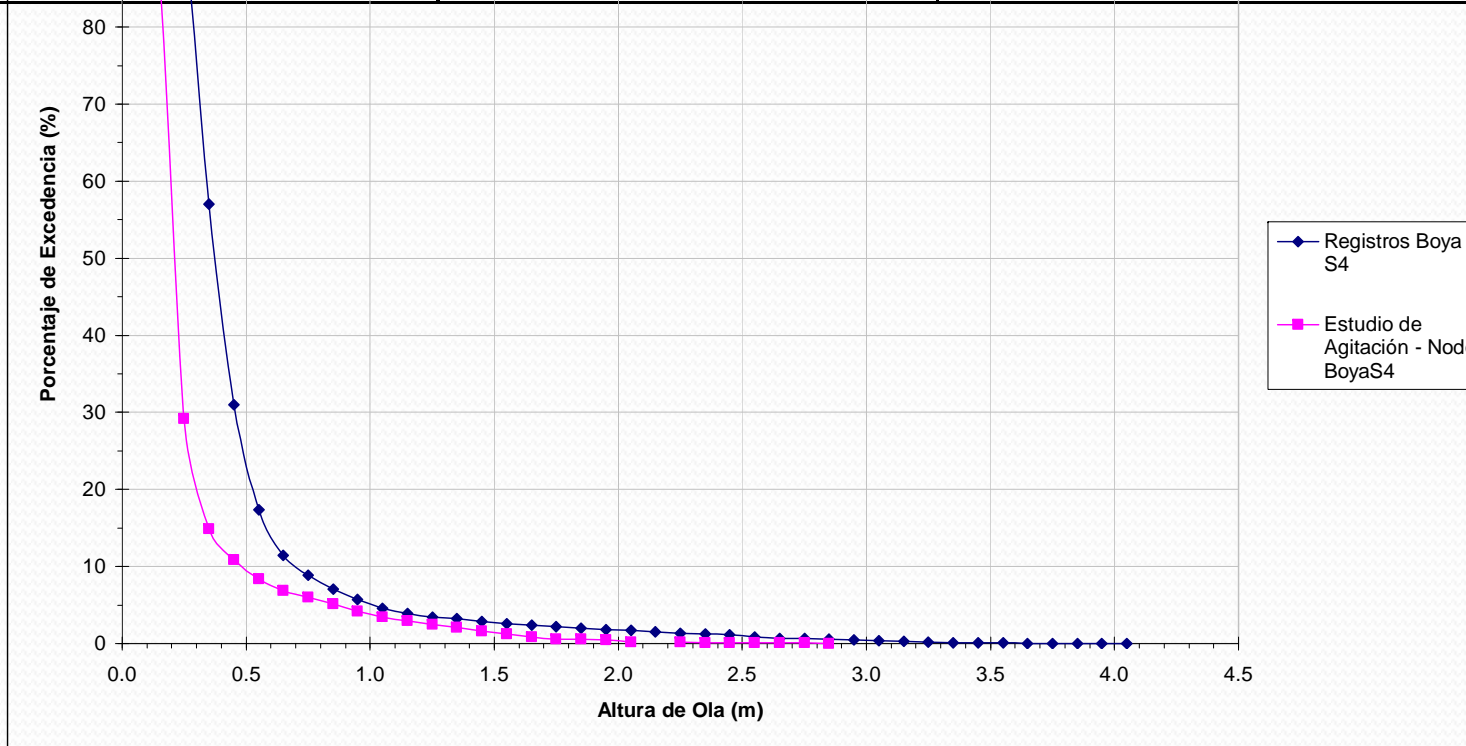
1. EPV registros boya S4ADW (sensor de presión).
2. Instalada frente a Muelle Barón a -36 [mNRS].
3. Análisis estadístico entre registros S4ADW y Hidcast.



# 5.7. CALIBRACIÓN

1. Subestimación promedio de 43%
2. Posibles Causas
  - Número de datos
  - ¿Ubicación exacta boya?
  - Propagación con parámetros de resumen
  - ¿Compara a través de parámetros de resumen?, espectro de medición

	Estudio de Agitación de Nudo Boya S4ADW	Mediciones en Terreno (Boya S4)
Numero de datos	4384	4779
¿Ubicación exacta boya?	2.88	4.07
Propagación con parámetros de resumen	0.05	0.10
¿Compara a través de parámetros de resumen?, espectro de medición	0.24	0.42
Desviación Estandar	0.28	0.37
Percentil 25%	0.12	0.24
Percentil 75%	0.21	0.43



# ESTIMACIÓN DE LA OPERATIVIDAD EN LOS SITIOS



## 5.8. ESTIMACIÓN DE LA OPERATIVIDAD EN LOS SITIOS

- ROM 3.1-99: CONDICIONES LÍMITE DE OPERACIÓN
- NAVE PORTACONTENEDORES

Paralización de operaciones de carga y descarga	Altura de ola (Hs) [m]
Acciones en sentido longitudinal al muelle	0.5
Acciones en sentido transversal al muelle	0.3

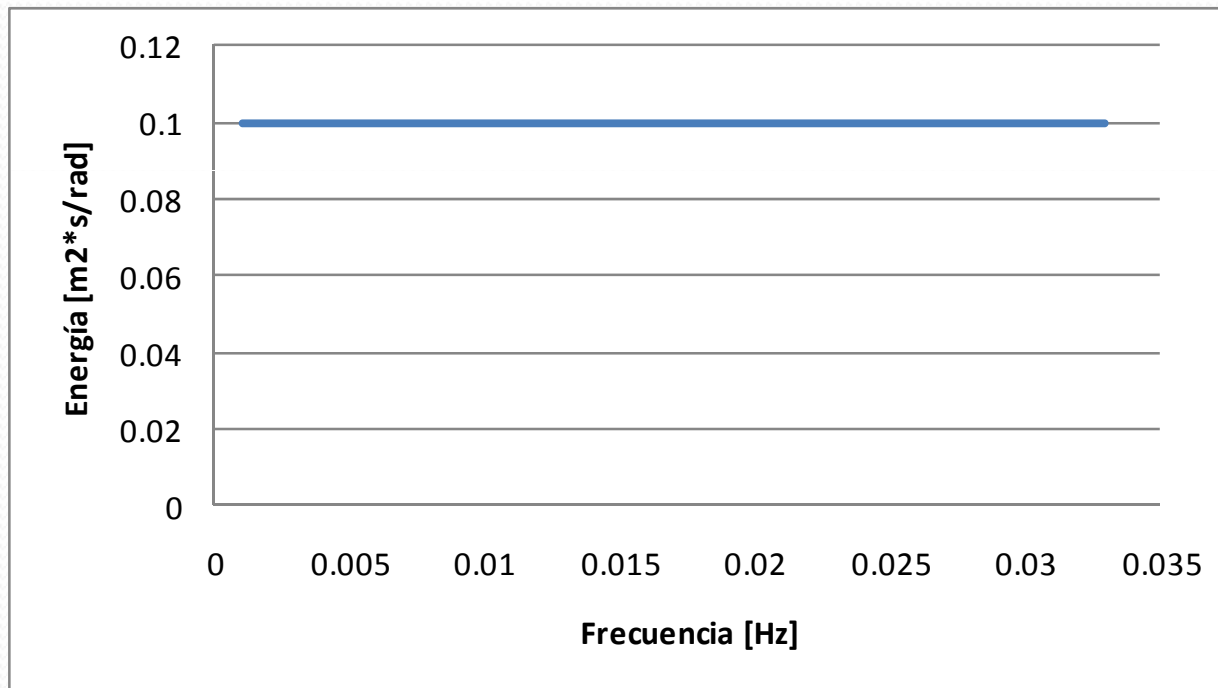
Caso	Sitios									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Situación Actual	100.00	100.00	99.86	99.81	99.97	99.88	99.17	98.81	-	-
Escenario 1	100.00	99.86	99.91	99.32	99.15	97.73	99.67	-	-	-
Escenario 2	99.90	99.17	99.63	99.31	98.31	98.72	99.82	99.97	99.98	100.00

# ANÁLISIS DE RESONANCIA



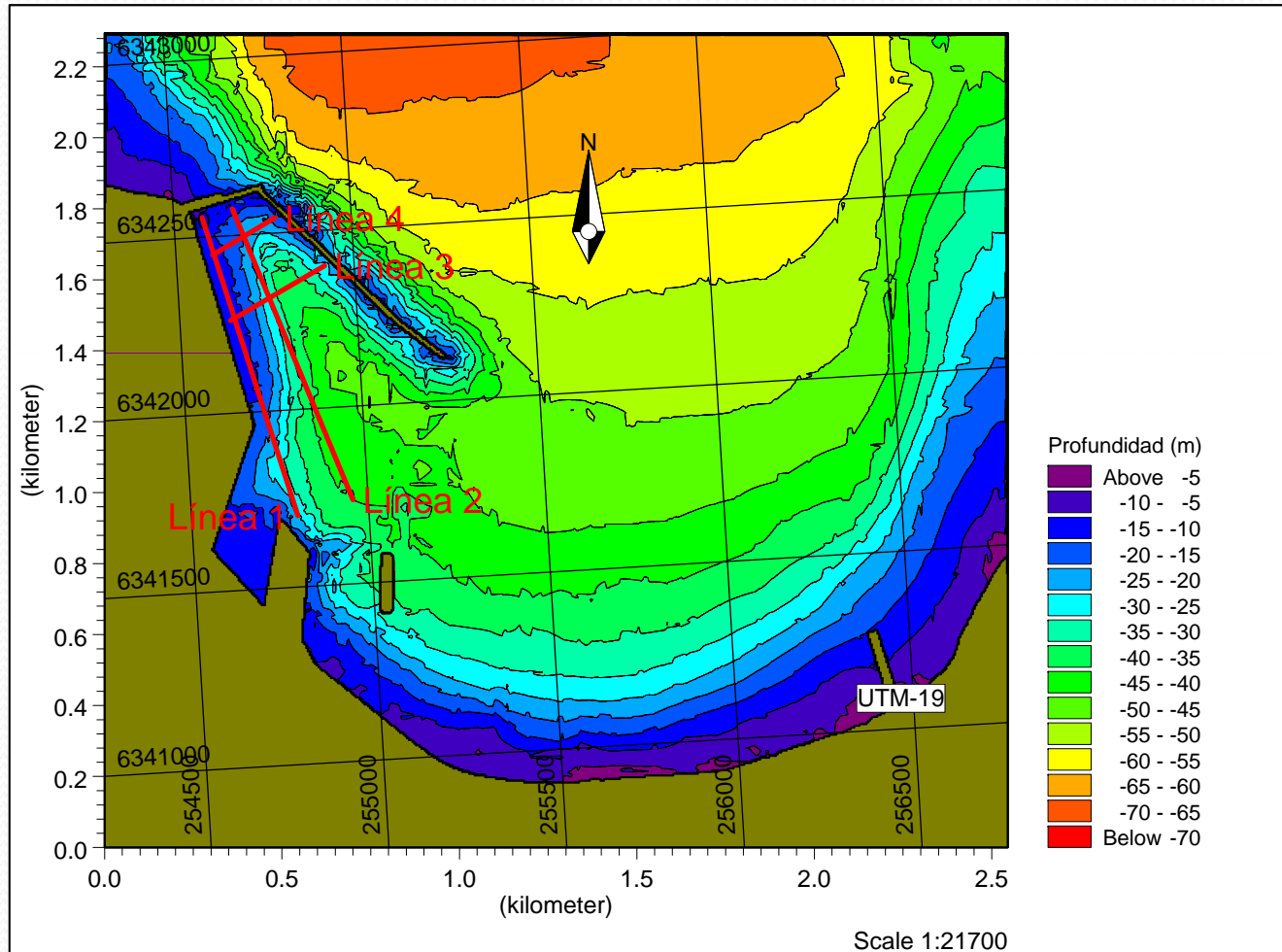
# 6. ANÁLISIS DE RESONANCIA

- ESPECTRO RUIDO BLANCO (30 [s] A 1000 [s])
- SERIES DE TIEMPO A TRAVÉS DE LÍNEAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES



# 6. ANÁLISIS DE RESONANCIA

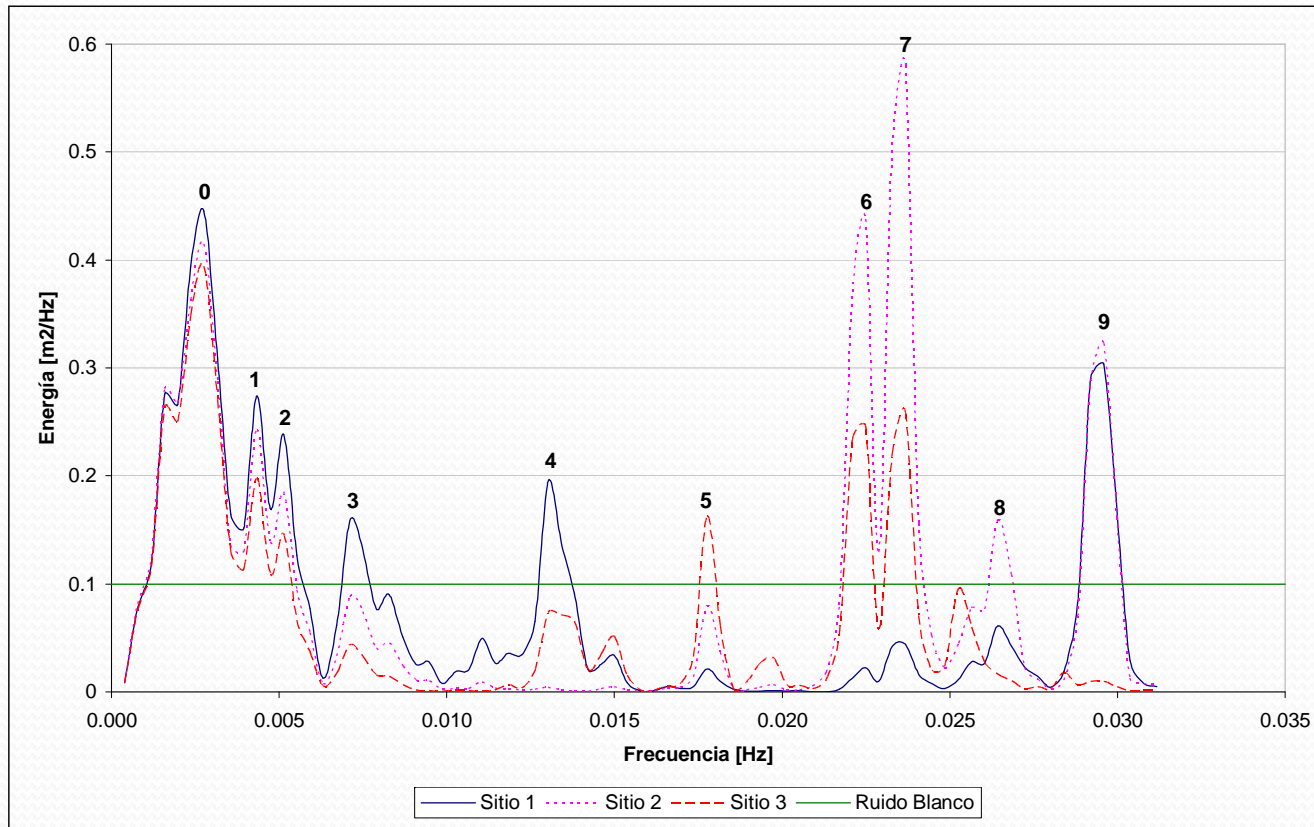
## SITUACIÓN ACTUAL





# 6. ANÁLISIS DE RESONANCIA

## SITUACIÓN ACTUAL



### LONGITUDINALES

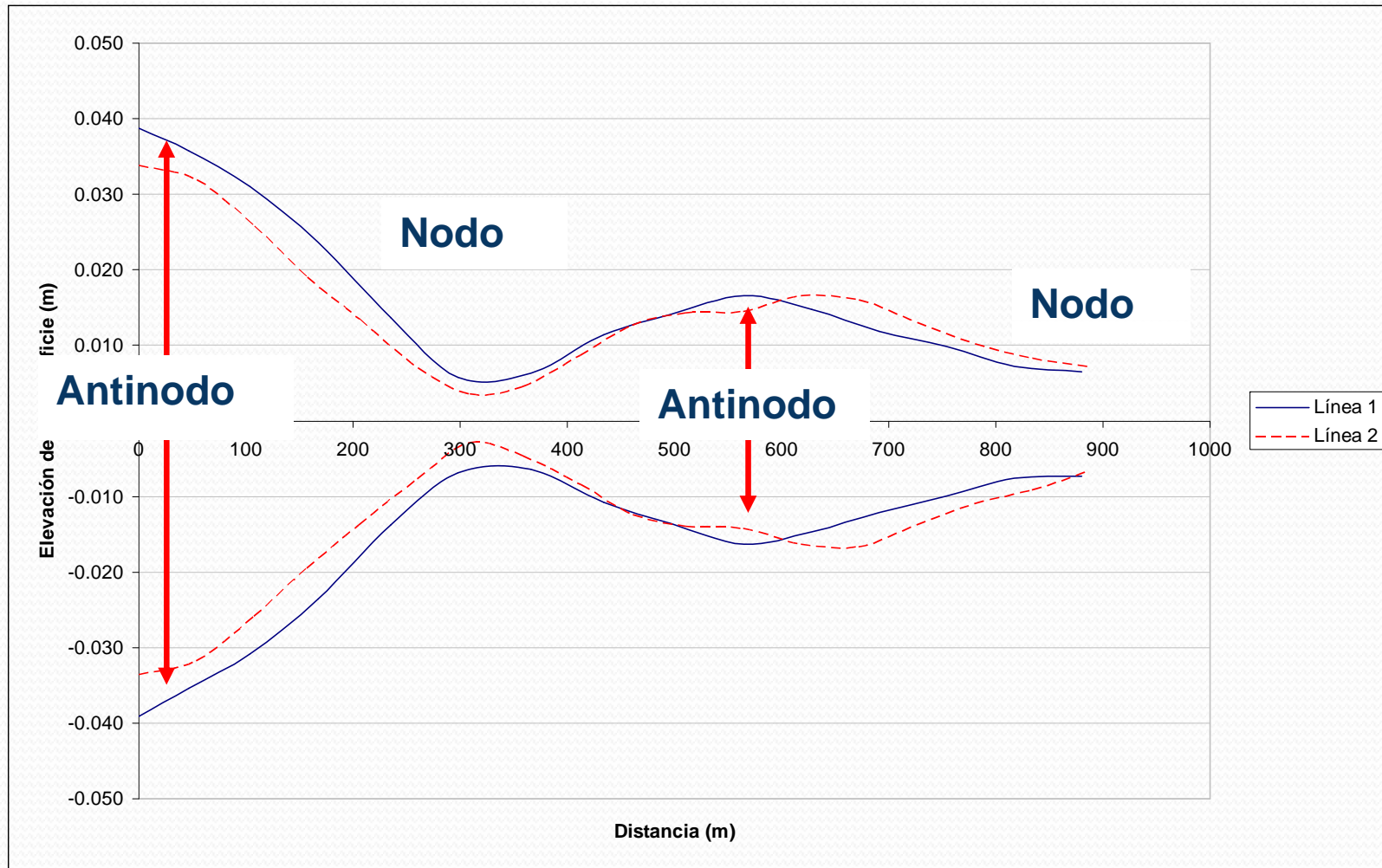
- Modo 3
- Modo 4
- Modo 7
- Modo 9 (Posible)

### TRANSVERSALES

- Modo 5
- Modo 6
- Modo 8

# 6. ANÁLISIS DE RESONANCIA

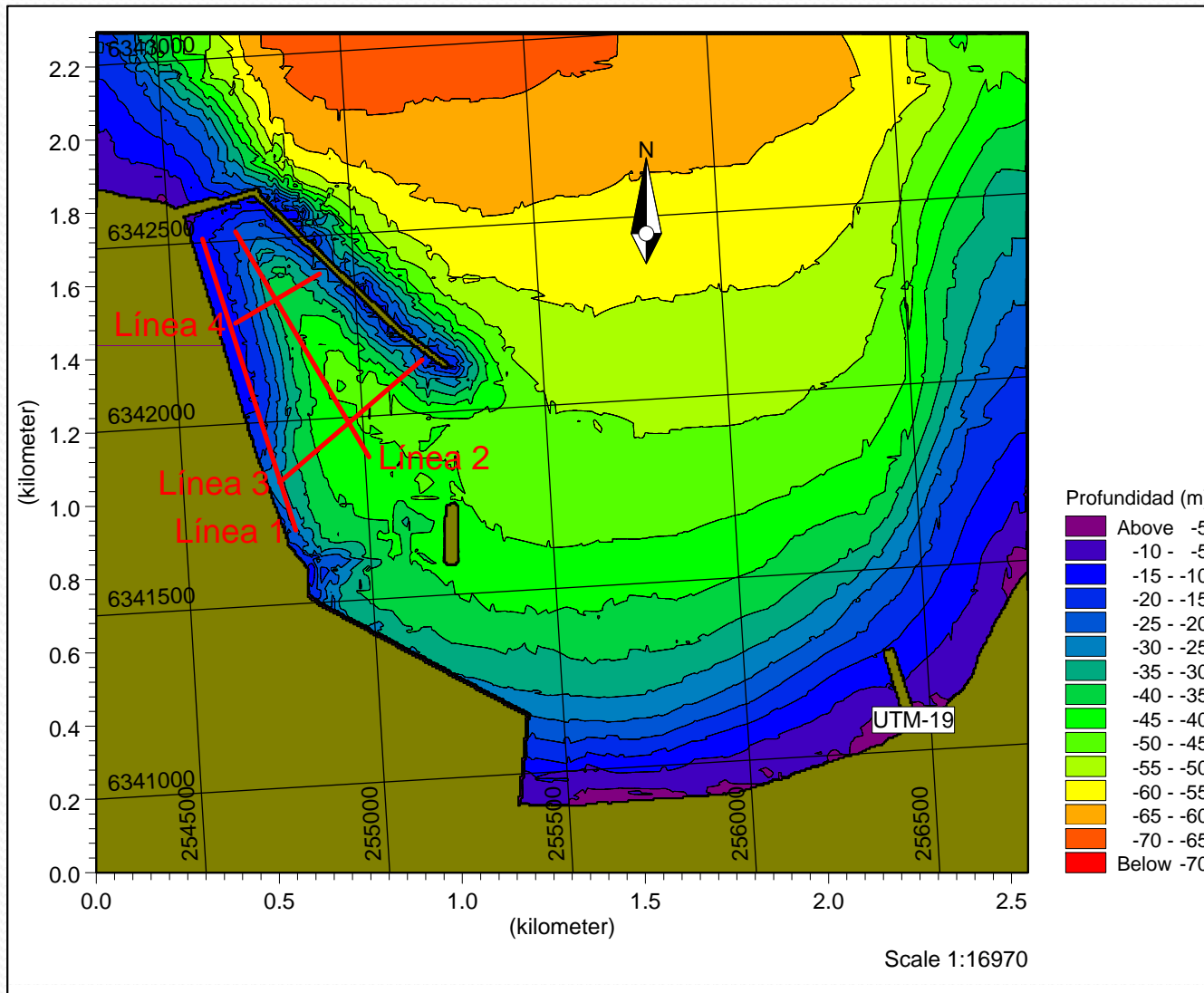
## SITUACIÓN ACTUAL



## Segundo modo longitudinal

# 6. ANÁLISIS DE RESONANCIA

## ESCENARIO 1 – FRENTE COSTANERA



# 6. ANÁLISIS DE RESONANCIA

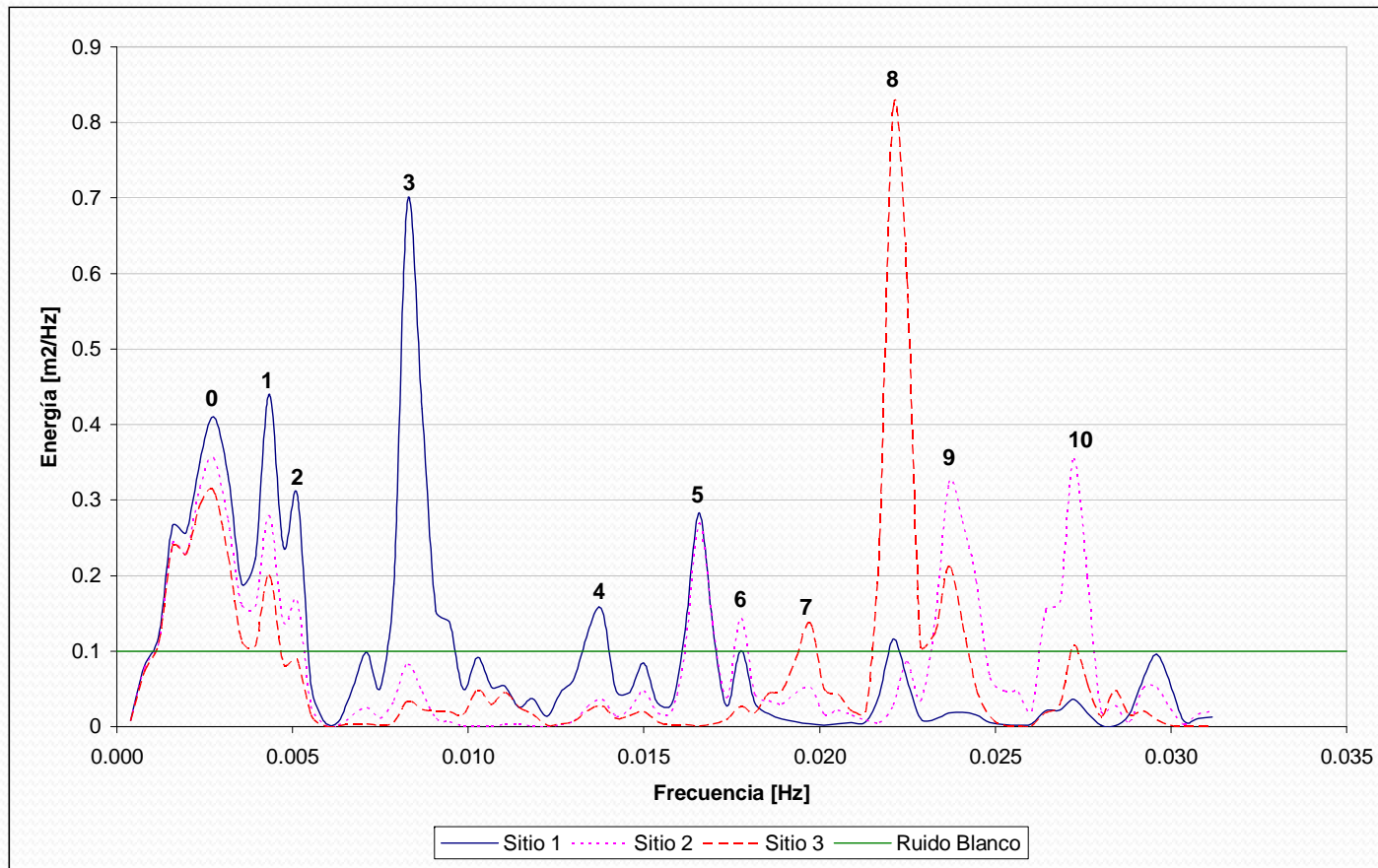
## ESCENARIO 1 – FRENTE COSTANERA

### LONGITUDINALES

- Modo 3
- Modo 4
- Modo 5
- Modo 6 (Posible)

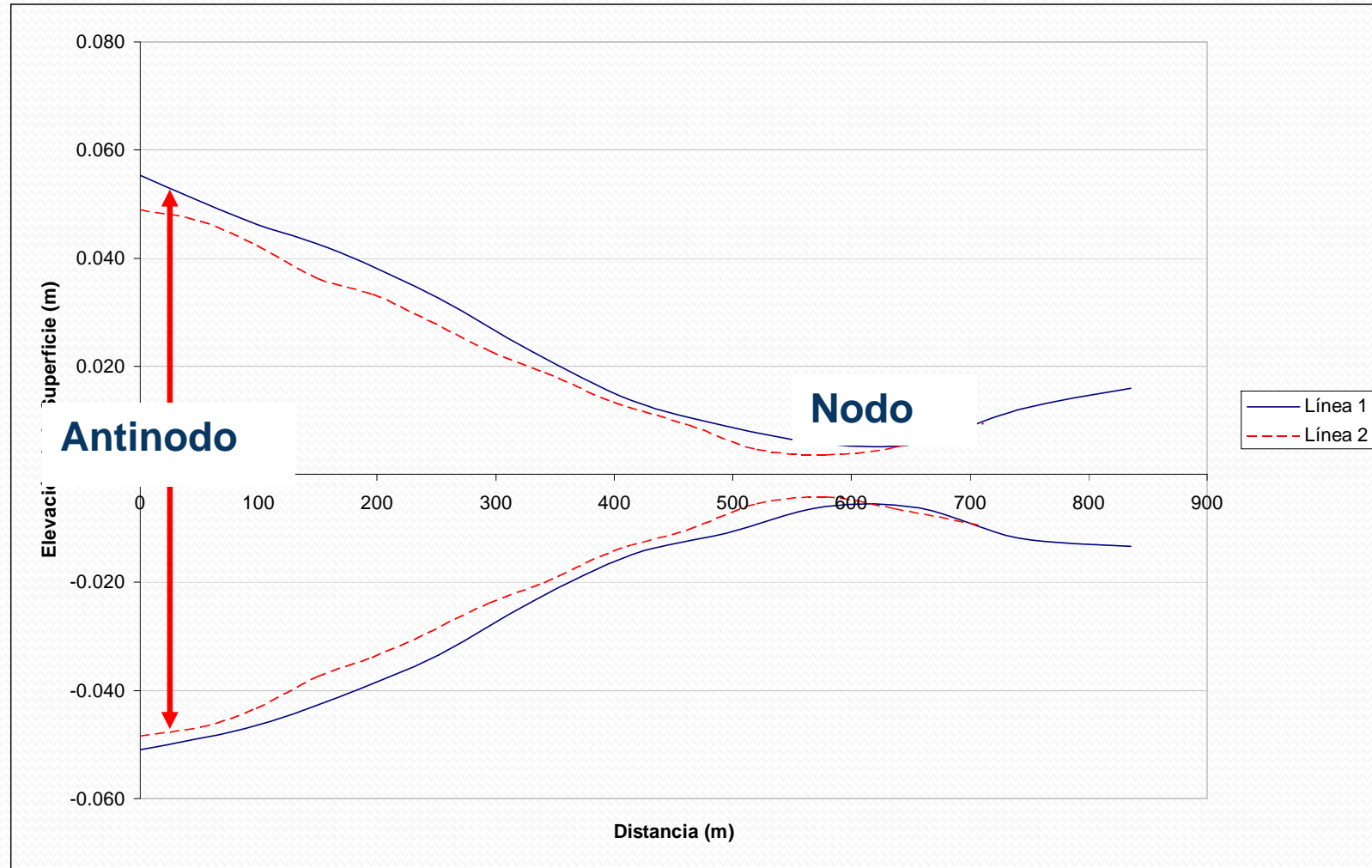
### MODO 2

- Modo 7
- Modo 8
- Modo 9
- Modo 10 (Posible)



# 6. ANÁLISIS DE RESONANCIA

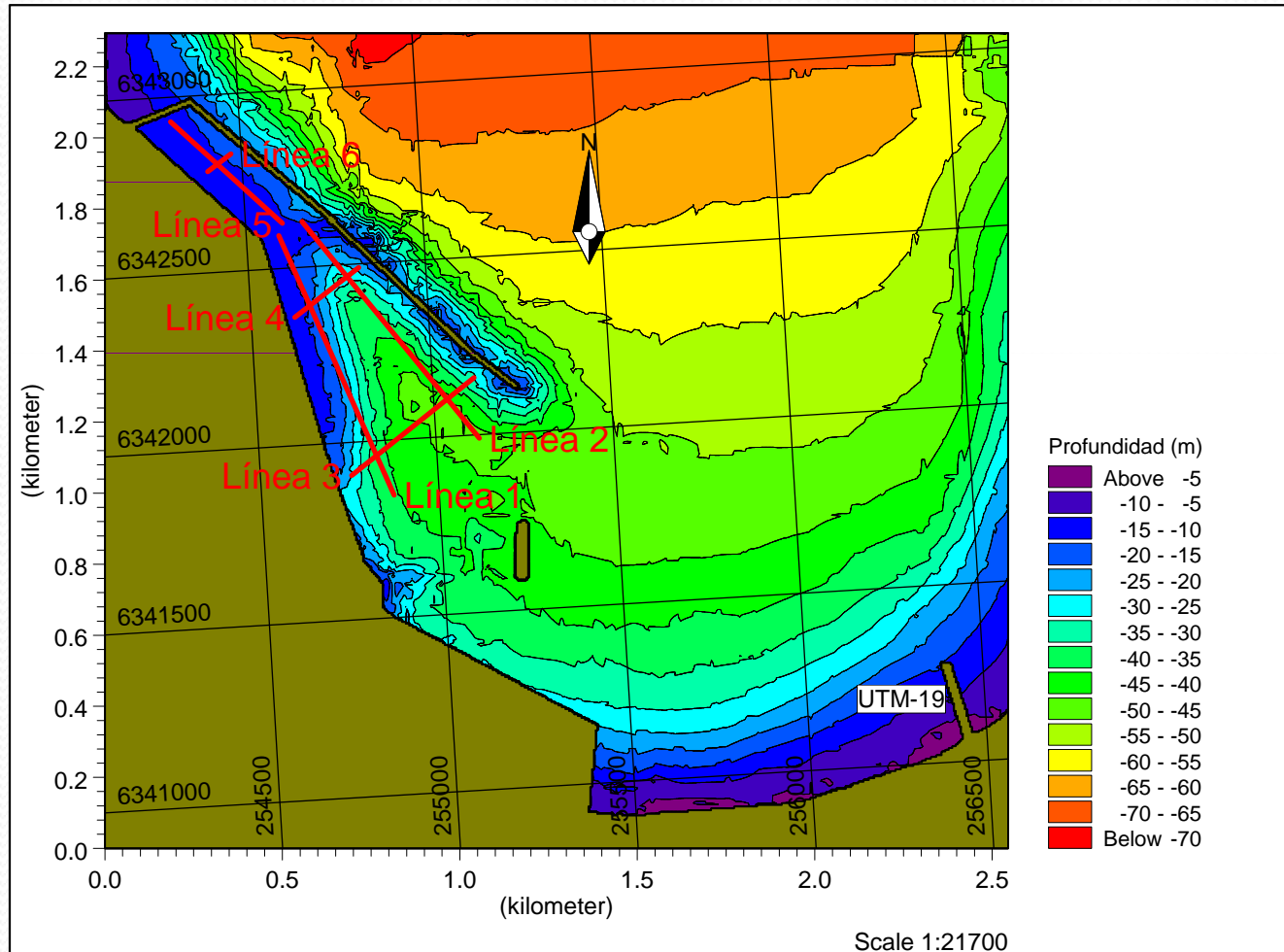
## ESCENARIO 1 – FRENTE COSTANERA



Primer modo longitudinal

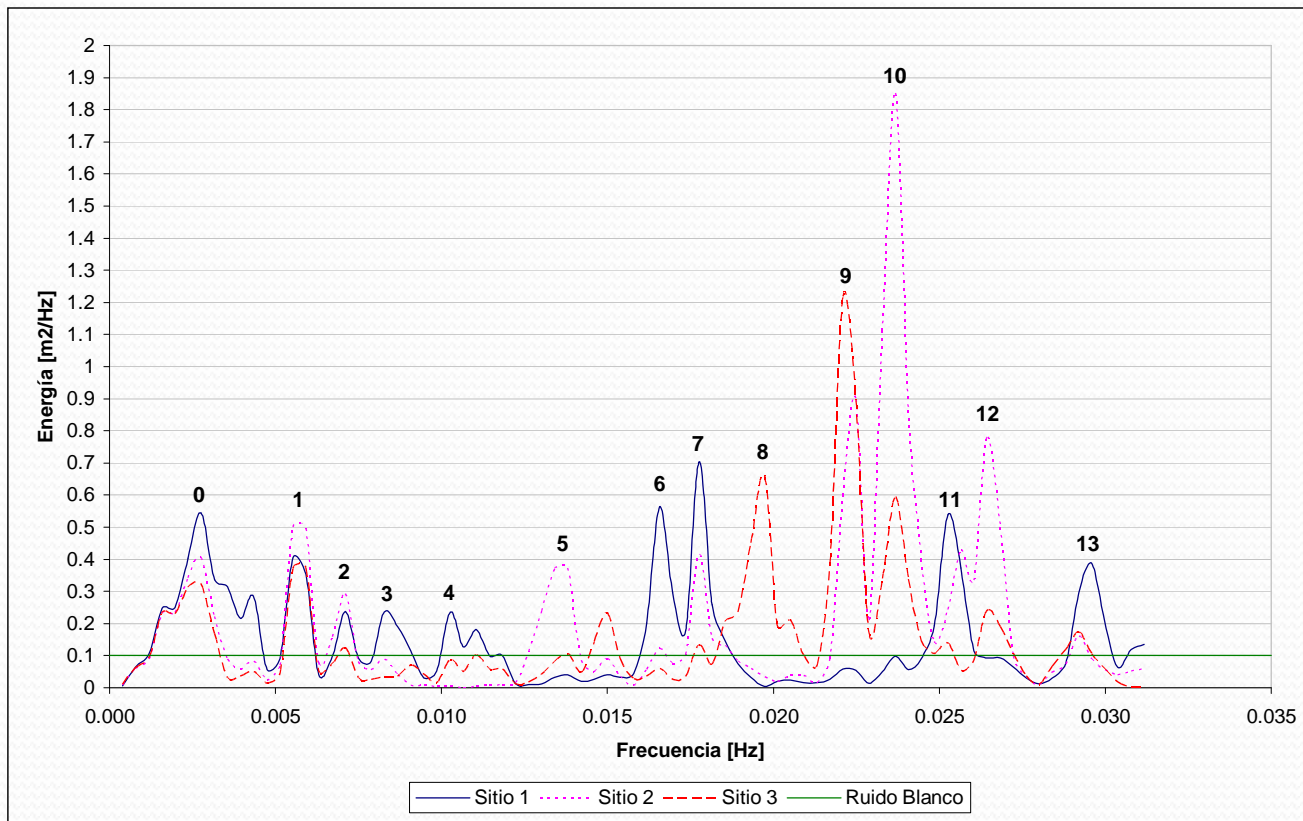
# 6. ANÁLISIS DE RESONANCIA

## ESCENARIO 2 – EXTENSIÓN A SAN MATEO



# 6. ANÁLISIS DE RESONANCIA

## ESCENARIO 2 – EXTENSIÓN A SAN MATEO Dársena Principal



### LONGITUDINALES

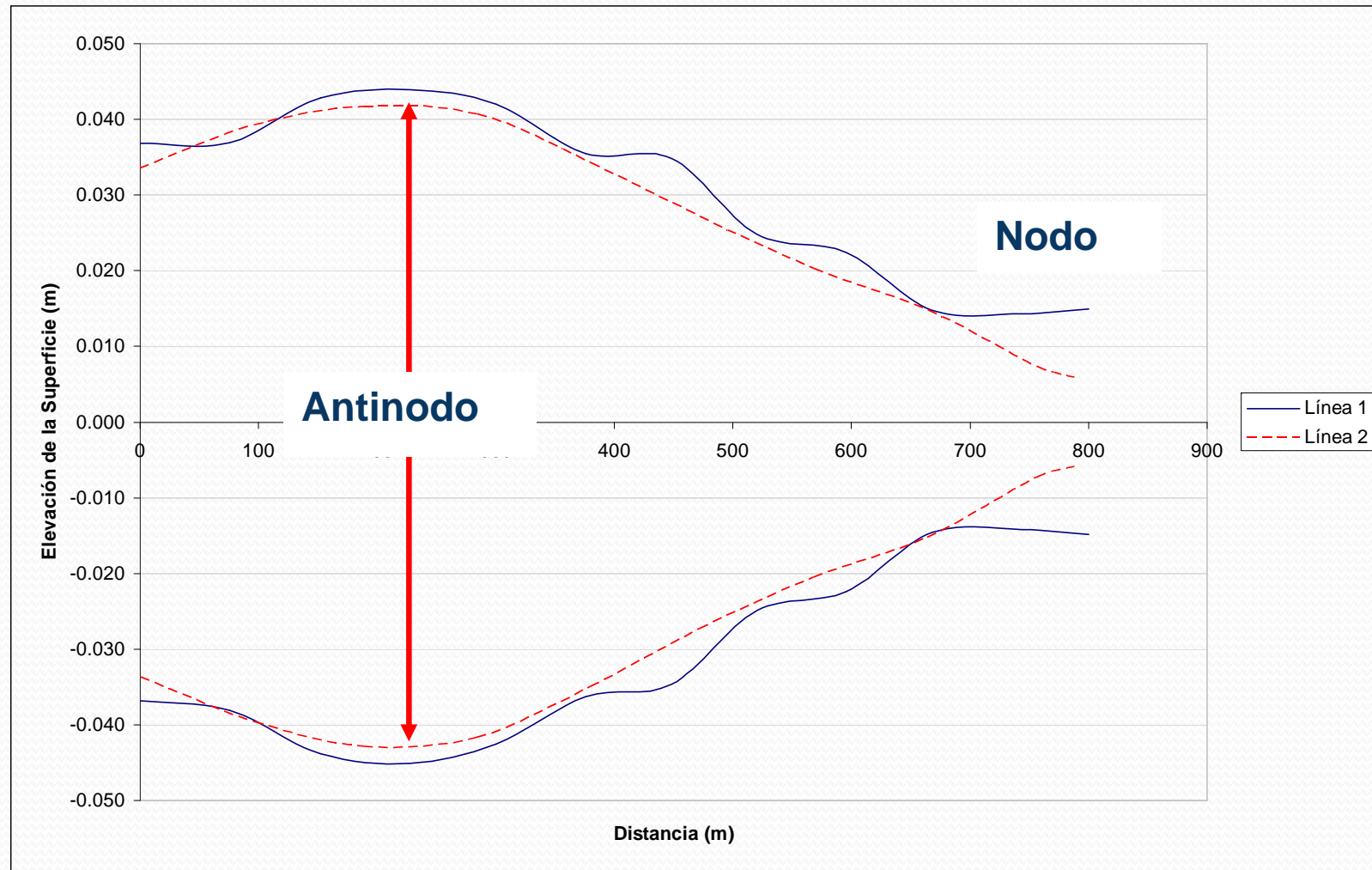
- Modo 3
- Modo 4
- Modo 5
- Modo 7

### TRANSVERSALES

- Modo 6
- Modo 8
- Modo 9
- Modo 10
- Modo 11
- Modo 12
- Modo 13

# 6. ANÁLISIS DE RESONANCIA

## ESCENARIO 2 – EXTENSIÓN A SAN MATEO Dársena Principal

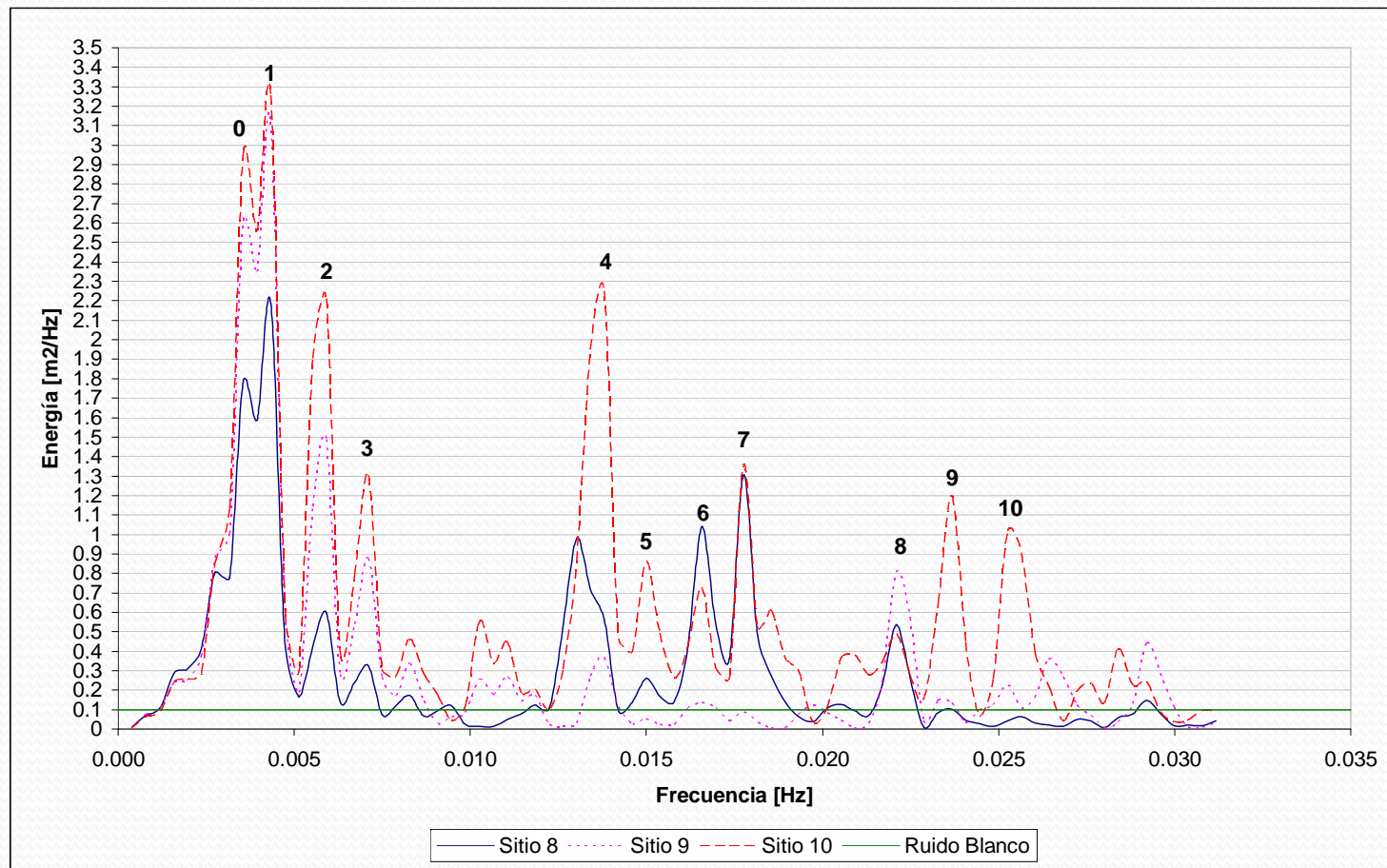


**Primer modo longitudinal**



# 6. ANÁLISIS DE RESONANCIA

## ESCENARIO 2 – EXTENSIÓN A SAN MATEO Dársena Secundaria



### LONGITUDINAL

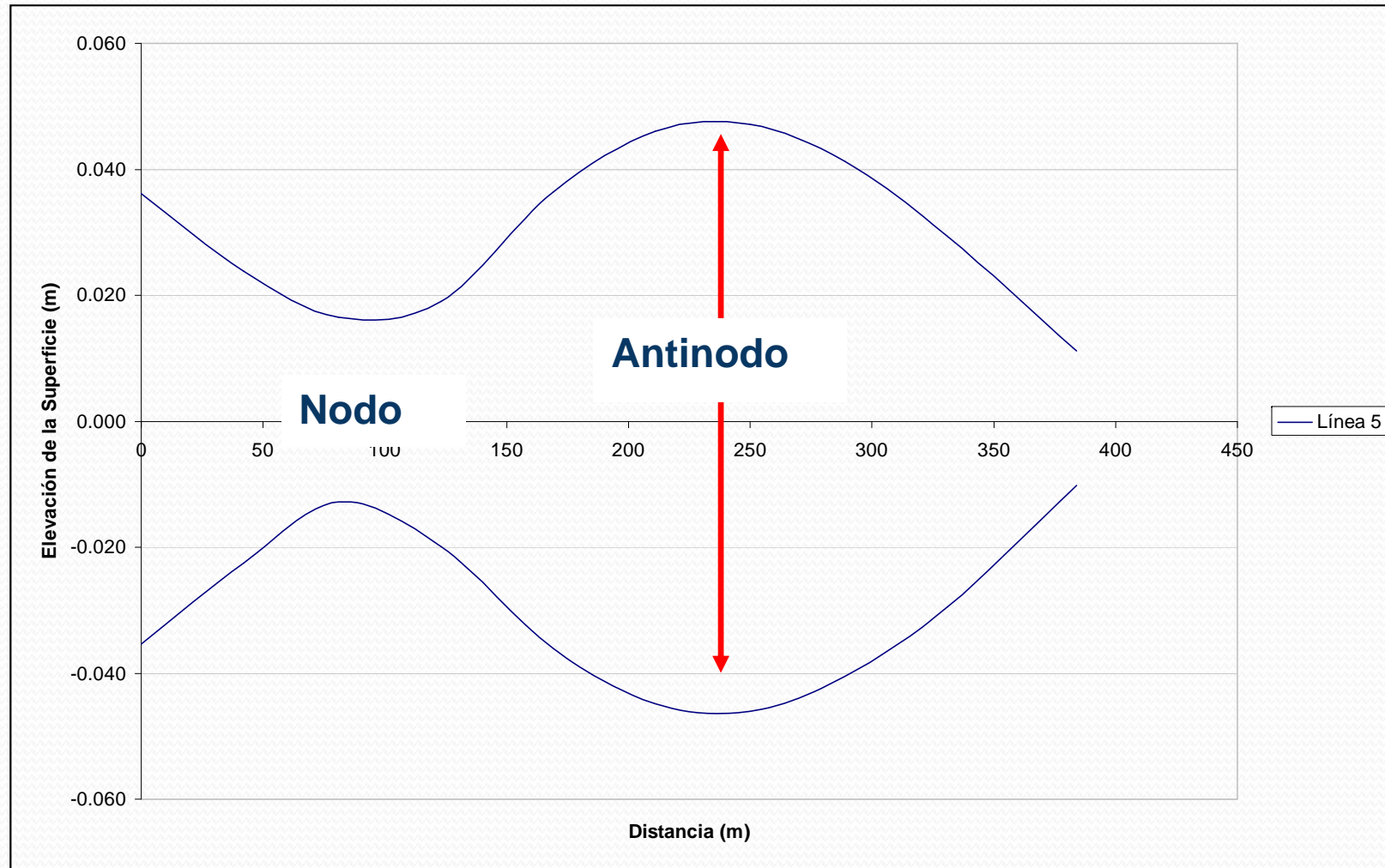
- Modo 4
- Modo 5
- Modo 6
- Modo 7
- Modo 8
- Modo 9
- Modo 10

### TRANSVERSAL

- No se encontró

# 6. ANÁLISIS DE RESONANCIA

## ESCENARIO 2 – EXTENSIÓN A SAN MATEO Dársena Secundaria



Cuarto modo longitudinal

# 6. ANÁLISIS DE RESONANCIA

---

- **MÁS MODIFICACIONES = MÁS PERÍODOS NATURALES**
- **CUALITATIVAMENTE**
  - **PRIMER MODO NO GENERA PROBLEMAS ( $L = 656$  [m] A  $765$  [m])**
  - **OTROS MODOS, CERCANOS A ESLORA NAVES**
- **CUANTITATIVAMENTE**
  - **NO SE TIENEN ESPECTROS REALES**
  - **NAVES OPERANDO AFECTAN = MODELO FÍSICO**

# CONCLUSIONES



# 7. CONCLUSIONES

## 1. PROPAGACIÓN OLEAJE

- Protección tercer cuadrante (Punta Ángeles).
- Dirección reinante WNW,  $H_{mo} < 0,5$  [m].
- Segunda reinante NW, con alturas mayores a las del WNW.

## 2. MODELO DE AGITACIÓN

- Aumento  $H_{mo}$  en Sitio 1 (Escenarios 1 y 2).
- Calibración: subestimación 43%.
- Disminución de operatividad Sitios 1, 2 y 3, no significativa (0.02%).

## 3. ANÁLISIS RESONANCIA

- Primeros modos no generarán problemas.
- Otros modos tienen longitudes similares a la eslora de las naves.

# **DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES**



# 8. DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

## 1. DISCUSIONES

- Propagación 5 años parámetros de resumen (SHOA 3201: 20 años, espectral).
- Baja calibración (parámetros de resumen; Baird 2001).
- Análisis de resonancia (modos altos = períodos de bahía).
- Ideas preliminares de efectos de las modificaciones.

## 2. RECOMENDACIONES

- Análisis Espectral; coeficientes relacionados a Dirección aguas profundas.
- Estudios de tipología estructural nuevas obras.
- Determinación operatividad; estudio de buque atracado

**GRACIAS**





# CONSULTAS

