Universidad de Valparaíso
Facultad Ciencias del Mar y
de Recursos Naturales

MEMORIA DE TÍTULO

VERIFICACIÓN DE UN TRAMO DE OBRA DEL PROYECTO "REPOSICIÓN INFRAESTRUCTURA MARÍTIMA MUELLE CALETA PORTALES", MEDIANTE METODOLOGÍA R.O.M. 0.0

Pamela Cepeda Corrales

Viña del Mar 2009

INDICE

- Objetivo de la Memoria de Título
- Justificación y Motivación
- Metodología ROM 0.0.
- Caso de Aplicación

OBJETIVO

- Aplicar la metodología en la ROM 0.0, propuesta en la R0M 0.0, “Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias” para la verificación de un tramo de obra del muelle de Caleta Portales
  - Seguridad
  - Agente oleaje
  - Un pilote
  - Modo de fallo pésimo
  - Método de nivel III

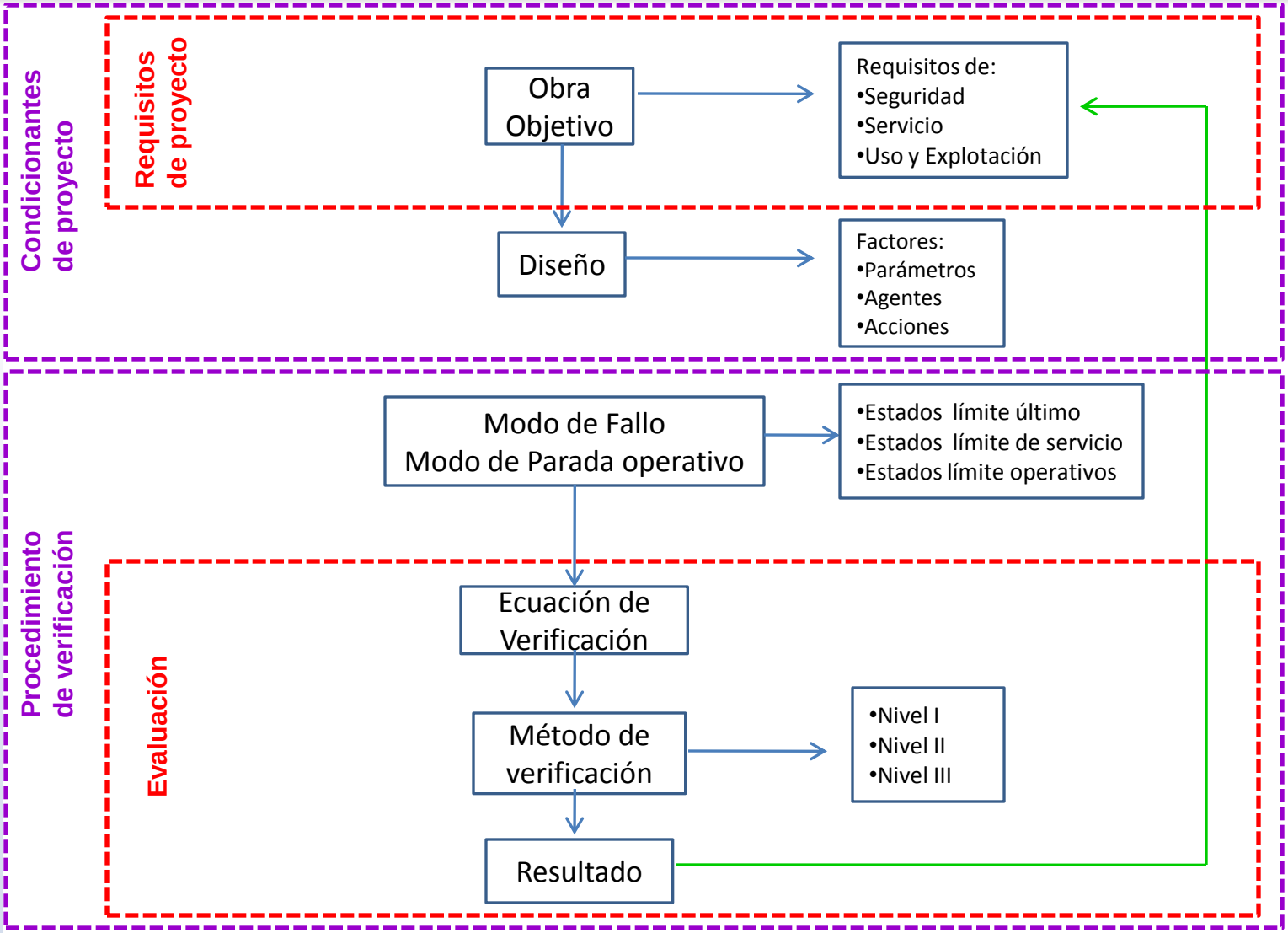
JUSTIFICACIÓN

- Mostrar una nueva forma para el diseño de obras marítimas.
- Revisión ROM 02: Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias.
- “Creciente responsabilidad social y ambiental”, demanda una evaluación más precisa de la seguridad y operatividad de las instalaciones marítimo portuarias.
- Verificación de las obras marítimas, considerando modelos probabilísticos.

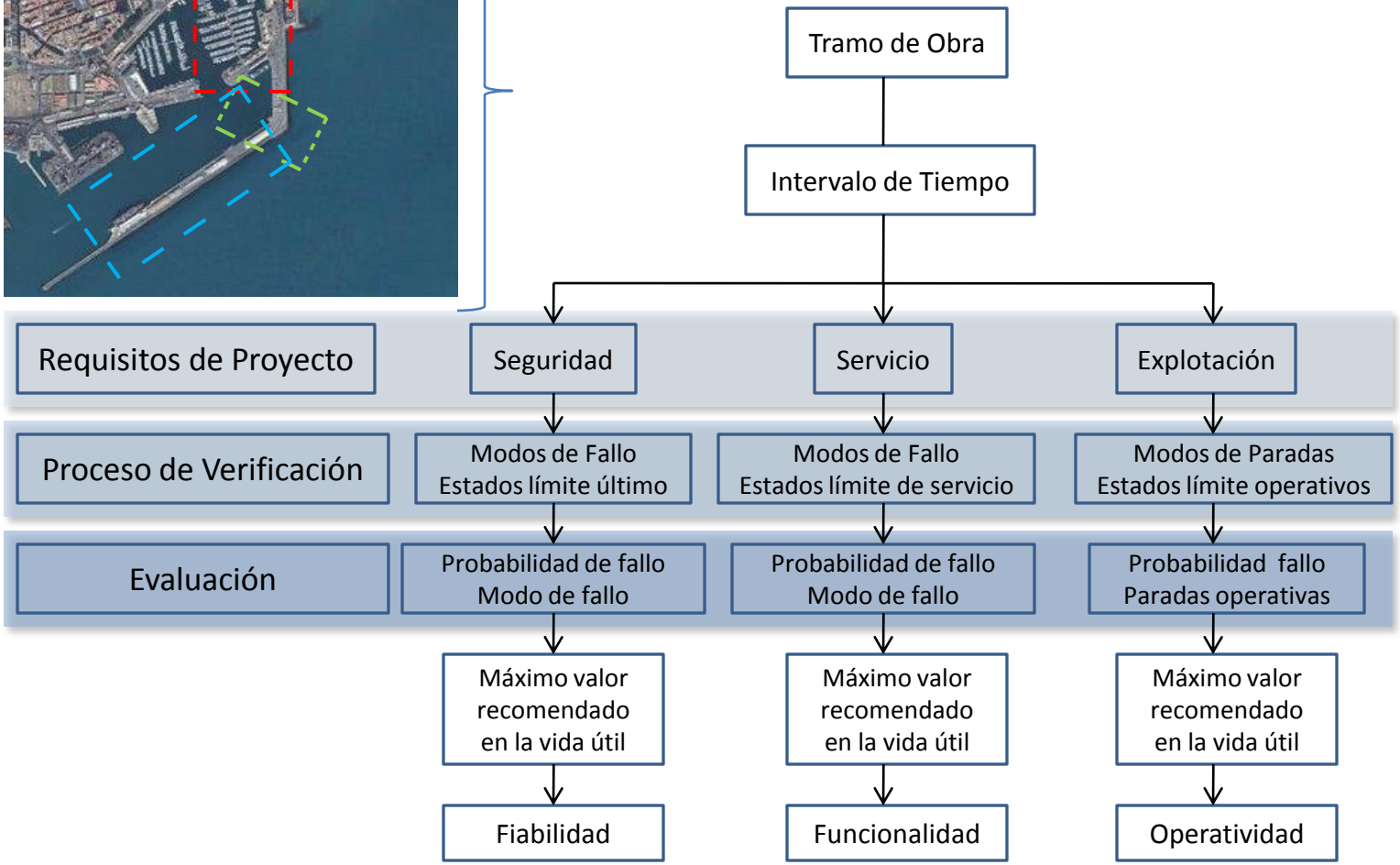
METODOLOGÍA ROM 0.0

PROCEDIMIENTO GENERAL Y BASES DE CÁLCULO EN EL PROYECTO DE OBRAS MARÍTIMAS Y PORTUARIAS

RECOMENDACIÓN DE OBRAS MARÍTIMAS ROM 0.0.



RECOMENDACIÓN DE OBRAS MARÍTIMAS ROM 0.0.



CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

❖ Hipótesis:

- Un tramo de obra siendo aquel que se considere con mayor solicitación.
- En un intervalo de tiempo considerado como la vida útil de la obra.
- Frente a un modo de fallo pésimo adscrito a un estado límite último.
- Utilizando como ecuación de verificación, Margen de Seguridad.
- Verificando por método de nivel III.

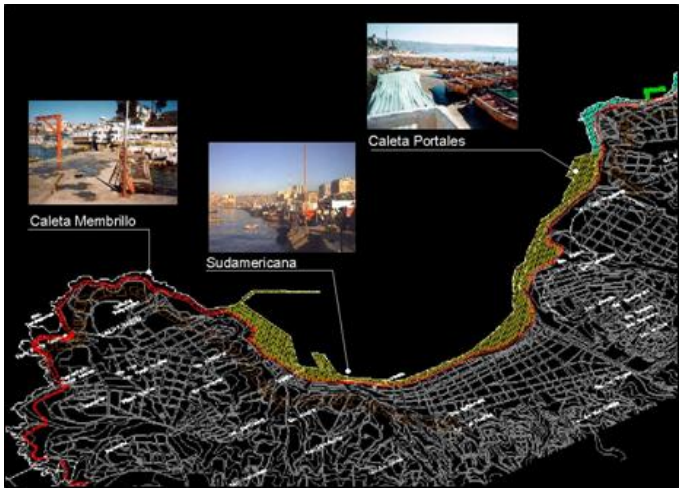
CASO APLICACIÓN

MUELLE CALETA PORTALES

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

❖ Caleta Portales se encuentra ubicada en la V Región, Valparaíso

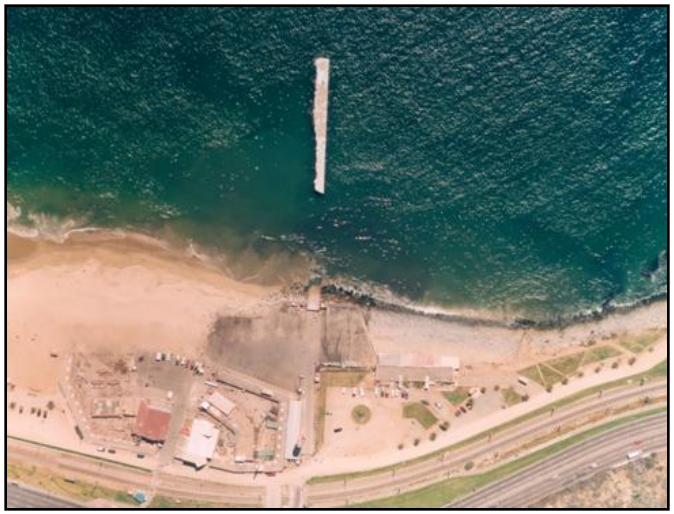
- Membrillo
- Montemar
- Quintay
- Sudamericas
- Etc.



Representa un 20% de un total de 1306 pescadores en Valparaíso

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

- Antecedentes:
  - Destrucción del muelle, año 2000.



- D.O.P: “Reposición Infraestructura Marítima Caleta Portales”
  - Construir infraestructura marítimo y terrestre
  - Asegurar la pesca artesanal y comercio con la región
  - Generar una cohesión entre las actividades de la caleta y el sector turístico

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

- Justificación:

CATEGORIA	CANTIDAD
Buzo	3
Pescadores	244
Ayudante Pescador	14
Patrón	2
TOTAL	**263**

Organización Caleta Portales

ADMINISTRACION	CANTIDAD
Secretaria Sindicato	1
Secretaria Bienestar Social	1
Secretaria Zarpe	1
Enfermera Policlínico	1
Administrador zarpe	1
TOTAL	**5**

Personal administrativo

EMBARCACION	CANTIDAD
Bote Remo	8
Bote Motor	109
Otros	117
TOTAL	**234**

Operan 3 veces por semana en un total de 240 días, lo que supone 26.160 salidas anuales

	Ingresos Promedios brutos M$	60% Ingresos promedios netos M$	Costos operación y mantención M$	Costo promedio por embarcación, mantención y operación M$
Caleta Portales	2.230.715	1.338.429	892.286	7.626

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

2001
Obras provisorias

2003
Proyección nuevo muelle

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

- Configuración Física:
  - Planta:
    - Orientación: NW.
    - Longitud total: 161[m]
    - Dimensiones puente de acceso: 91[m] longitud, 7[m] ancho
    - Dimensiones del cabezo: 70[m] longitud, 12.9[m] ancho
    - Explanada de trabajo: Ampliación, de los 900 [m2] existente a 5000 [m2]
  - Perfil:
    - Nivel de coronación: +5.20 [m] NRS
    - Calado de atraque: -6.0 [m] NRS en el cabezo donde se ubican las chazas.

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

- Tipología estructural pilotes:
  - Pilotes de acero verticales e inclinados.
  - Dimensiones de los pilotes:
    - Puente de acceso:12 ¾’’;
    - cabezo14’’.
  - Disposición: rectangular con separación longitudinal de 5 m.

PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN

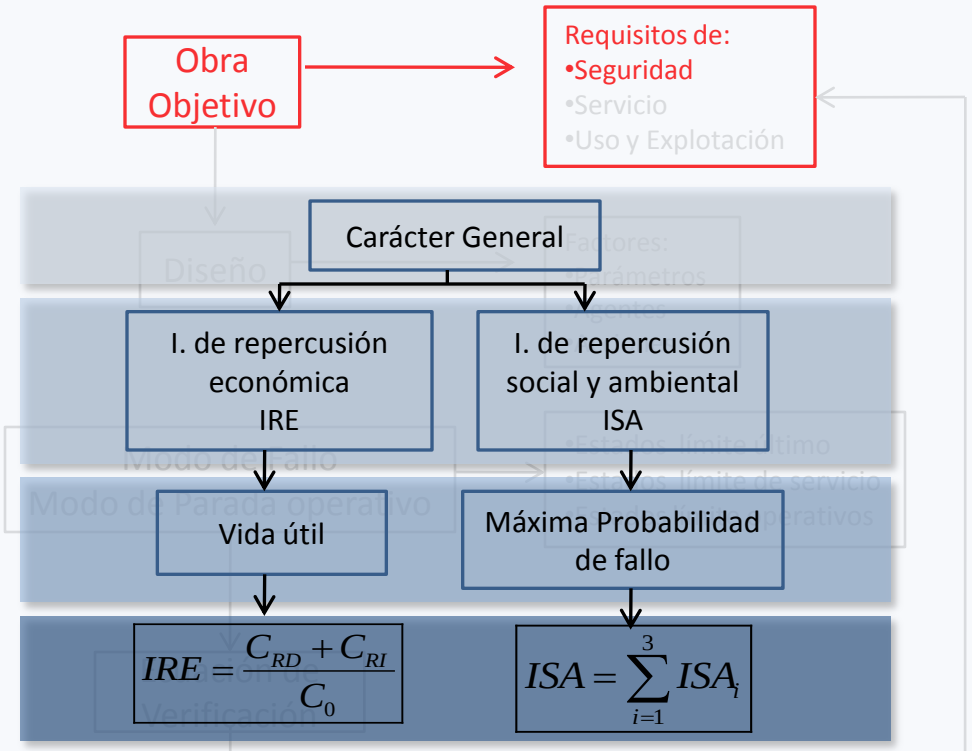
MUELLE CALETA PORTALES

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

Tramo de Obra → Muelle Cabezo

- Orientación: NW, Lat. -33.0296, Long. -71.5910
- Longitud: 70[m]
- Ancho: 12.9[m]
- Cota de coronación: +5.2[m] NRS
- Tipología: Pilotes tubulares de acero de 14” de diámetro

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES



C_{RD} Costo de inversión por reconstrucción

C_{RI} Costo por repercusiones económicas

C_0 Parámetro económico adimensional

ISA_1 Subíndice de posibilidad y pérdida de vida humanas

ISA_2 Subíndice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio

ISA_3 Subíndice de alarma social

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

C_{RD}	Costo de inversión por reconstrucción **$548.200.000**
C_{RI}	Costo por repercusiones económicas **$1.338.429**
C_0	Parámetro económico adimensional **$1.200.000.000**

"Obra con repercusión económica baja"

"Estudio de Prefactibilidad Mejoramiento Sector Pesquero Artesanal Caleta Portales Valparaíso".

$$IRE = 0.45$$

ISA_1	Pérdida de vidas humanas **0**
ISA_2	Daños en el medio ambiente **2**
ISA_3	Alarme socia generada **0**

"Obra sin repercusión social ni ambiental significativa"

$$ISA = 2$$

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

❖ Se obtiene de los índices *IRE e ISA*:

Obra
Objetivo

CARÁCTER GENERAL DEL TRAMO

Diseño

•Parámetros
•Agentes
•Acciones

Vida útil mínima	15 años
Probabilidad máxima de fallo ELU	0.20

Modo de Fallo
Modo de Parada operativo

•Estados límite último
•Estados límite de servicio
•Estados límite operativos

Ecuación de Verificación

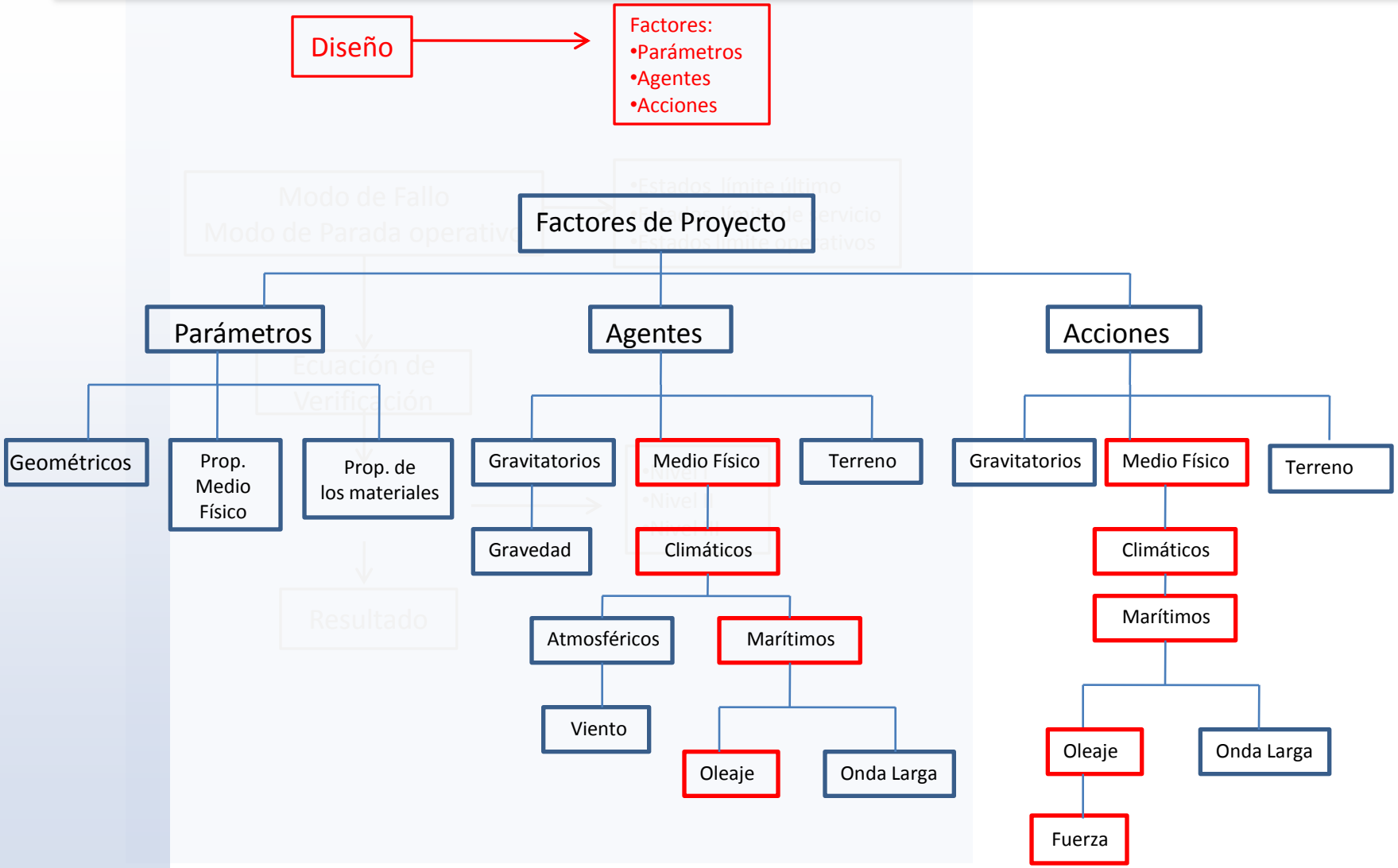
Método de verificación

•Nivel I
•Nivel II
•Nivel III

Resultado
Probabilidad de fallo

Requisitos de:
•Seguridad
•Servicio
•Uso y Explotación

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES



CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

Diseño → Factores:
•Parámetros
•Agentes
•Acciones

❖Geométricos:

- Orientación: NW, Lat. -33.0296, Long. -71.5910
- Longitud: 70 m
- Ancho: 12.96 m
- Cota de coronación: +5.2 m NRS
- Tipología: Pilotes tubulares de acero de 14” de diámetro

❖Parámetros del medio físico

- Parámetros de estado:
  - Desnsidad del agua: 1025[Kg/m3]
- Parámetros mecánicos:
  - Viscosidad cinemática del agua: 10-6[m2/s]

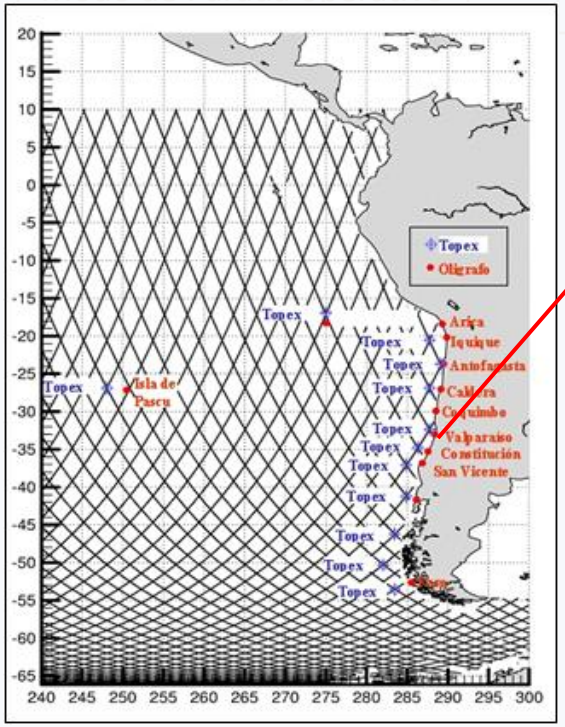
❖Parámetros del terreno:

- Suelos detectados en el tramo, arenas y arenas limosas, de compacidad media a baja en los primeros 2 a 3 metros bajo el fondo marino para continuar luego con compacidades muy altas a altas.

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

Diseño → Factores: •Agentes → Oleaje

FUENTE DE INFORMACIÓN: Proyecto Olas Chile, SHOA y BAIRD & ASSOCIATES S.A.



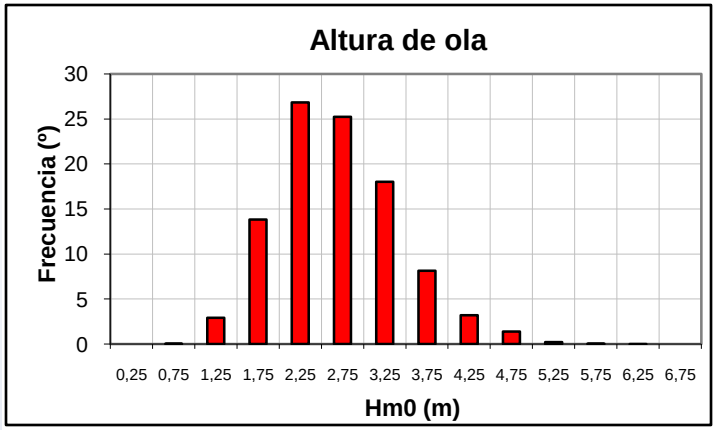
- Long. -72º
- Lat. -33º
- Prof: 1600[m]

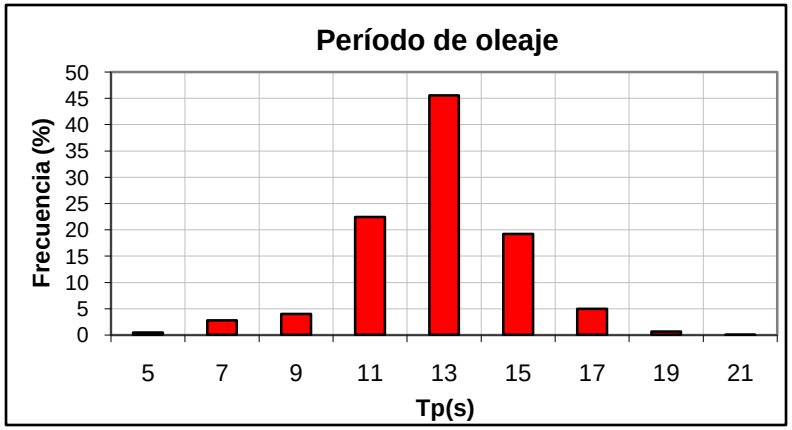
CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

❖ Régimen Medio

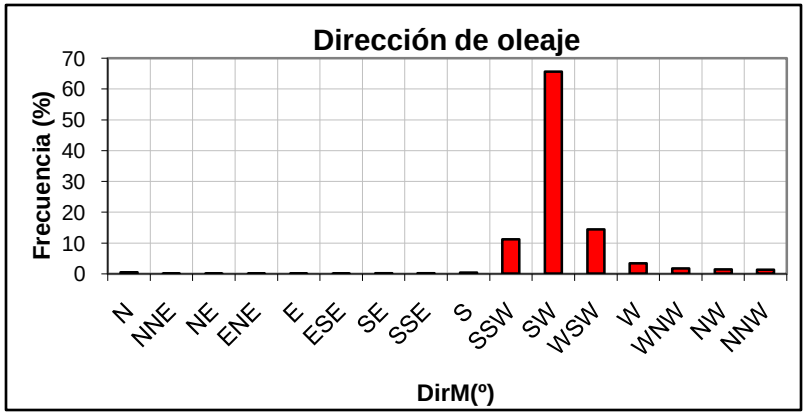
Serie Analizada: 2000-2004

(1 Enero 2000 a las 00:00h hasta el 31 Diciembre de 2004 a las 21:00h)



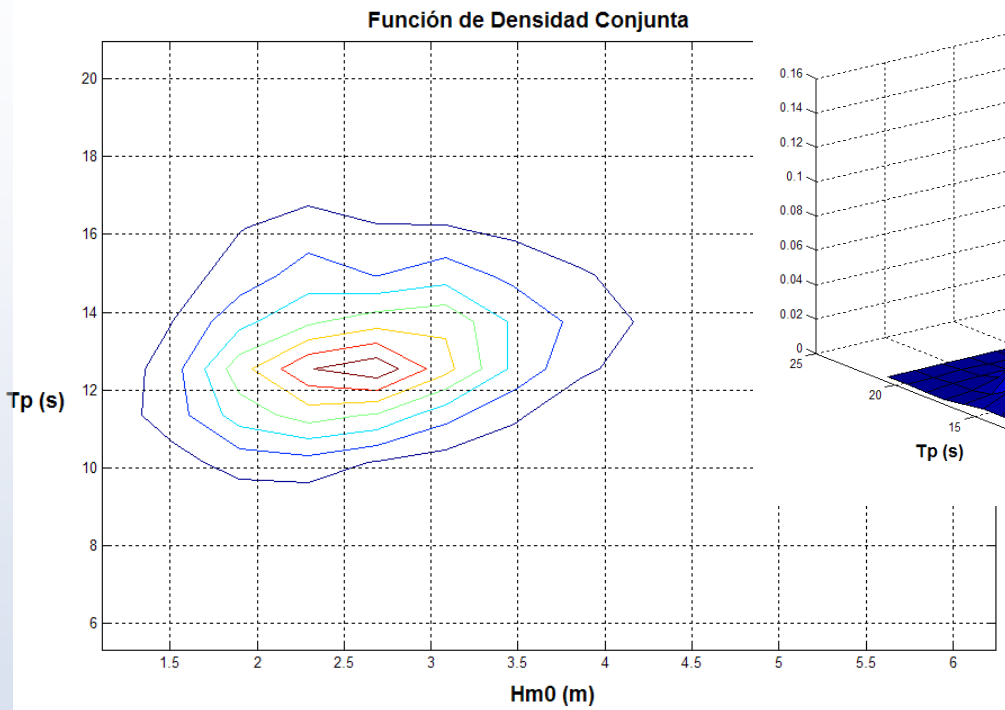


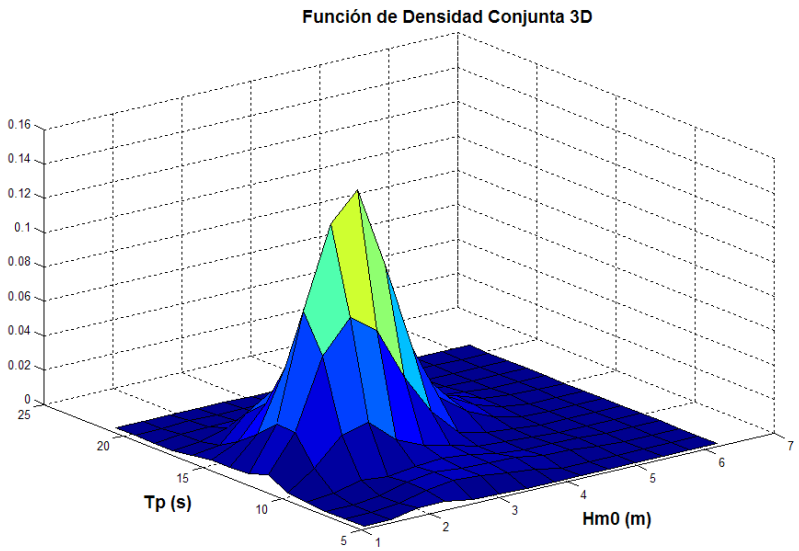
- 1-4m
- 11.-13s
- SSW-WSW



CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

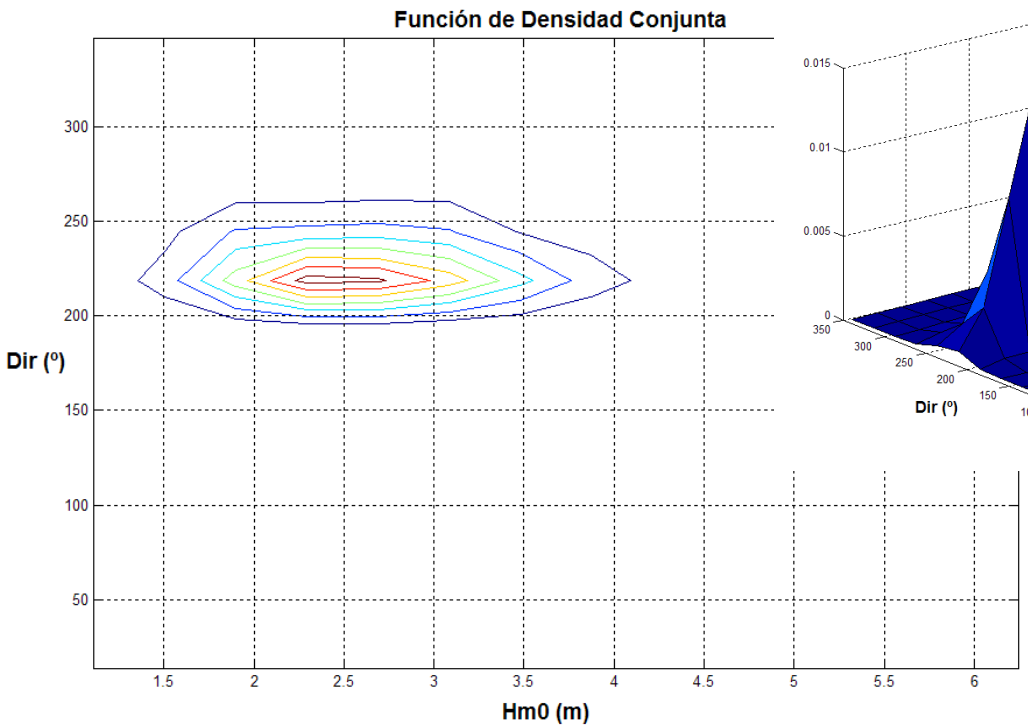
- Variables Conjuntas Hm0, Tp.

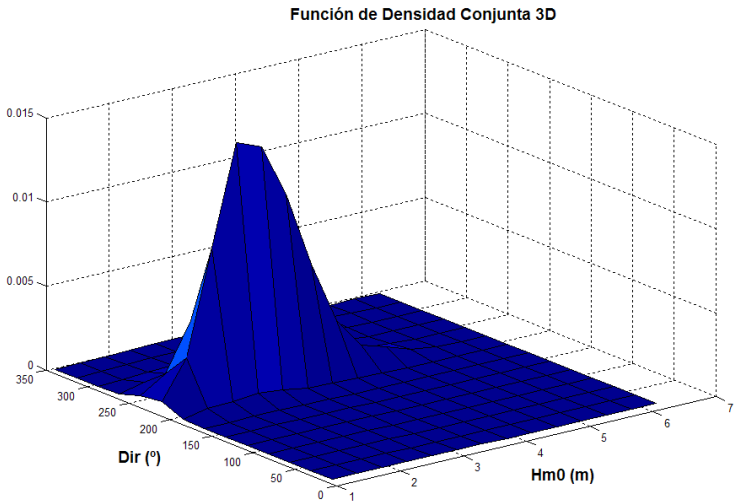




CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

- Variables Conjuntas Hm0, Dir.





CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

❖ Régimen de Temporales:

- Análisis POT (Peak Over Threshold):
- Entre 2 pasos sucesivos, ascendente y descendente, por un umbral determinado, *Hu=4[m]*

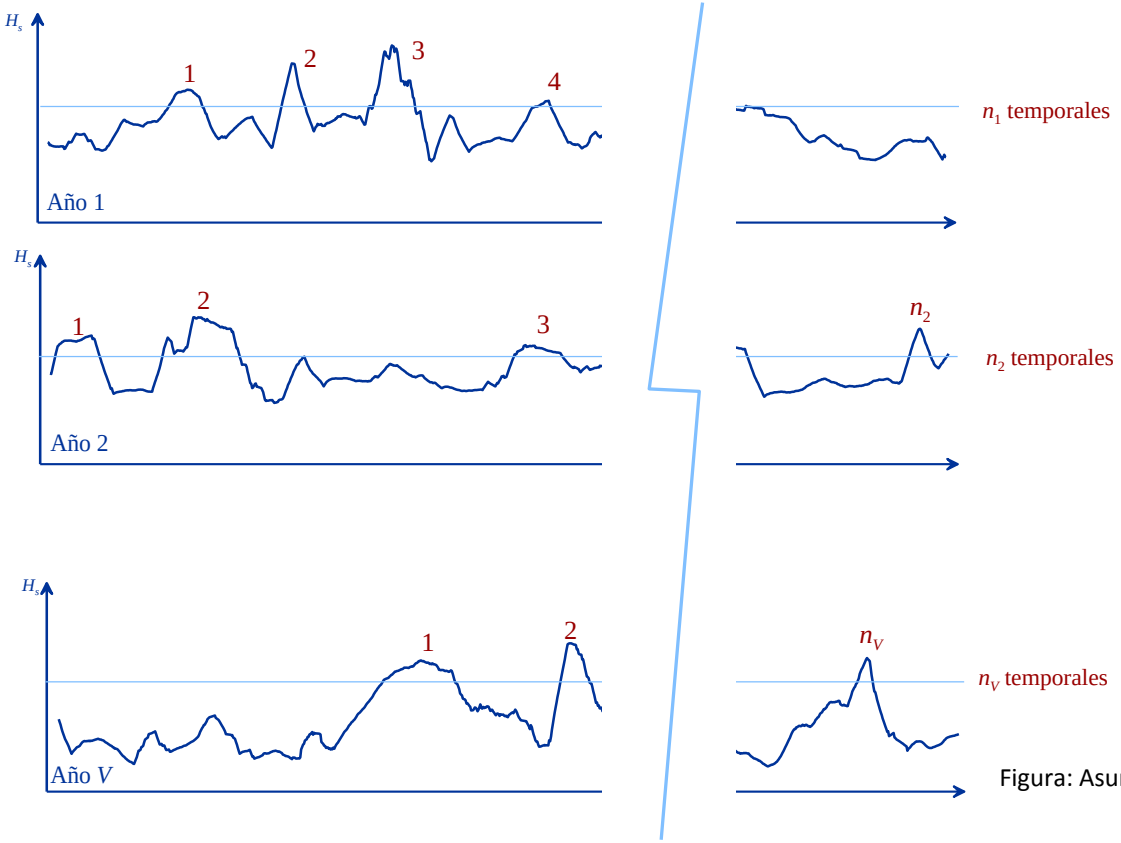


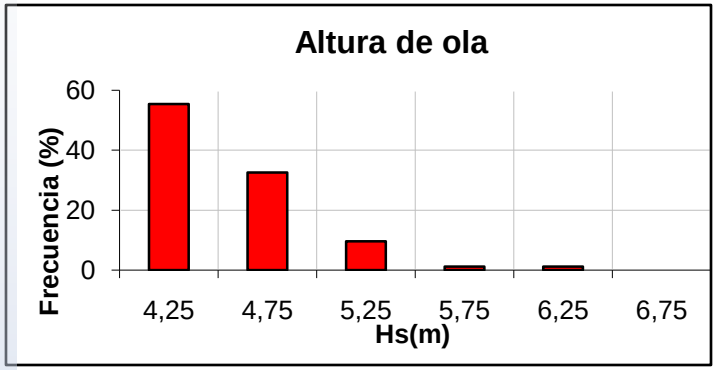
Figura: Asunción Baquerizo A.

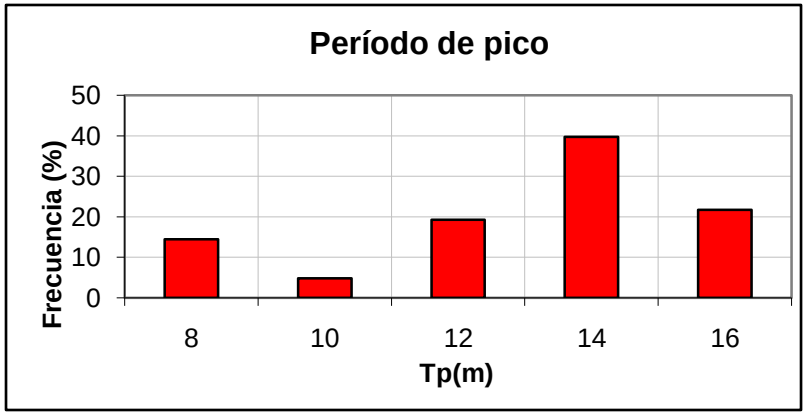
CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

- Serie de Temporales

83 Temporales

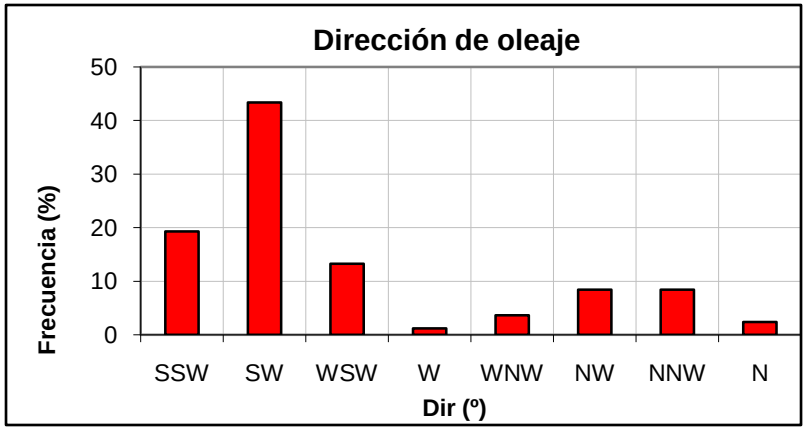
$$\lambda = 20.75$$





Base de información de 83 datos

$$\left\{ \begin{array}{l} H_{s,\max} \\ T_p \\ \theta_m \\ D_t \end{array} \right.$$



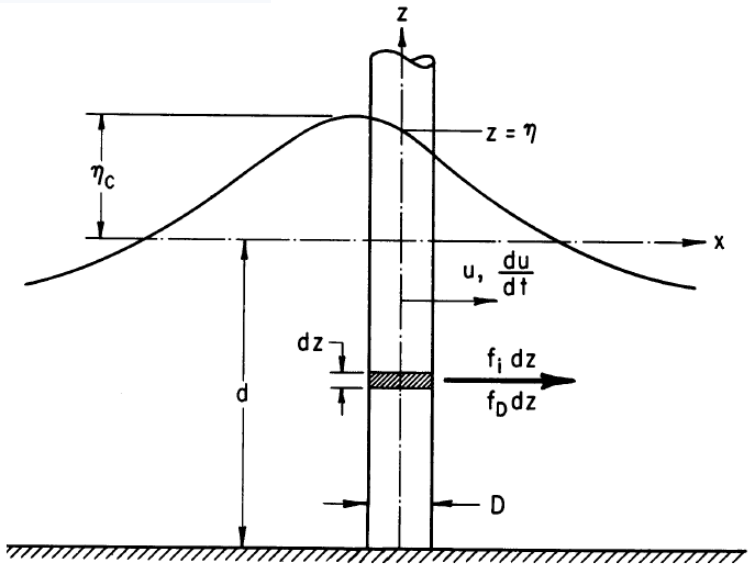
CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

Diseño → Factores: •Parámetros •Agentes •Acción → Fuerza sobre un pilote

❖Ecuación de Morison et al.(1950)

$$F_T = \frac{1}{2}\rho C_D A u^2 + \rho C_M V \frac{Du}{Dt}$$

❖D/L<0.05
❖S/D>5



CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

Modo de Fallo

Modo de Parada operativo

•Estados límite último

•Estados límite de servicio

•Estados límite operativos

Estados que producen la ruina o colapso estructural de la obra o parte de ella

•Agotamiento resistente
•Deformación
•Inestabilidad
•Colapso progresivo
•Pérdida del equilibrio estático

Relacionados con la pérdida de la estabilidad estática

❖Cálculo simplificado en un pilote.

❖Se considera como máxima fuerza horizontal admisible, 6[ton] (Estudio geotécnico muelle caleta Portales)

Ecuación de Verificación

$$S = F_{H,adm} - F_H$$

$F_{H,adm}$ Fuerza horizontal admisible

F_H Fuerza horizontal inducida por una ola individual

Método de verificación

•Nivel I
•Nivel II
•Nivel III

Resultado

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

Método de verificación → •Nivel I •Nivel II •Nivel III → •Es necesario conocer las funciones de densidad de cada variable aleatoria que interviene en la ecuación de verificación

Resultado

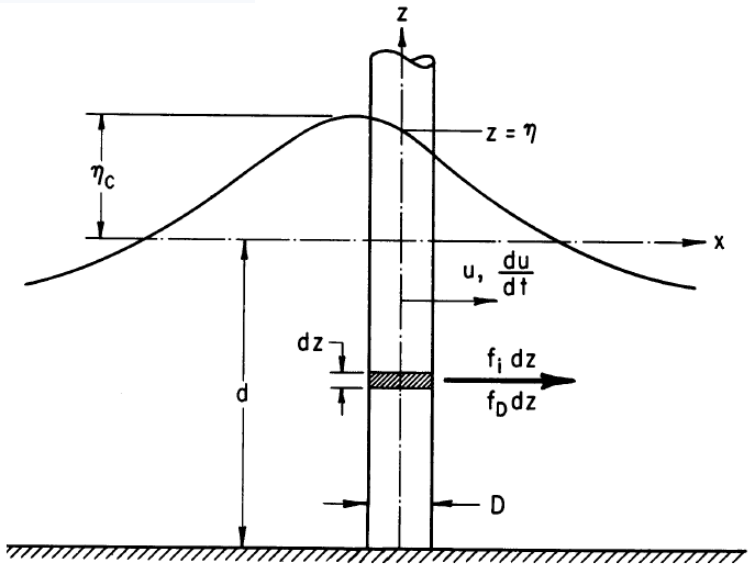
•Número de temporales
•Duración de cada temporal
•Altura de ola
•Período peak
•Dirección media

$$F_T = \frac{1}{2}\rho C_D A u^2 + \rho C_M V \frac{Du}{Dt}$$

$$u = \frac{H}{2}\frac{gT}{L}\frac{\cosh\left[k\left(z+h\right)\right]}{\cosh\left(kh\right)}\cos\left(kx-\sigma t\right)$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{g\pi H}{L}\frac{\cosh\left[k\left(z+h\right)\right]}{\cosh\left(kh\right)}\sin\left(kx-\sigma t\right)$$

$C_M = 2$ $\qquad$ $C_D = 1.2$



CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

Distribución de Poisson → Generación aleatoria del número de temporales al año → $n_1, n_2, n_3, \ldots, n_j, n_{15}$

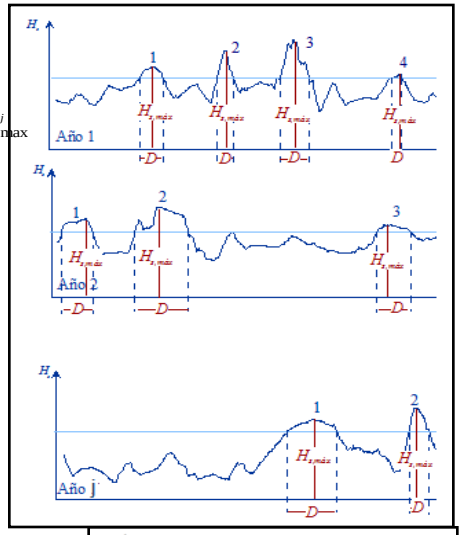
Para cada año *j*

Distribución extremal de *Hs* truncada en *Hs=4[m]* → Generación aleatoria de n_j valores de *Hs,max* de los temporales → $H^1_{s,\max}, H^2_{s,\max}, \ldots, H^i_{s,\max}, \ldots, H^{n_j}_{s,\max}$

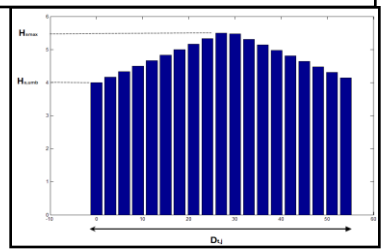
Distribución de *Dt* de temporales → Generación aleatoria de n_j valores de *Dt* de los temporales → $D^1_t, D^2_t, \ldots, D^i_t, \ldots, D^{n_j}_t$

Distribución de *Tp* de temporales → Generación aleatoria de n_j valores de *Tp* de los temporales → $T^1_p, T^2_p, \ldots, T^i_p, \ldots, T^{n_j}_p$

Distribución de *ϑm* de temporales → Generación aleatoria de n_j valores de *ϑm* de los temporales → $\theta^1_m, \theta^2_m, \ldots, \theta^i_m, \ldots, \theta^{n_j}_m$



Cálculo forma triangular crecimiento temporal

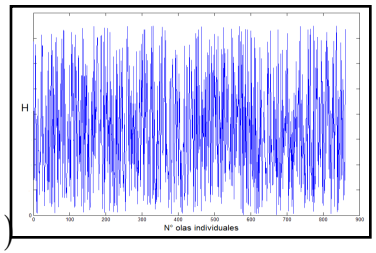


Para cada temporal *i*

División del temporal en m_i estados de mar → $H_{s,1}, H_{s,2}, \ldots, H_{s,k}, \ldots, H_{s,m_i}$; $T_{p,1}, T_{p,2}, \ldots, T_{p,k}, \ldots, T_{p,m_i}$

Para cada estado de mar *k*

Generación aleatoria de olas l_k individuales en los estados de mar → $H_1, H_2, \ldots, H_r, \ldots, H_{l_k}$; $T_1, T_2, \ldots, T_r, \ldots, T_{l_k}$



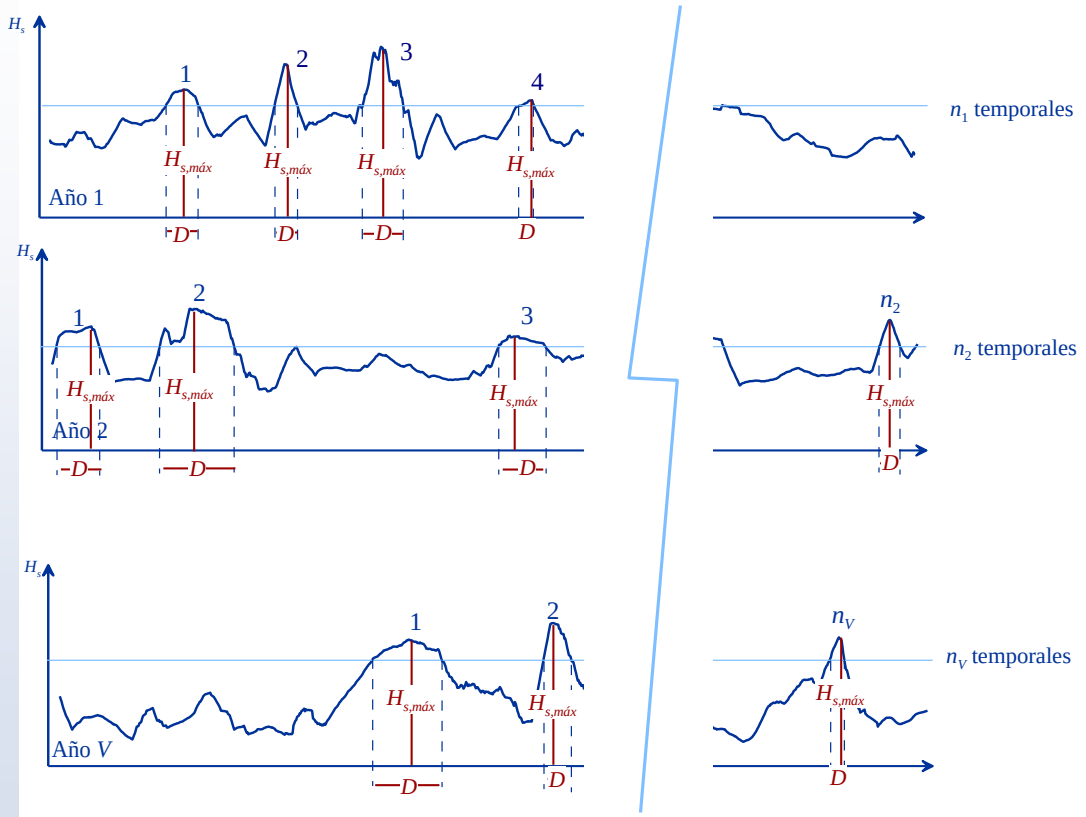
Longuet-Higgins (1975-1983) $F(H_s, T_p)$

Contadores:

- j Año
- i Temporal
- m_i N° estados de mar en el temporal *i*
- k Estado de mar
- l_k *N° olas individuales en el estado de mar* k
- r *Ola individual*

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

❖Régimen de temporales se obtuvieron 83 temporales



$$\left\{H^1_{s,\max}, H^2_{s,\max}, H^3_{s,\max}, H^4_{s,\max}\right\}$$
$$\left\{T^1_p, T^2_p, T^3_p, T^4_p\right\}$$
$$\left\{\theta^1_m, \theta^2_m, \theta^3_m, \theta^4_m\right\}$$

$$\left\{H^1_{s,\max}, H^2_{s,\max}, H^3_{s,\max}\right\}$$
$$\left\{T^1_p, T^2_p, T^3_p\right\}$$
$$\left\{\theta^1_m, \theta^2_m, \theta^3_m\right\}$$

$$\left\{H^1_{s,\max}, H^2_{s,\max}\right\}$$
$$\left\{T^1_p, T^2_p\right\}$$
$$\left\{\theta^1_m, \theta^2_m\right\}$$

Figura: Asunción Baquerizo A.

CASO APLICACIÓN y MUELLE CALETA PORTALES

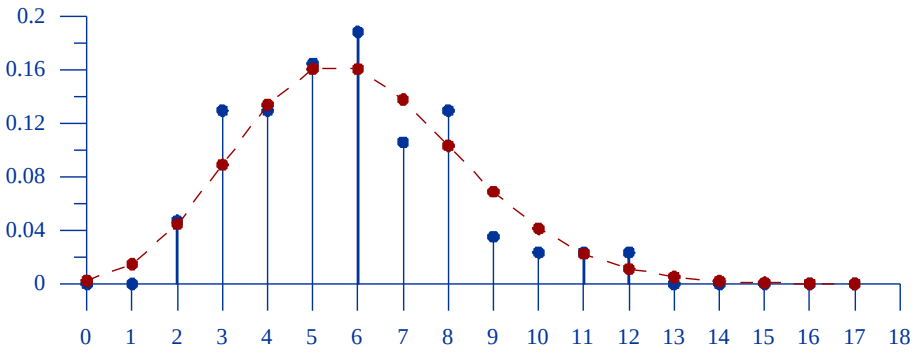
Distribución de Poisson

Generación aleatoria del número de temporales al año durante al vida útil

$n_1, n_2, n_3, \ldots, n_j, n_{15}$

$$P(n) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^n}{n!} \qquad \lambda = 83/4 = 20.75$$

Año	N°temp
Año 1	25
Año 2	22
Año3	27
.	.
.	.
.	.
Año 15	19



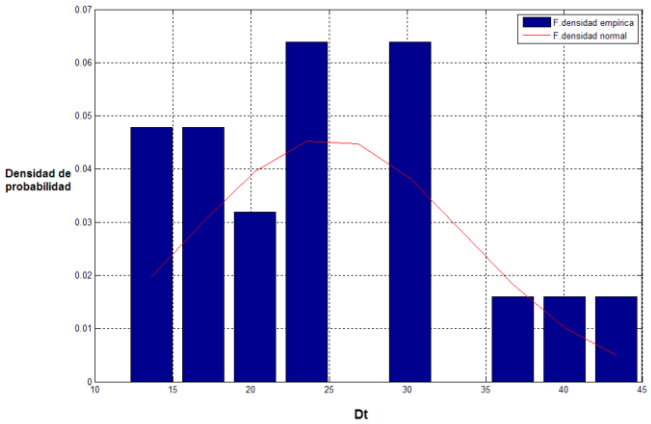
CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

Para cada año *j*

Distribución de *Dt* de temporales

Generación aleatoria de *nj* valores de *Dt* de los temporales

$$f(x) = \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\lambda}{\delta}\right)^2}$$

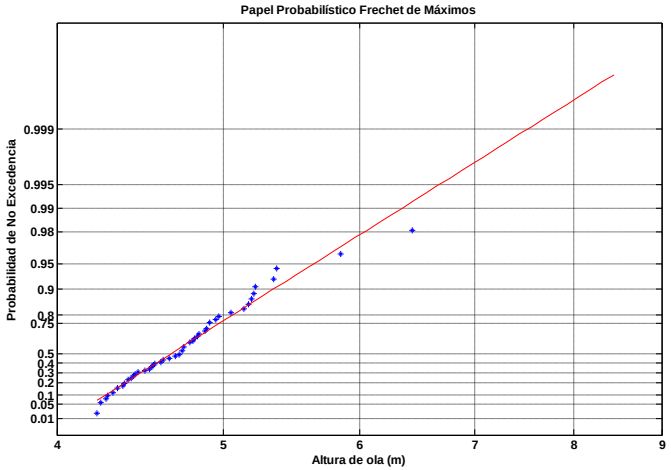


Distribución extremal de *Hs* truncada en *Hs=4[m]*

Generación aleatoria de *nj* valores de *Hs,max* de los temporales

$$P(X \le x) = \exp\left(-\exp\left(-\left(\frac{x-\lambda}{\delta}\right)\right)\right)$$

Año	Dt	N°temp	Hs,max
Año 1	16	25	4.2
Año 2	10	22	4.5
Año3	22	27	4.3
.	.	.	.
.		.	.
Año 15	30	19	5.0



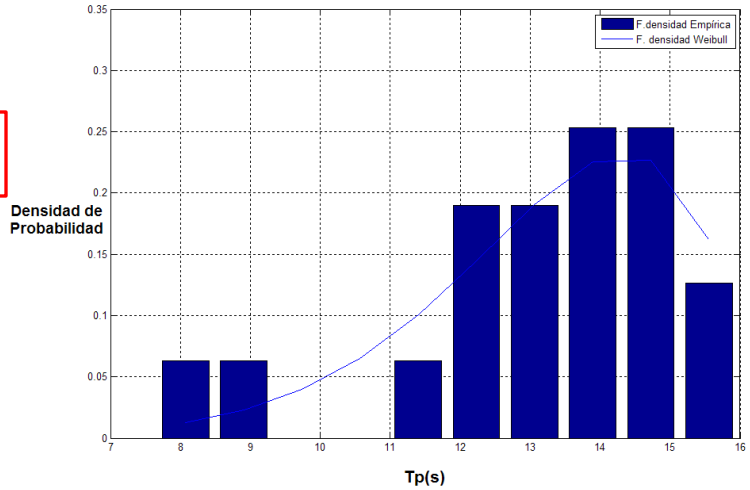
CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

Para cada año *j*

Distribución de *Tp* de temporales

Generación aleatoria de *nj* valores de *Tp* de los temporales

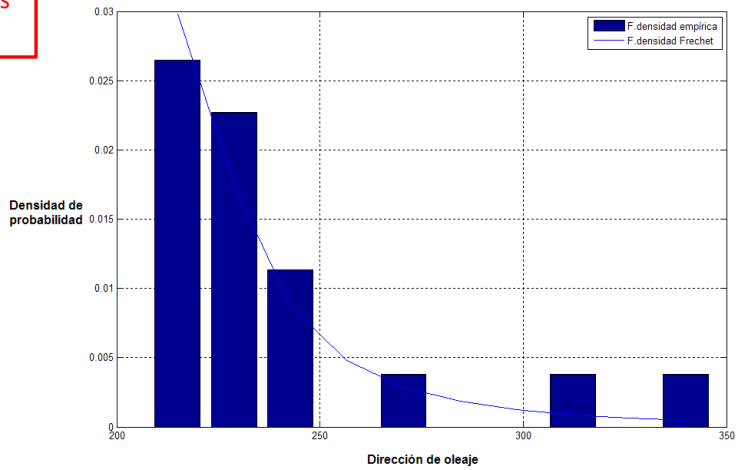
$$P(X \le x) = \exp\left(-\left(-\left(\frac{x-\lambda}{\delta}\right)^{\beta}\right)\right)$$



Distribución de *ϑm* de temporales

Generación aleatoria de *nj* valores de *ϑm* de los temporales

$$P(X \le x) = \exp\left(-\left(\frac{x-\lambda}{\delta}\right)^{-\beta}\right)$$



CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

Año	Dt	N°temp
Año 1	16	25
Año 2	10	22
Año3	22	27
.	.	.
.		.
Año 15	30	19

Para cada temp	Hs,max	Tp	Dirm
1	4.2	12	230
2	4.5	10	255
3	4.3	11	310
.	.	.	.
.	.	.	.
25	5.0	13	270

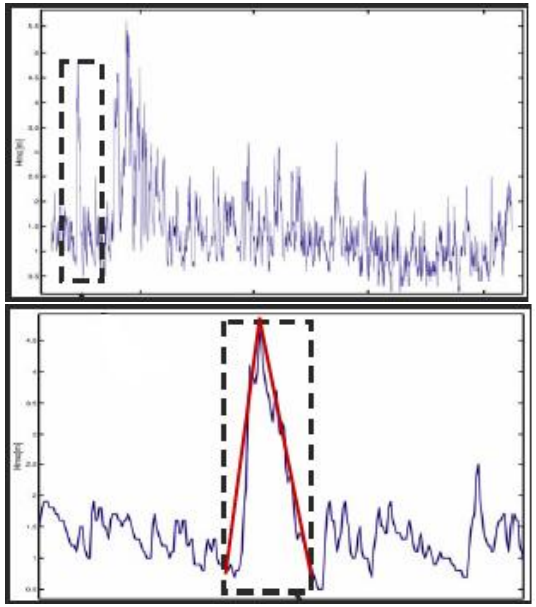
$$H_{s,\max}^{1}, H_{s,\max}^{2}, \ldots, H_{s,\max}^{i}, \ldots, H_{s,\max}^{n_j}$$

$$T_p^1, T_p^2, \ldots, T_p^i, \ldots, T_p^{n_j}$$

$$\theta_m^1, \theta_m^2, \ldots, \theta_m^i, \ldots, \theta_m^{n_j}$$

$$D_t^1, D_t^2, \ldots, D_t^i, \ldots, D_t^{n_j}$$

Cálculo forma triangular
crecimiento temporal

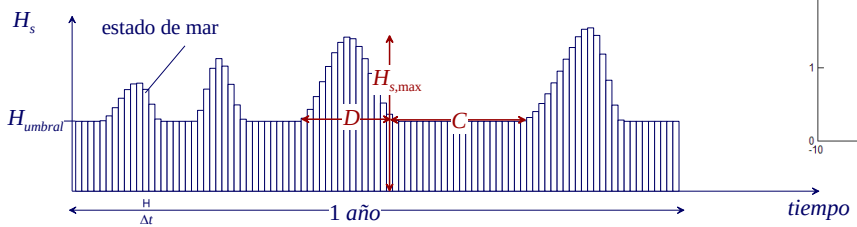


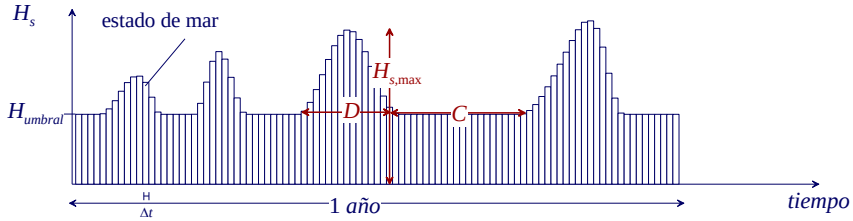
CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

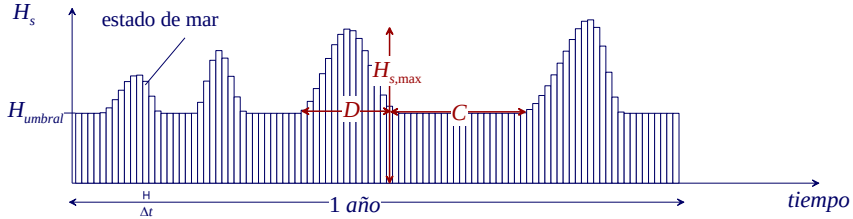
Para cada temporal *i*

División del temporal en estados de mar de 3h de duración

$$H_{s,1}, H_{s,2}, \ldots, H_{s,k}, \ldots, H_{s,m_i}$$
$$T_{p,1}, T_{p,2}, \ldots, T_{p,k}, \ldots, T_{p,m_i}$$







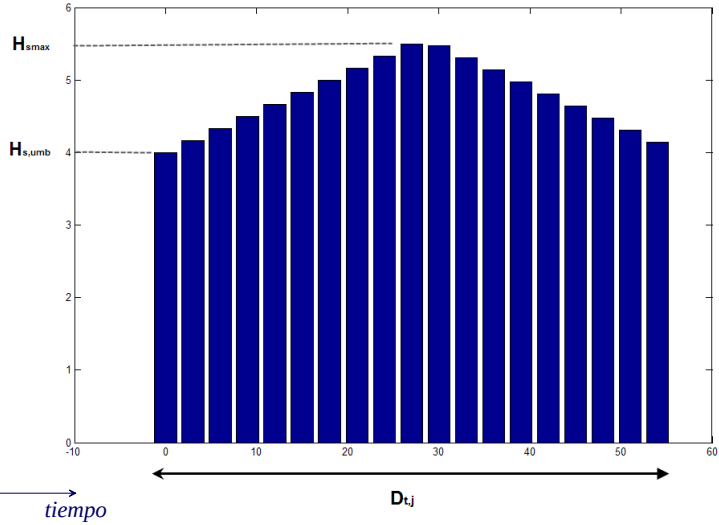


Figura: Asunción Baquerizo A.

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

❖Los temporales simulados se encuentran en aguas profundas

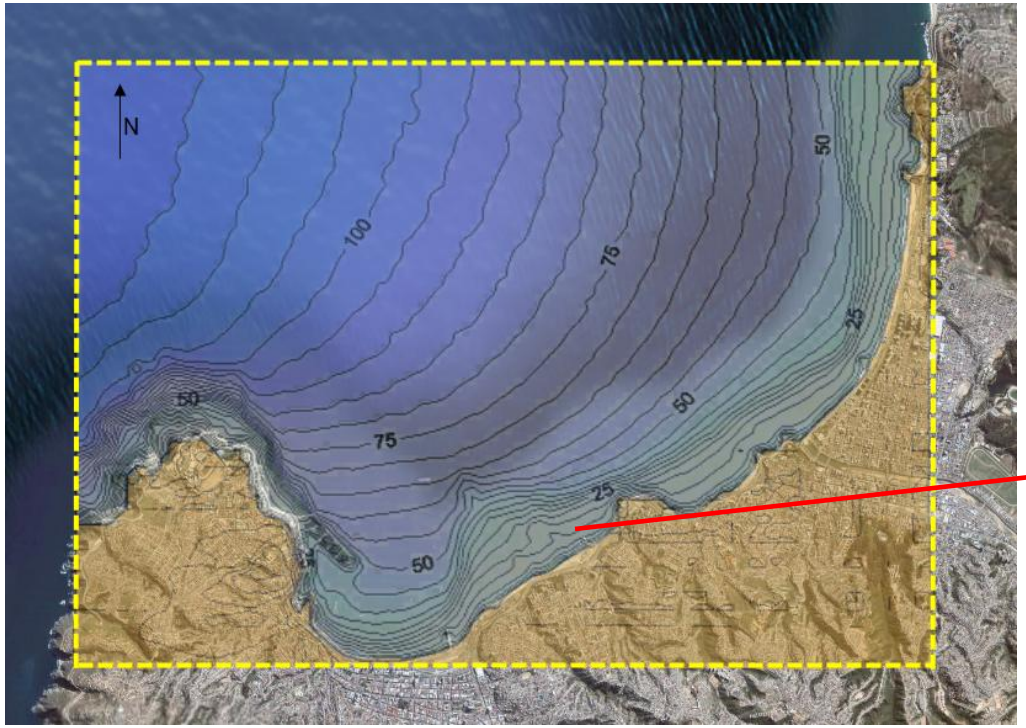
SIMULACIÓN	PROPAGACIÓN
Generación de Temporales	Obtención de Temporales
Generación de los estados de mar	Propagación de los estados de mar
INTERPOLACIÓN →	Obtención matriz de *Hs,max; Tp* y *Dir* propagados

Obtención estados de mar simulados propagados

❖Se propaga con modelo SWAN

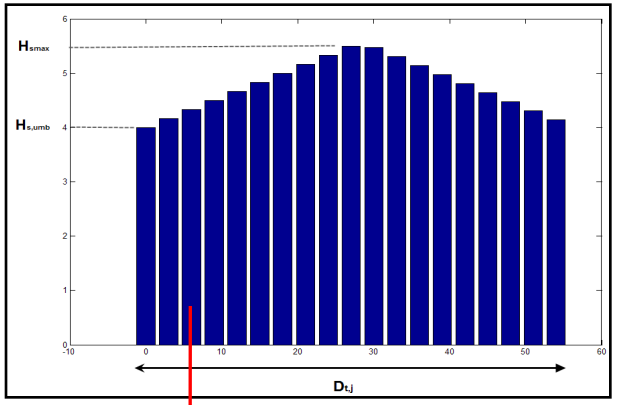
CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

- Casos de propagación:
  - Altura de ola: [4 5 6]
  - Período de pico: [7 9 11 13 15 17]
  - Dirección de oleaje:[SSW-N]



CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

Obtención estados de mar simulados propagados

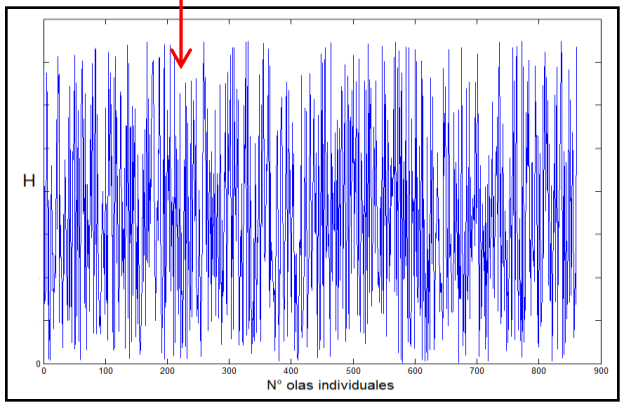


Para cada estado de mar *k*

Generación aleatoria de olas individuales en los estados de mar → $H_1, H_2, \ldots, H_r, \ldots, H_{l_k}$

$T_1, T_2, \ldots, T_r, \ldots, T_{l_k}$

Longuet-Higgins (1975-1983) $F\left(H_s, T_p\right)$



$$f\left(\xi,\tau\right) = C_L \left(\frac{\xi}{\tau}\right)^2 \exp\left\{-\frac{\xi^2}{8}\left[1+\frac{1}{\nu^2}\left(1-\frac{1}{\tau}\right)^2\right]\right\}$$

$$C_L = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}\nu\left[1+\left(1+\nu^2\right)^{-\frac{1}{2}}\right]}$$

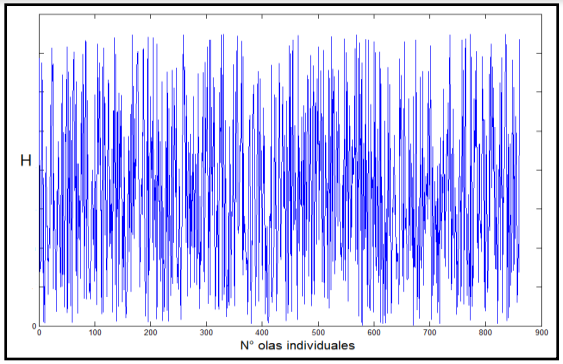
$$\xi = \frac{H}{\sqrt{m_0}} \qquad \tau = \frac{T}{\overline{T}}$$

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

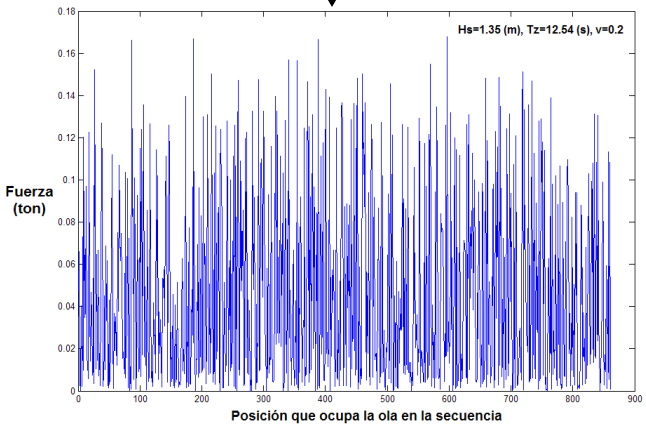
Generación aleatoria de olas individuales en los estados de mar

$$H_1, H_2, \ldots, H_r, \ldots, H_{l_k}$$

$$T_1, T_2, \ldots, T_r, \ldots, T_{l_k}$$



$$F_T = \frac{1}{2}\rho C_D A u^2 + \rho C_M V \frac{Du}{Dt}$$

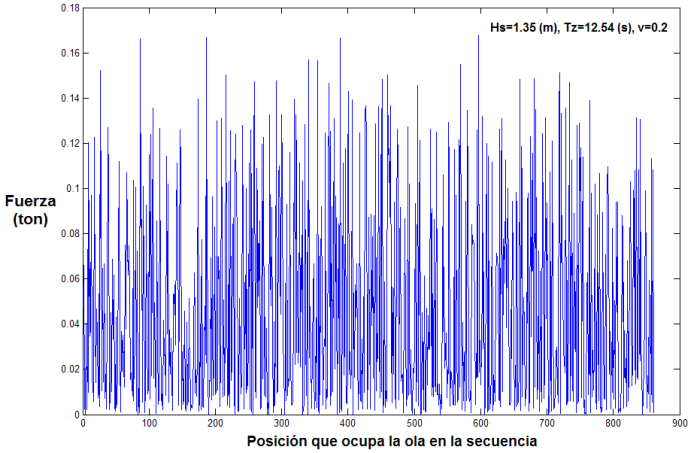


Ecuación de Verificación

$$S = F_{H,adm} - F_H$$

CASO APLICACIÓN
MUELLE CALETA PORTALES

❖RESULTADO



Requisitos de Seguridad

Probabilidad de fallo admisible 0.20

Ecuación de Verificación

$$S = F_{H,adm} - F_H$$

Resultado
Probabilidad de fallo nula

SE CUMPLEN LOS REQUISITOS DE SEGURIDAD

CONCLUSIÓN

❖Se ha aplicado la metodología ROM 0.0 al tramo de obra Muelle Cabezo para verificar la seguridad durante la vida útil.

- Se evaluó el carácter general del tramo en función de su repercusión económica, social y ambiental.
- Se obtuvieron los factores de proyecto.
- Se analizó en agente oleaje.
- Se utilizó un método de nivel III para la simulación de los temporales y olas individuales.
- Se calculó la fuerza que ejerce el oleaje sobre un pilote mediante la ecuación de Morison et al. (1950).
- Se evaluó en la ecuación de verificación, obteniéndose el valor de *S.*
- Se cumplen los requisitos de seguridad planteados según el carácter del tramo.

INCONVENIENTES

UTILIZACIÓN ROM 0.0

- Escasa información sobre los agentes marítimos y atmosféricos
  - No se puede incluir variabilidad espacial y temporal
- Términos aún no introducidos en Chile
  - Complejo el seguimiento del procedimiento ROM 0.0

GRUPO DE PUERTOS Y COSTAS
UNIVERSIDAD DE GRANADA

UNIVERSIDAD DE VALPARAISO
CHILE

FIN

MUCHAS GRACIAS