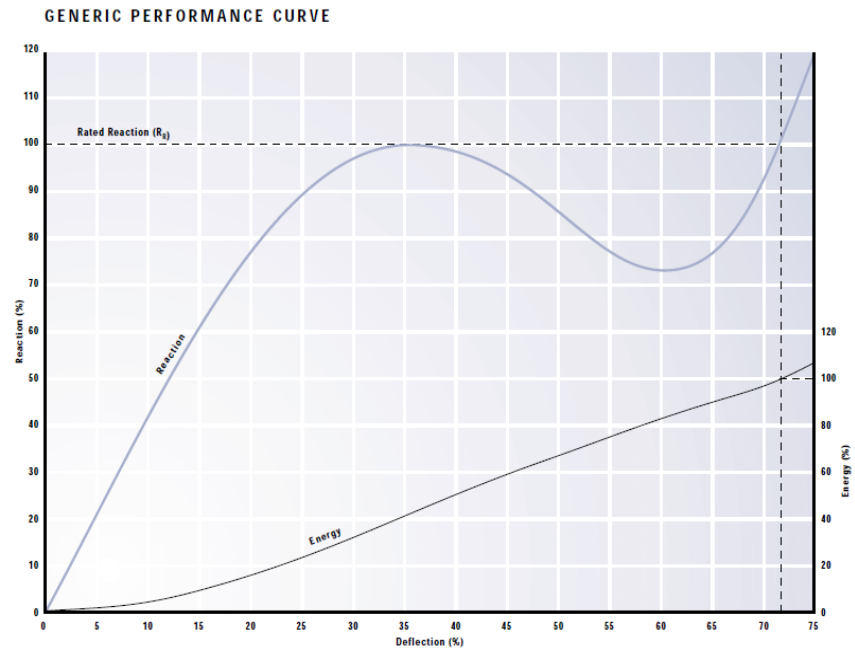
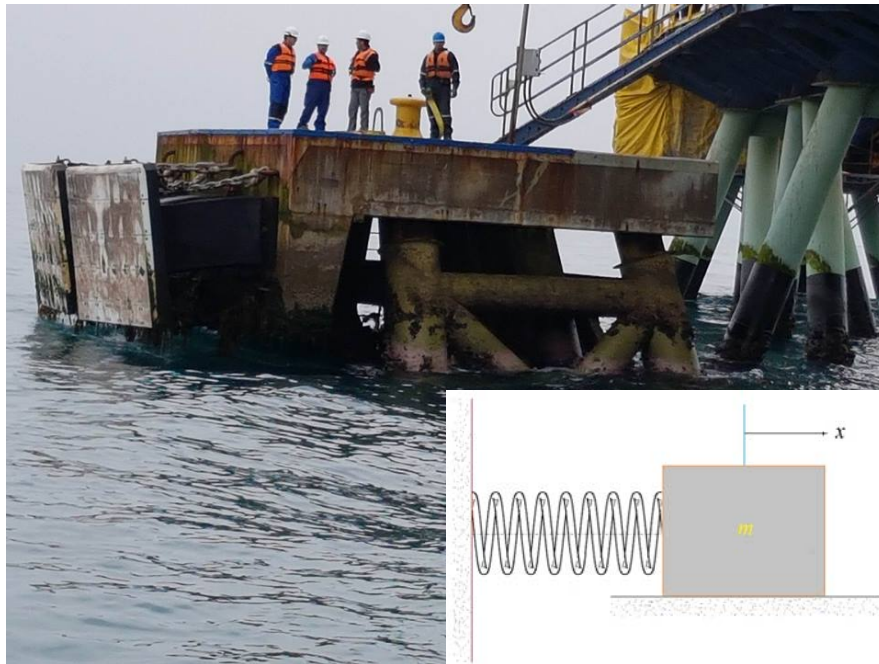


Aplicación de un Análisis de Identificabilidad en un Modelo Dinámico Amortiguado de Defensa Portuaria

Mauricio Villagrán, Rolando Ramírez, Nelson Maureira, Enrique
Muñoz

Introducción

- Diseño de defensas típicamente como un resorte aislado
- Foco en absorción de energía y reacción.
- Se desconoce interacción entre sistemas (estructura-fender-nave)
- Se desprecian efectos disipadores de energía

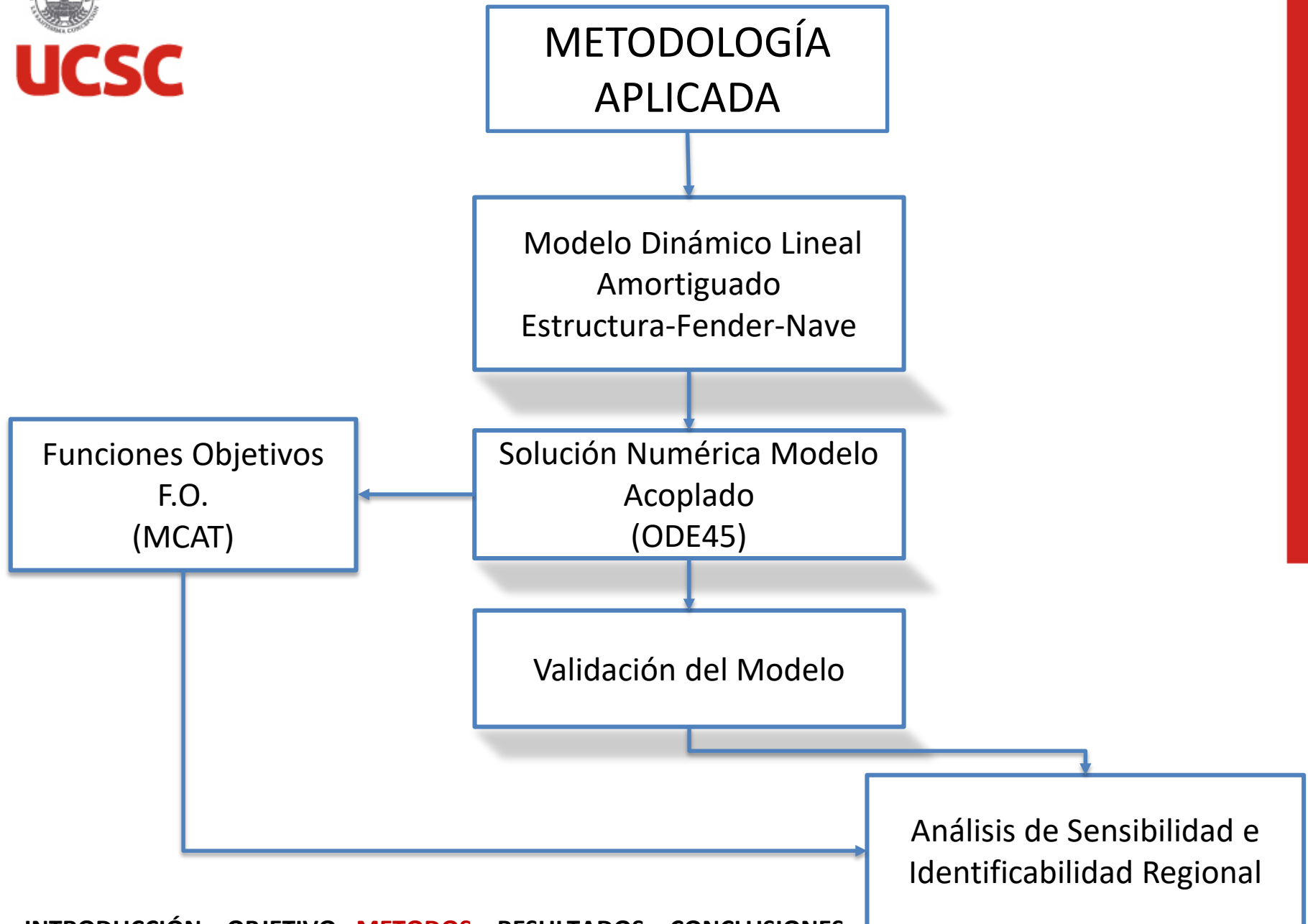


Puerto Minera Los Pelambres , Los Vilos

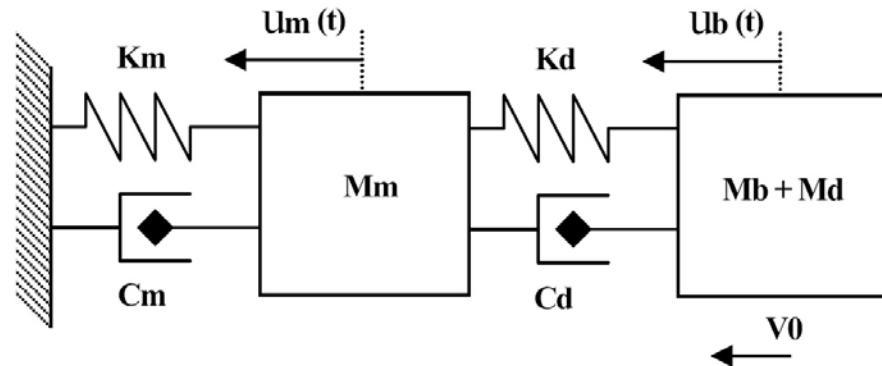
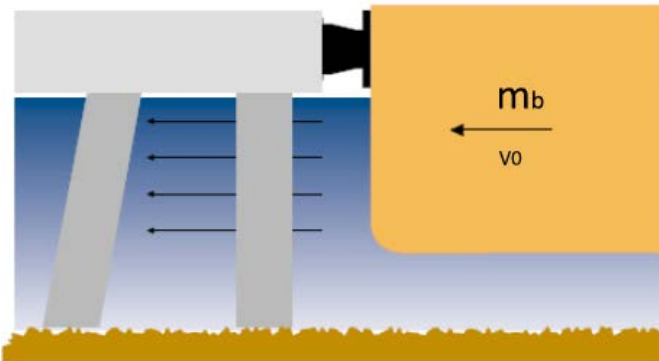
Objetivo

- Entender la interrelación que tienen las variables de diseño durante el proceso de ataque, con el fin de comprender el funcionamiento acoplado de un sistema Estructura-Fender-Nave.
- Estudiar el efecto del amortiguamiento (disipación de energía) en el comportamiento dinámico de una defensa portuaria.





Modelo Dinámico Lineal Amortiguado



En el sistema se incluye:

- Masa del buque (M_b)
- Velocidad inicial del buque (V_0)
- Masa de la estructura (M_m)
- Rigidez (K_m) y Amortiguamiento de la estructura (C_m)
- Masa de la defensa (M_d)
- Rigidez (K_d) y Amortiguamiento de la defensa (C_d).

Ecuaciones del Modelo Dinámico Lineal Amortiguado

- Ecuaciones dinámicas del sistema acoplado
(Bogage 2008).

$$M_m(\ddot{u}_m) + C_m(\dot{u}_m) + C_d(\dot{u}_m - \dot{u}_b) + K_m(u_m) + K_d(u_m - u_b) = 0 \quad (1)$$

$$(M_b + M_d)(\ddot{u}_b) + C_d(\dot{u}_b - \dot{u}_m) + K_d(u_b - u_m) = 0 \quad (2)$$

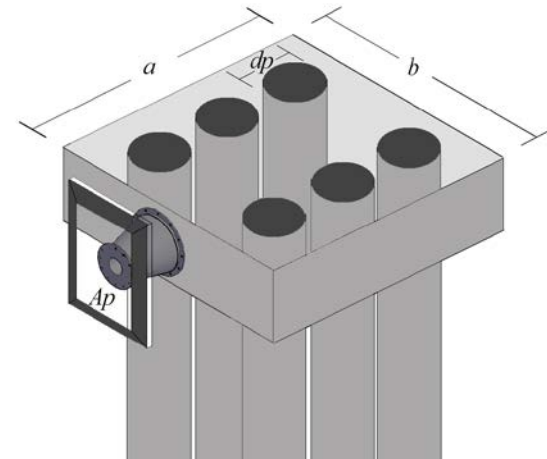
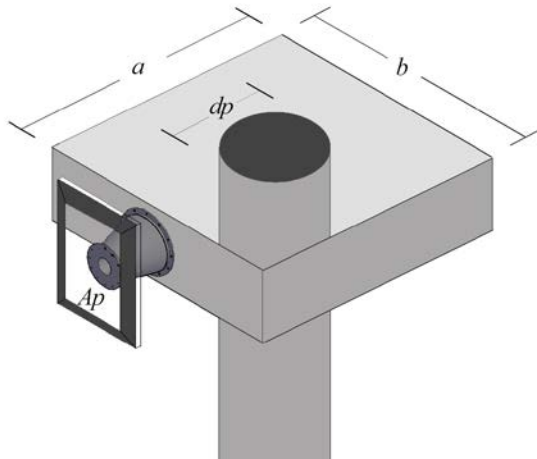
- Condiciones de Borde:

$$u_m(t=0)=0 \quad , \quad \partial u_m / \partial t_{t=0} = 0 \quad (4)$$

$$u_b(t=0)=0 \quad , \quad \partial u_b / \partial t_{t=0} = V_0 > 0 \quad (5)$$

Estimación de variables del modelo(1)

- Rigidez de la estructura (K_m) → Modelaciones SAP



- Coeficiente de amortiguación estructura (C_m) →

(Vrijer 1983, Vasco Costa 1974)

$$C_m = d_m \cdot 2 \cdot \sqrt{K_m \cdot M_m}$$

Razón de
amortiguamiento

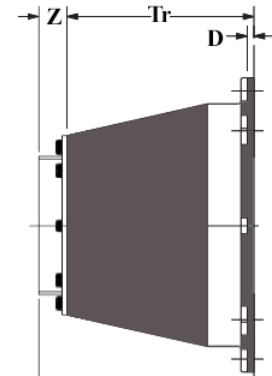
Estimación de variables del modelo(2)

- Rigidez de la defensa (K_d) → Modelo lineal desacoplado. (Kelly & Konstantinidis 2011).

$$Kh = \frac{Ec \cdot A}{Tr}$$

$$Ec = 6GS \left(1 - \frac{8GS}{K}\right)$$

$$S = \frac{r}{2Tr}$$



Donde: Kh = Rigidez de la defensa

Ec = Modulo de compresibilidad

G = Modulo de corte

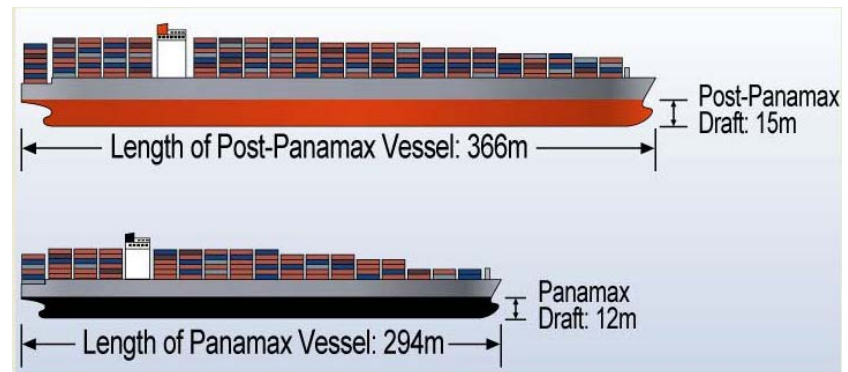
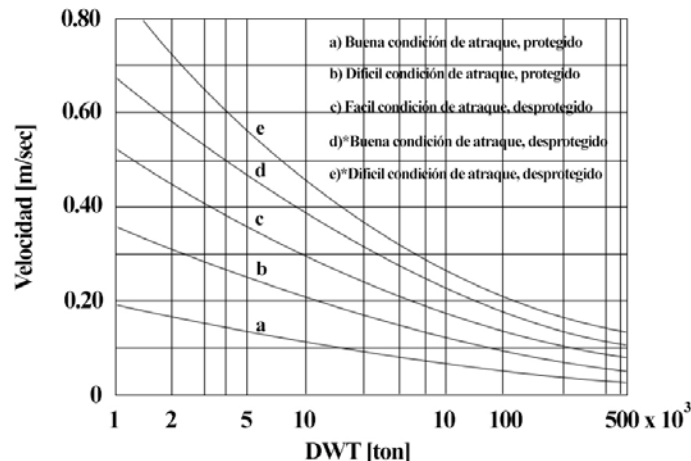
Tr = Altura efectiva del neopreno

S = Factor de forma

- Coeficiente de amortiguación (C_d) → Ensayos experimentales realizados en la Universidad de Chile. (Sarrazin, et al., 2002)
 - o $dd = 8\% - 14\%$ bajos
 - o $dd = 20\% - 40\%$ altos

Estimación de variables del modelo(3)

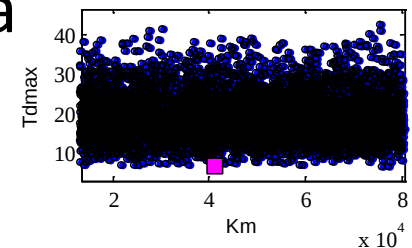
- Velocidad de atraque (V_0) → Gráficos de velocidad en condiciones operacionales (Recomendaciones PIANC).
- Masa del buque (M_b) → Según tipología de la nave.



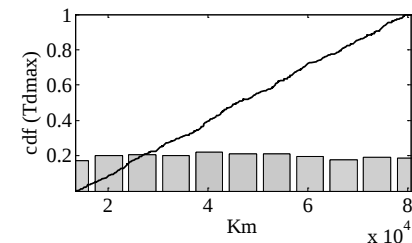
Análisis de Identificabilidad (1)

- Análisis de Sensibilidad General (RSA): Dispersión de los parámetros para funciones objetivos → Cada punto una simulación realizada

(Hornberger & Spear 1981)



- Análisis de Identificabilidad General (GIA): Función de Distribución Acumulada (CDF) e histograma del 10% de las mejores simulaciones acotando el rango de las variables (Wagener, 2003)



Análisis de Identificabilidad (2)

- Ampliamente utilizado en modelos hidrológicos
- 5000 simulaciones utilizando MCAT (Monte Carlo Analysis Toolbox), (Wagener 2001, Wagener y Kollat 2007)
- Variables del modelo son sensibilizadas
- 7 iteraciones acotando intervalo de sensibilización

Parámetros	Influencia sobre	Rango
<i>Parámetros de Estructura de ataque</i>		
Km (tonf/m)	Mm	13424-80538
dm	Cm	0.12-0.2
L (m)	Kd	1-1.8
dd	Cd	0.12-0.2
<i>Parámetros del Buque</i>		
Mb (ton)	E	80000-250000
V0 (m/s)	E	0.039-0.086

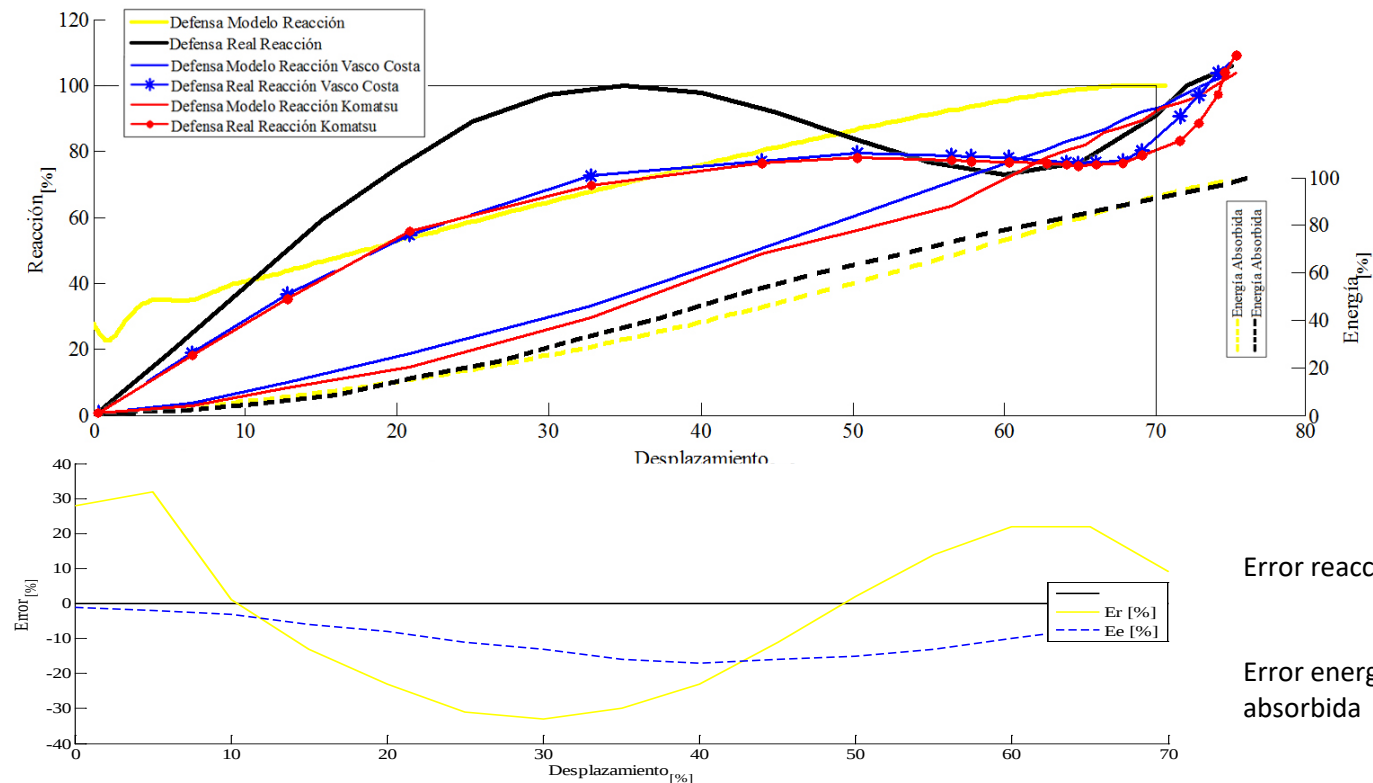
Nota: Mm: masa del muelle; Cm: amortiguación estructura; Kd: rigidez de la defensa; Cd: amortiguación defensa; E: Energía de ataque; L: largo de la defensa.

Funciones Objetivos

- Máxima Reacción sobre el casco del buque = $40 \text{ Tn/m}^2 \rightarrow T_{\max}$
- Deformación máxima de la defensa = 70% de su altura $\rightarrow D_{\max}$

Validación del modelo

- Simplificaciones utilizadas en el modelo
- Comparación con tipos de defensa real Super-Cono
- Modelos lineales no amortiguados Vasco Costa , Komatsu & Salman.



Error reacción

$$E_r = \frac{P_m - P_r}{R}$$

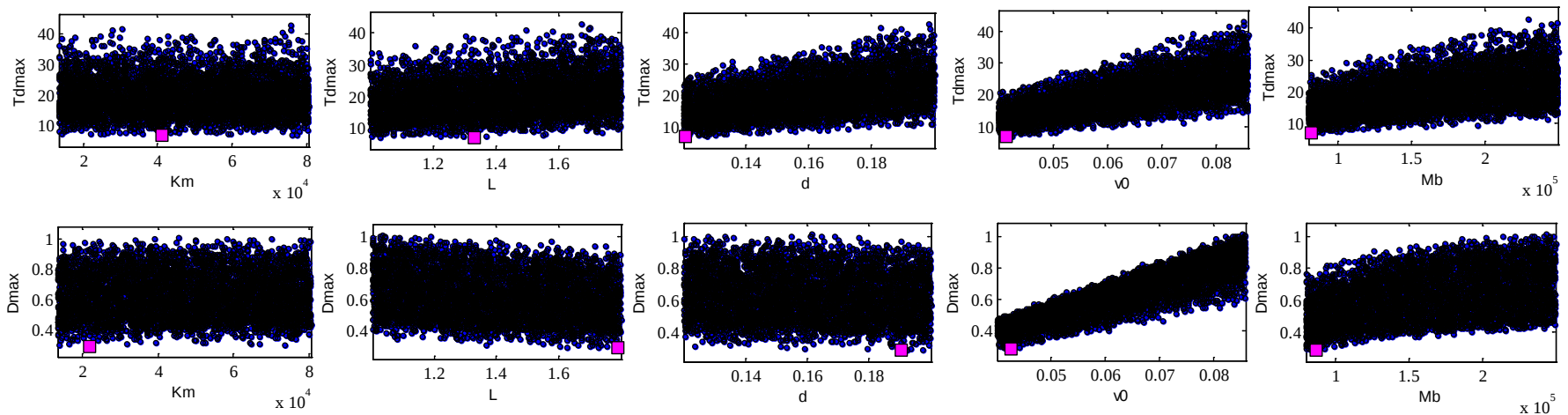
Error energía absorbida

$$E_e = \frac{E_m - E_r}{E_{max}}$$

Resultados del modelo (1)

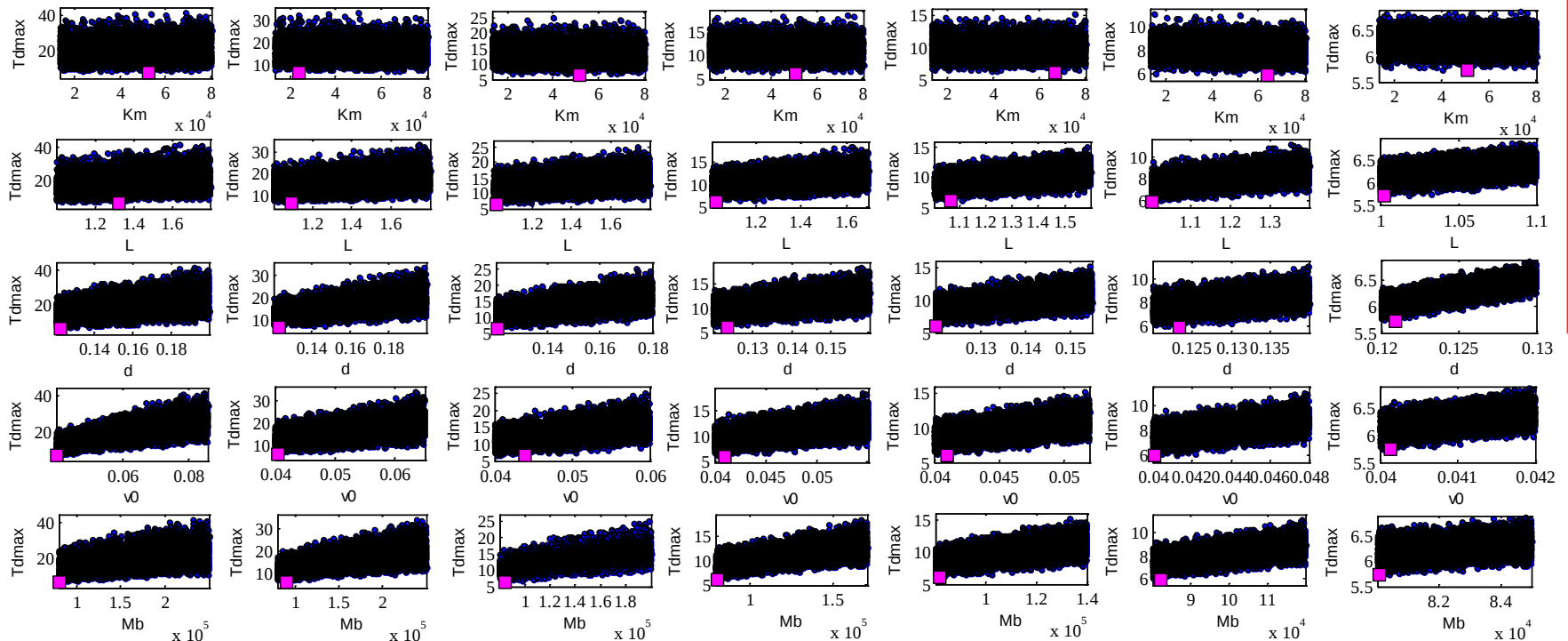
Análisis de Sensibilidad General (RSA)

- Diagrama de dispersión de los parámetros para funciones objetivos, 1era simulación.



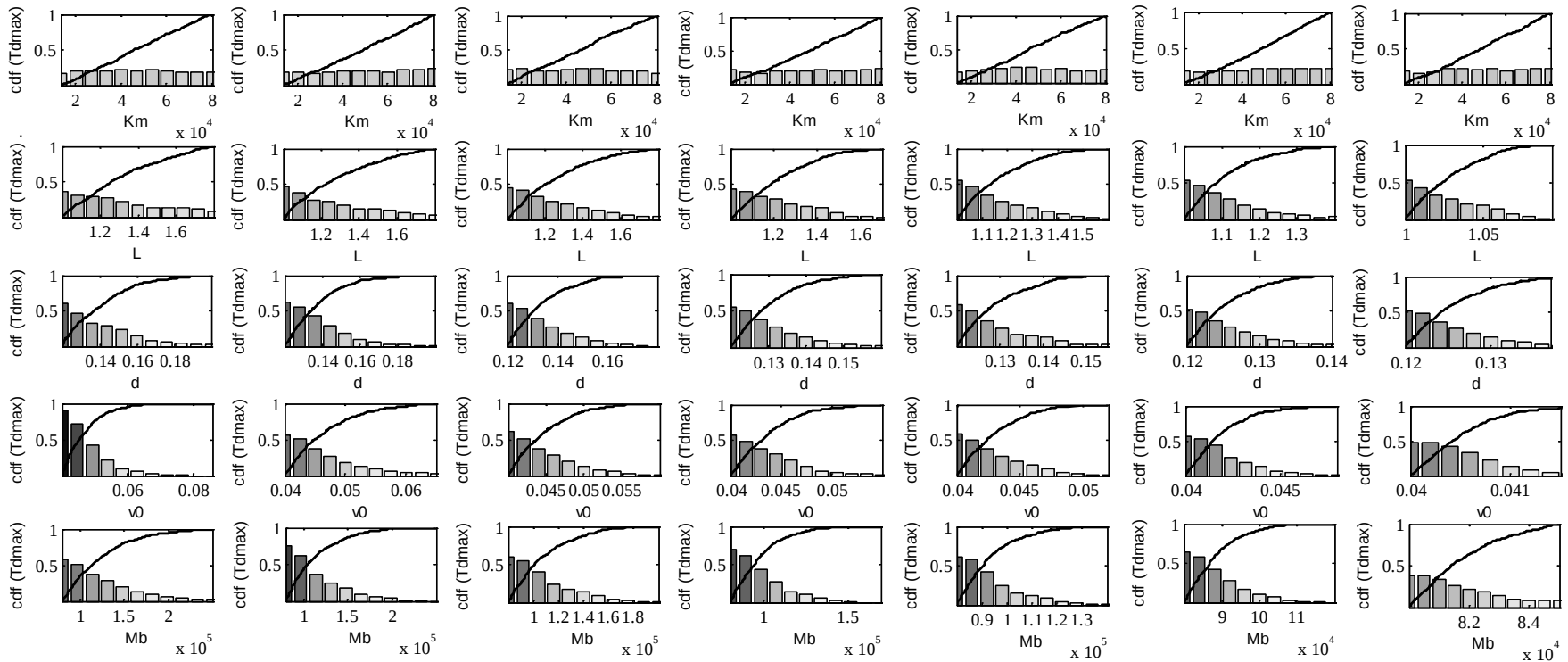
Resultados del modelo (2)

RSA: 7 Iteraciones y F.O. $\rightarrow T_{\max}$



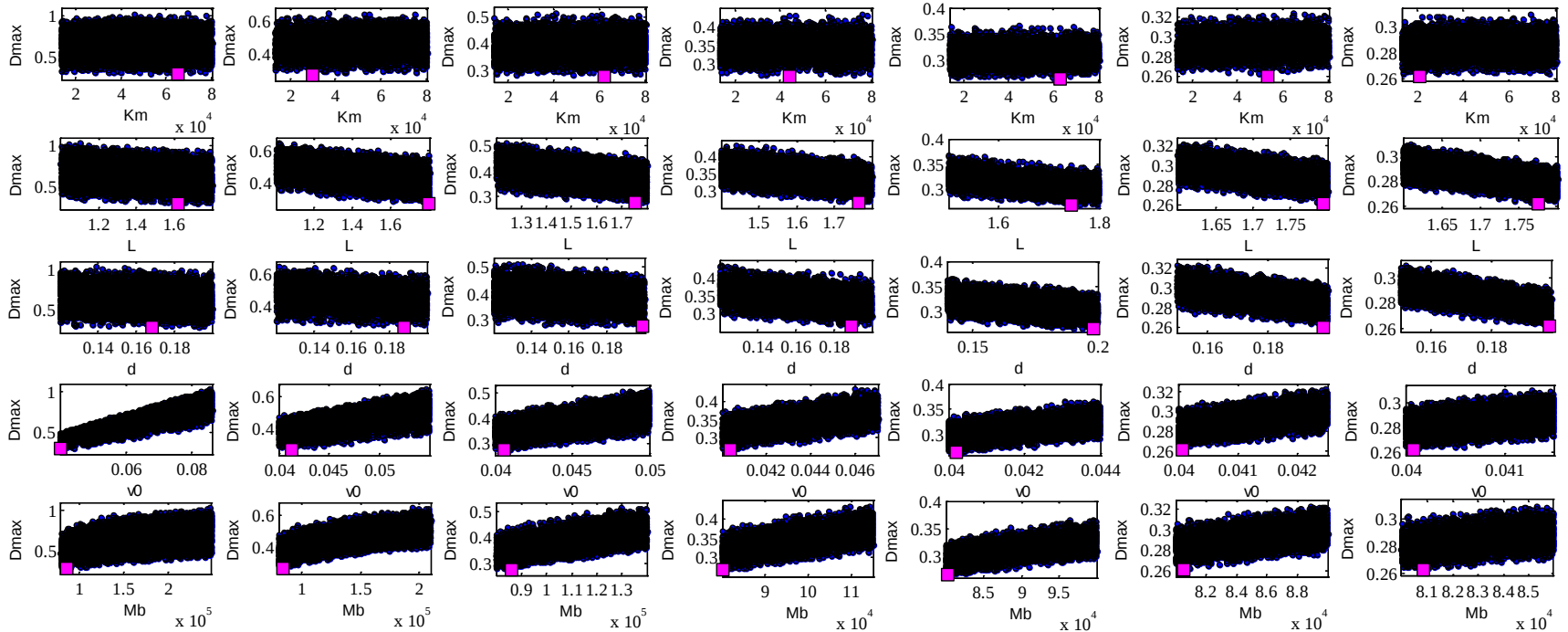
Resultados del modelo (3)

GIA: 7 Iteraciones y F.O. $\rightarrow T_{\max}$



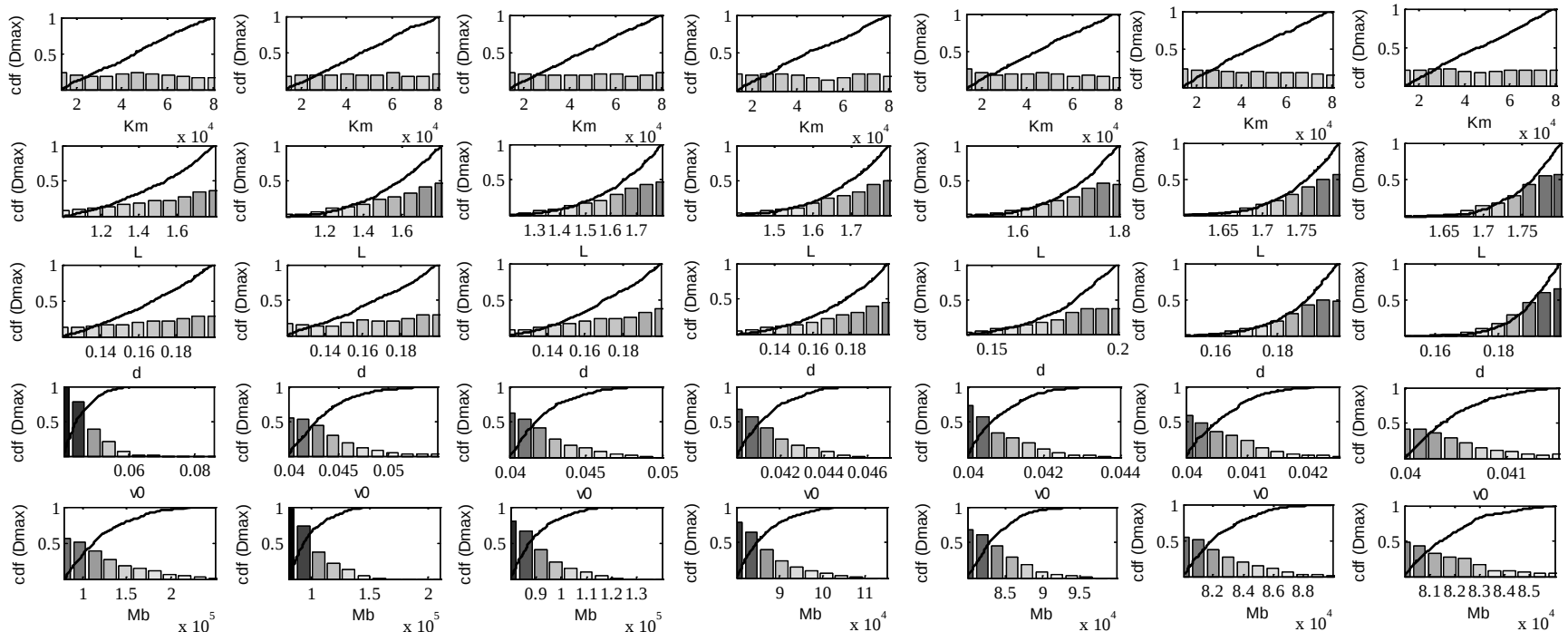
Resultados del modelo (4)

RSA: 7 Iteraciones y F.O. $\rightarrow$ D_{max}



Resultados del modelo (5)

GIA: 7 Iteraciones y F.O. → D_{max}





UCSC

Conclusiones

- Es factible el uso de modelos amortiguados para estudiar el comportamiento de defensas portuarias
- Adicionalmente de las variables de la nave (Masa y Velocidad), el análisis de identificabilidad arrojó que el modelo presenta sensibilidad ante la rigidez de la defensa y su amortiguamiento
- Dependiendo de la función objetivo en estudio, las variables rigidez de la defensa y amortiguamiento presentan comportamientos inversos, lo que hace más crítico su definición.
- A mayor amortiguamiento, más sensible es el modelo, reduciendo la importancia de las variables de la nave.
- El uso de sistemas amortiguados para las defensas portuarias podría significar una innovación relevante en la tecnología a utilizar e implicaría cambios en sus metodologías de diseño.

Jueves 8 de Noviembre 9:05 – 9:25

• **Desarrollo de un disipador de energía friccional /.../ defensa portuaria**

Maureira , N., Villagrán, M., Sanzana, D., Friz, A., Arroyo, C.

Gracias por su atención

