

VI CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA POTUARIA

**Seminario Latinoamericano : “Desarrollo Sustentable de la
Infraestructura Portuaria Marítima y Fluvial en América
Latina”**

**APLICACIÓN DE NUEVAS RECOMENDACIONES
AL CASO DE DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE
ATRAQUE INDEPENDIENTE EN SITUACIÓN DE
ACCIONES NORMALES Y EXCEPCIONALES**

A.A.D.I.P. – P.I.A.N.C.

5 al 7 de Abril de 2010

ING. GABRIEL FARAH

OBJETIVO

Se trata del desarrollo de un caso de aplicación en el cual se siguen los lineamientos de actuales recomendaciones para el diseño de una estructura de atraque independiente tipo “dolphin”.

A partir de la determinación de la acción de atraque en condiciones de operación “normales” y “excepcionales” se avanza en el diseño y verificación de la estructura independiente, desde los puntos de vista energético y estructural.

El trabajo se orienta a encontrar un adecuado “equilibrio” entre el diseño resistente de la estructura, la selección del sistema de defensa y la absorción de energía del conjunto, de manera de dar respuesta a dos estados de diseño que son significativamente diferentes.

PUNTOS A EXPONER

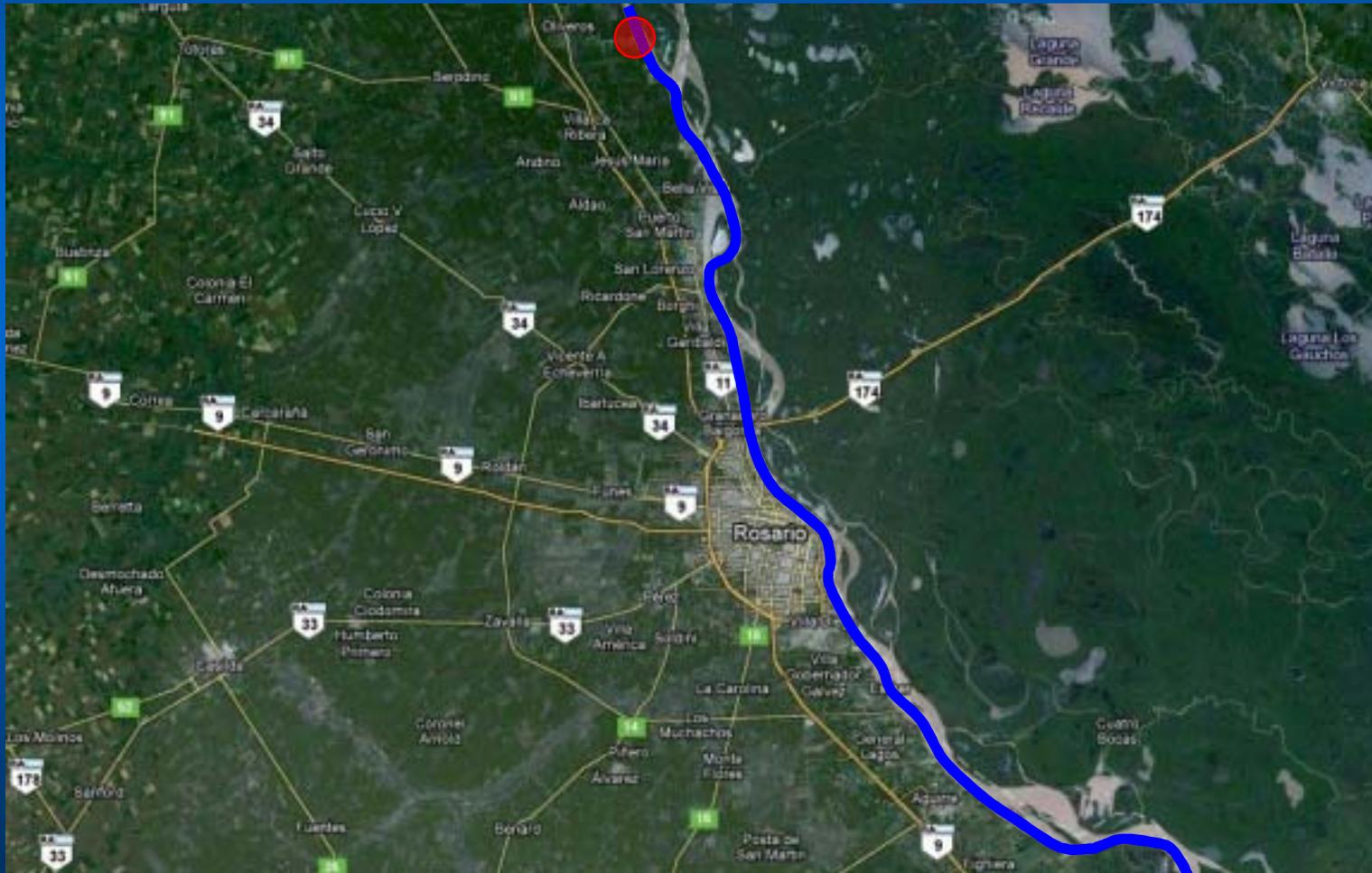
1. Localización geográfica
2. Características del diseño
3. Energía desarrollada durante el atraque
 - 3.1. En condición de atraque “NORMAL”
 - 3.2. En condición de atraque “EXCEPCIONAL”
4. Selección del sistema de defensa
5. Diseño y verificación de las estructuras
 - 5.1. En condición de atraque “NORMAL”
 - 5.2. En condición de atraque “EXCEPCIONAL”
6. Comentarios finales

1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

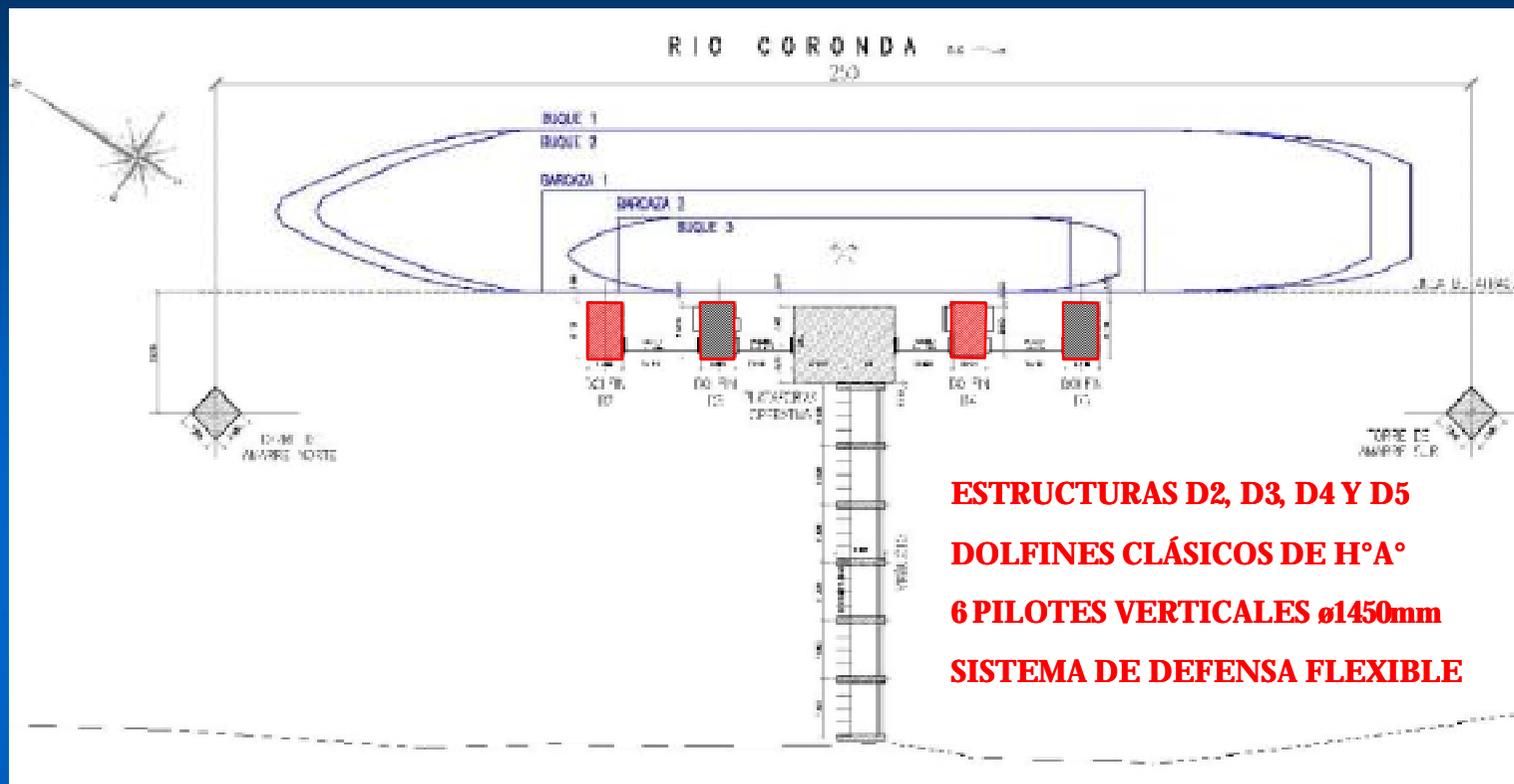
Muelle de Combustibles perteneciente a central termoeléctrica.

Río Coronda Km 465, margen derecha, Timbúes, provincia de Santa Fe.

17 Km al norte de Puerto General San Martín y de 40 Km al norte de la ciudad de Rosario.



2. CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO



Embarcación	Eslora (m)	Manga (m)	Calado operativo (m)	Desplazamiento operativo (ton)	Contacto dolfin
Buque 1	226.0	32.1	7.52	42.000	D2 ó D5
Buque 2	210.0	32.2	7.55	39.300	D2 ó D5
Buque 3	110.0	15.0	7.00	8.000	D3 ó D4
Barcaza 1	120.0	20.0	6.12	14.700	D3 ó D4
Barcaza 2	90.0	16.5	3.05	4.200	D3 ó D4

3. ENERGIA DESARROLLADA DURANTE EL ATRAQUE

3.1. Energía de ataque en condición de operación “NORMAL” (En)

Se determina a partir de expresiones que permiten cuantificar la energía cinética desarrollada durante el ataque, con incorporación de coeficientes que contemplan las condiciones particulares de la maniobra:

$$En = \frac{1}{2} \frac{\delta}{g} v^n^2 cm^2 ce^2 cg^2 cf^2 cr$$

Embarcación	Eslora (m)	Contacto dolfines (m)	Energía “normal” (En) (tm)
Buque 1	226.0	D2 ó D5	118.0
Buque 2	210.0	D2 ó D5	110.4
Buque 3	110.0	D3 ó D4	29.5
Barcaza 1	120.0	D3 ó D4	52.7
Barcaza 2	90.0	D3 ó D4	13.0

3. ENERGIA DESARROLLADA DURANTE EL ATRAQUE

3.2. Energía de atraque en condición de operación “EXCEPCIONAL” (Ee)

Situación de atraque contemplada por recomendaciones actuales de aplicación reconocida.

Se determina a partir de un factor de mayoración “*f*” que se aplica sobre la energía de atraque en condición de operación “normal”:

$$Ee = 1 f^2 En$$

Embarcación	Eslora (m)	Contacto dolfines (m)	Energía “normal” (<i>En</i>) (tm)	Factor utilizado	Energía “excepcional” (<i>Ee</i>) (tm)
Buque 1	226.0	D2 ó D5	118.0	1.25	147.5
Buque 2	210.0	D2 ó D5	110.4	1.25	138.0
Buque 3	110.0	D3 ó D4	29.5	1.75	51.6
Barcaza 1	120.0	D3 ó D4	52.7	1.75	92.2
Barcaza 2	90.0	D3 ó D4	13.0	1.75	22.8

Table R 60-1. Additional factors for exceptional berthing manoeuvres

Type of vessel	Size of vessel	Additional factor
Tanker, bulk cargo	large	1.25
	small	1.75
Container	large	1.5
	small	2.0
General cargo		1.75
Ro/Ro, ferry		≥ 2.0
Tug, workboat		2.0

(Ref: EAU 2004)

3. ENERGIA DESARROLLADA DURANTE EL ATRAQUE

Energía de ataque en condición de operación “NORMAL”

En 1 118.0tm

Energía de ataque en condición de operación “EXCEPCIONAL”

Ee 1 147.5tm

4. SELECCION DEL SISTEMA DE DEFENSA

Características de la defensa:

Denominación comercial

: Defensa “celular” tipo SC 1600

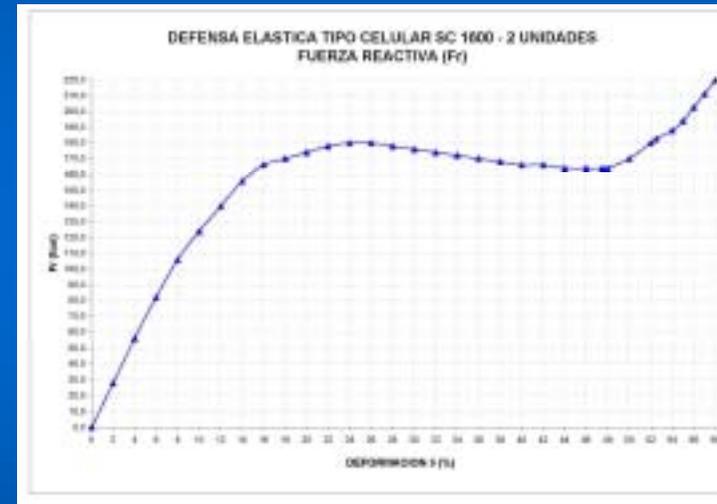
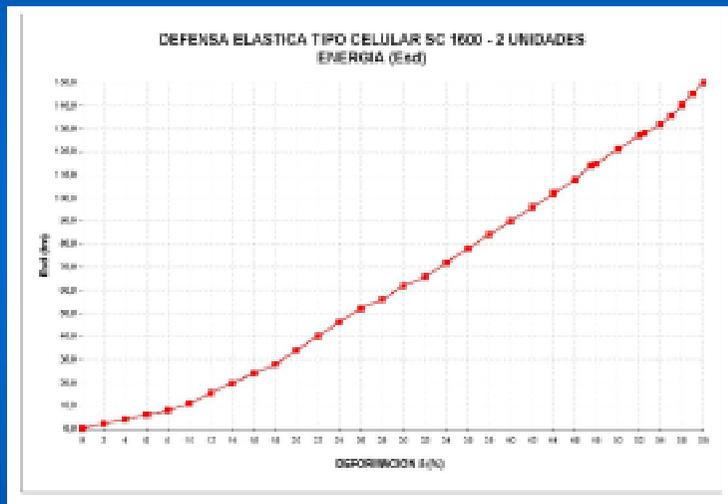
Altura de la defensa

: $h = 1600\text{mm}$

Cantidad de defensas por delfin de H°A°

: 2 unidades

Características de desempeño:



Deformación δ (%)	Energía absorbida Esd (tm)	Fuerza reactiva Fr (ton)
52.5	128.2	182.6
55	135.8	194.0
58	150.0	220.0

5. DISEÑO Y VERIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS

A partir de los valores característicos de desempeño del sistema de defensa seleccionado, se avanza con el procedimiento de diseño y verificación de la estructura independiente “dolphin” desde los puntos de vista energético y estructural, teniendo en cuenta las siguientes pautas:

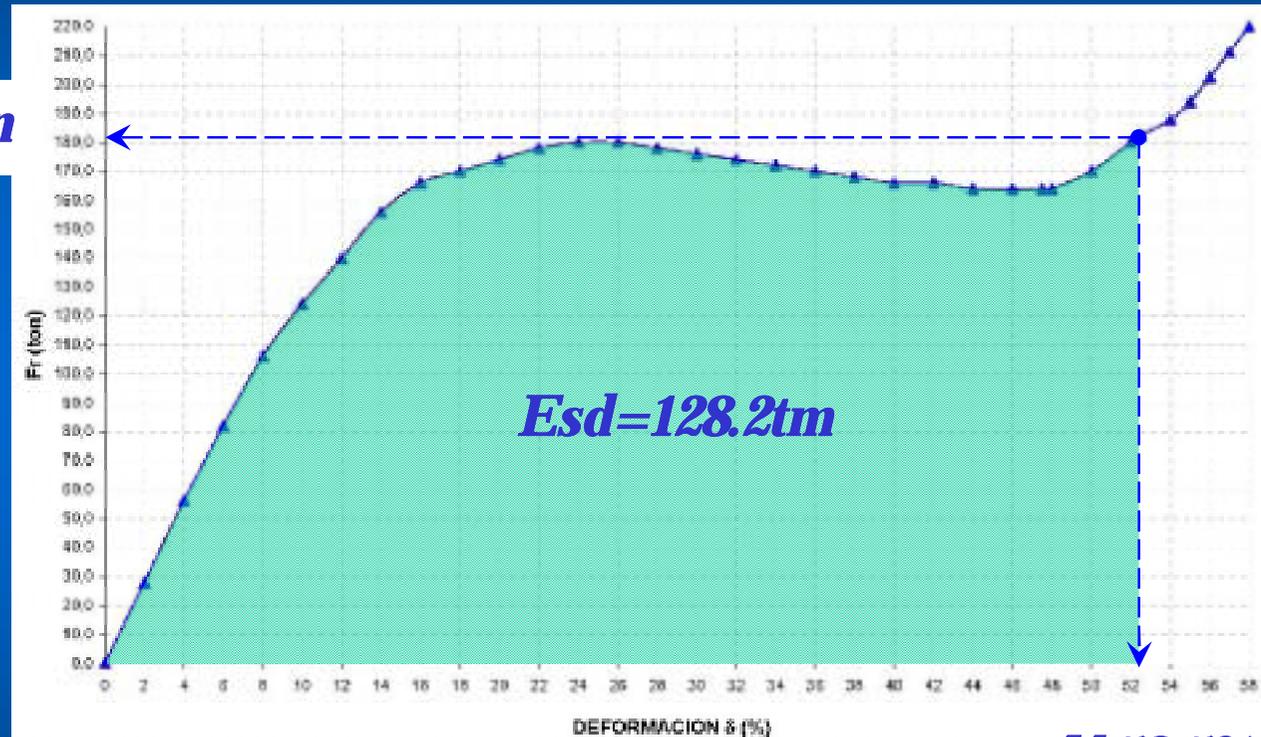
- 5.1.** Diseño de la estructura a efectos de resistir, con un coeficiente de seguridad determinado, todas las acciones derivadas del ataque en condiciones “NORMALES” de operación.

- 5.2.** Verificación de la estructura, con un coeficiente de seguridad aceptable, frente a todas las acciones de derivadas del ataque en condiciones “EXCEPCIONALES” de operación.

5.1. DISEÑO PARA ATRAQUE “NORMAL”

Verificación energética

$Fr=182.6\text{ton}$



$\delta=52.5\%$

$Esd=128.2\text{tm} - 28.0\text{tm} = En$

1 VERIFICA

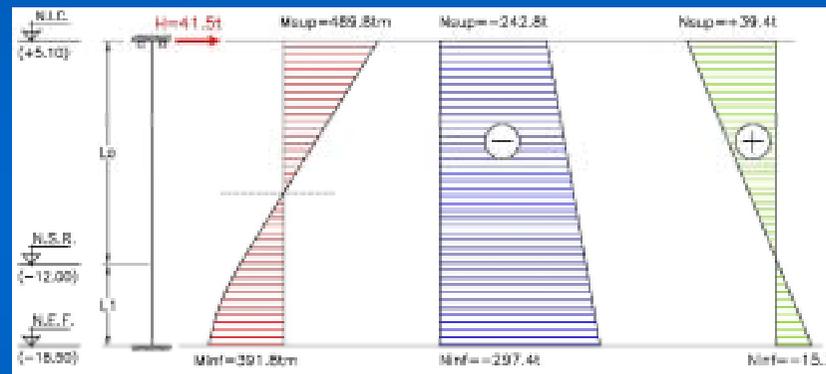
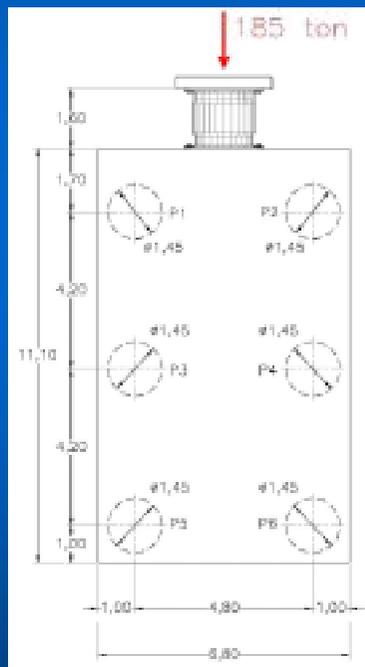
5.1. DISEÑO PARA ATRAQUE “NORMAL”

Diseño estructural

Resolución de la estructura “dolphin” para la fuerza reactiva total $Fr = 185 \text{ ton}$.

Se obtienen solicitaciones “características” para sección superior e inferior del pilote más cargado.

Se alcanza un diseño con un coeficiente de seguridad determinado ($b = 1.75$).



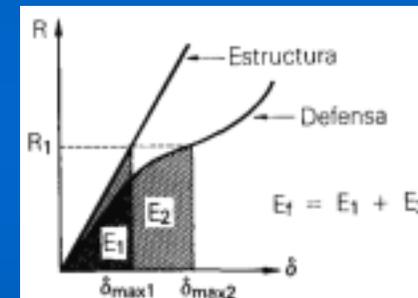
Solicitación	Sección	N (t)	M (tm)	M'' = M+N α (ek+f) (tm)	Armadura adoptada	Coficiente de seguridad b
Flexo Compresión	Superior	- 242.8	489.8	599.1	100 \varnothing 25	1.75
	Inferior	- 297.4	391.8	---	70 \varnothing 25	1.75
Flexo Tracción	Superior	+ 39.4	489.8	---	100 \varnothing 25	1.75
	Inferior	- 15.2	391.8	---	70 \varnothing 25	1.75

5.2. VERIFICACIÓN PARA ATRAQUE “EXCEPCIONAL”

Dentro de las varias opciones que se tienen para la verificación de las estructuras en condiciones de ataque “EXCEPCIONAL” se adoptan 2 planteos para el caso de aplicación que se presenta:

5.2.1. PLANTEO 1: la totalidad de la energía desarrollada en condición de ataque “excepcional” (E_e) es equilibrada por deformaciones compatibles de la estructura (E_{estr}) y del sistema de defensa (E_{sd}), esto es:

$$E_{estr} \ddot{=} E_{sd} \ddot{=} E_e$$



(Ref: ROM 0.2-90)

5.2.2. PLANTEO 2 : la totalidad de la energía desarrollada en condición de ataque “excepcional” (E_e) es equilibrada únicamente por el sistema de defensa (E_{sd}) con mayor fuerza reactiva sobre la estructura, esto es:

$$E_{sd} \ddot{=} E_e$$

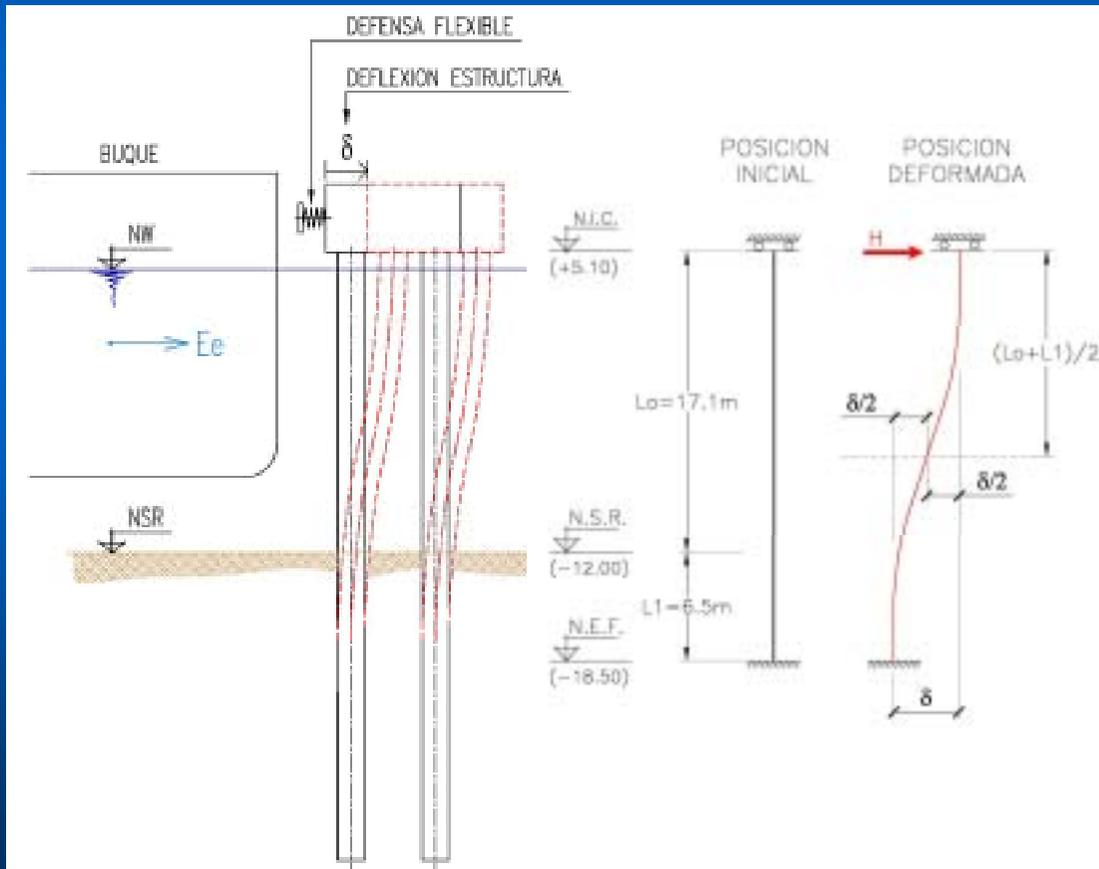
5.2.1. ATRAQUE “EXCEPCIONAL” - PLANTEO 1

Verificación energética

Resolución de la estructura “dolphin” para la fuerza reactiva total $Fr = 194 \text{ ton}$.

Se aproximan resultados de deformación de pilotes a partir de un funcionamiento tipo “lineal”.

Se determina capacidad de absorción de energía por propia deformación de la estructura.



$$X_1 = \frac{H^2 \frac{L_0 \sum L_1^3}{2}}{3^2 E^2 J}$$

$$X_1 = \frac{39 \text{ ton}^2 \frac{17.10 \text{ m} \sum 6.50 \text{ m}^3}{2}}{1.302.000 \text{ tm}^2}$$

$$\lambda = 0.10 \text{ m}$$

$$E_p = \frac{1}{2} H^2 X$$

$$E_p = \frac{1}{2} 39 \text{ ton}^2 0.10 \text{ m}$$

$$E_p = 1.95 \text{ tm}$$

$$E_{estr} = N^2 E_p$$

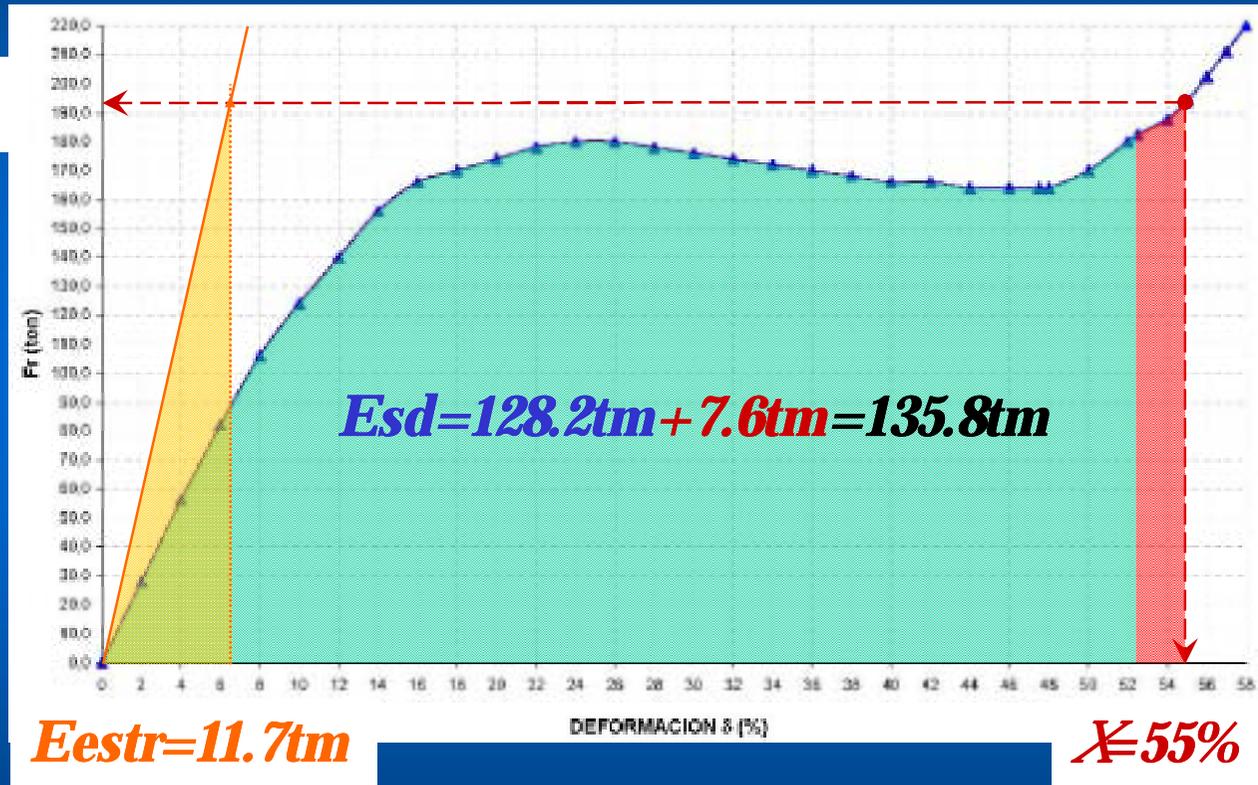
$$E_{estr} = 6^2 1.95 \text{ tm}$$

$$E_{estr} = 11.7 \text{ tm}$$

5.2.1. ATRAQUE "EXCEPCIONAL" - PLANTEO 1

Verificación energética

$Fr=194\text{ton}$



$$E_{estr} + E_{sd} = 11.7\text{tm} + 135.8\text{tm} = 147.5\text{tm} \quad - \quad \frac{147.5}{194} \times 100 = 76\% + \text{")tm} = E_e$$

1 VERIFICA

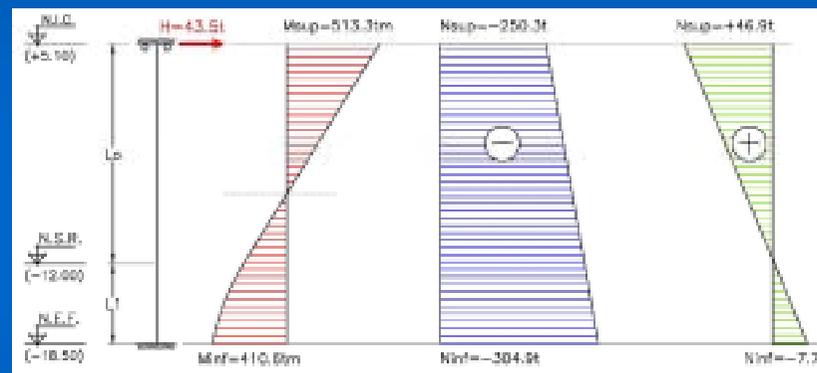
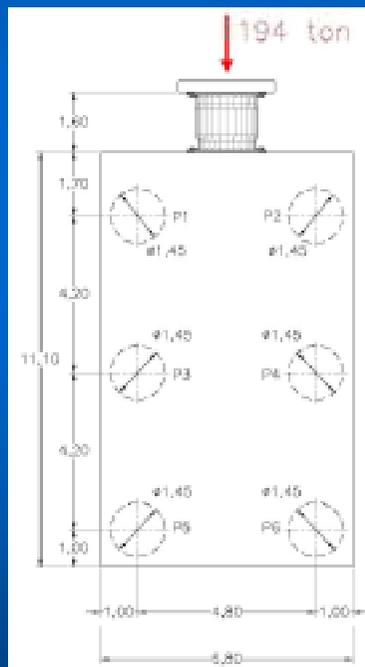
5.2.1. ATRAQUE “EXCEPCIONAL” - PLANTEO 1

Verificación estructural

Resolución de la estructura “dolphin” para la fuerza reactiva total $Fr = 194 \text{ ton}$.

Se obtienen solicitaciones “características” para sección superior e inferior del pilote más cargado.

Se alcanza una verificación con un coeficiente de seguridad aceptable ($b = 1.70$).

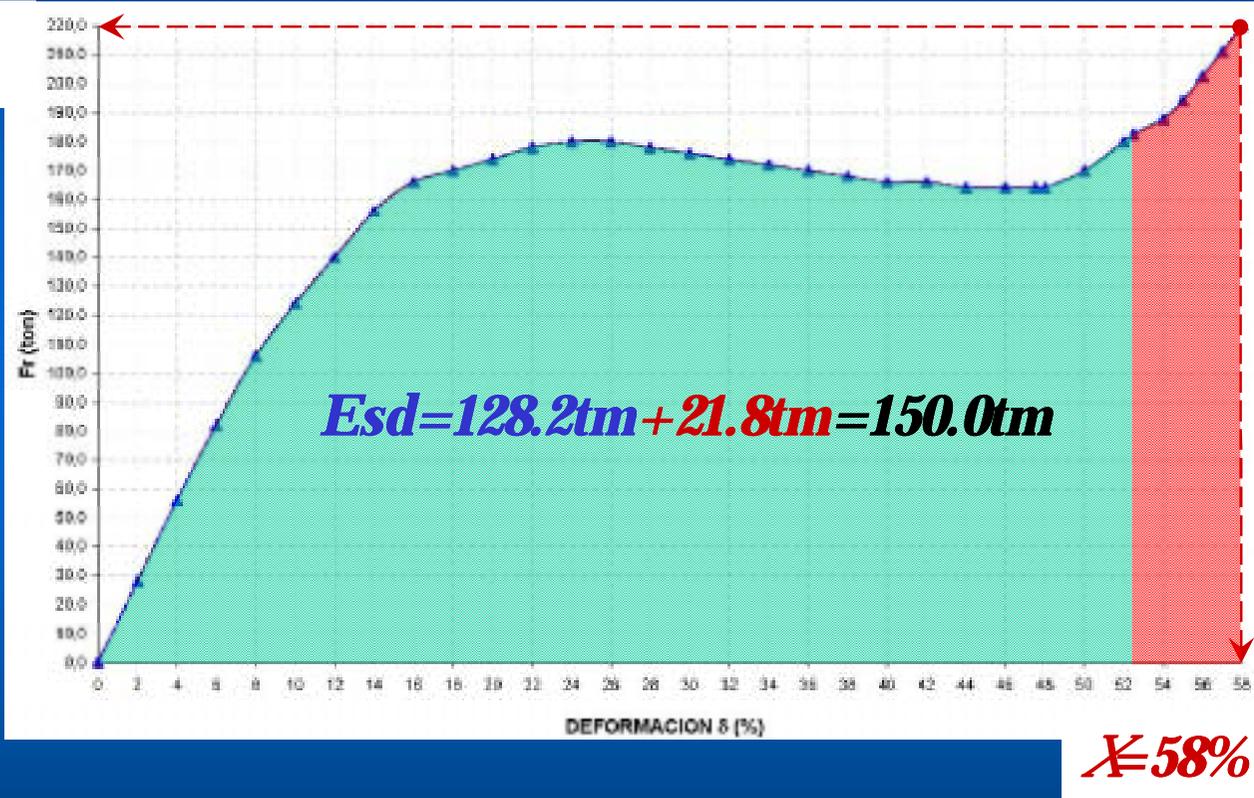


Solicitación	Sección	N (t)	M (tm)	M'' = M+N α (ek+f) (tm)	Coficiente de seguridad b
Flexo Compresión	Superior	- 250.3	513.3	625.9	1.70
	Inferior	-304.9	410.6	---	1.70
Flexo Tracción	Superior	+ 46.9	513.3	---	1.70
	Inferior	- 7.7	410.6	---	1.70

5.2.2. ATRAQUE “EXCEPCIONAL” - PLANTEO 2

Verificación energética

Fr=220ton



$$Esd=150.0tm - \frac{1}{6} + .5tm = Ee$$

1 VERIFICA

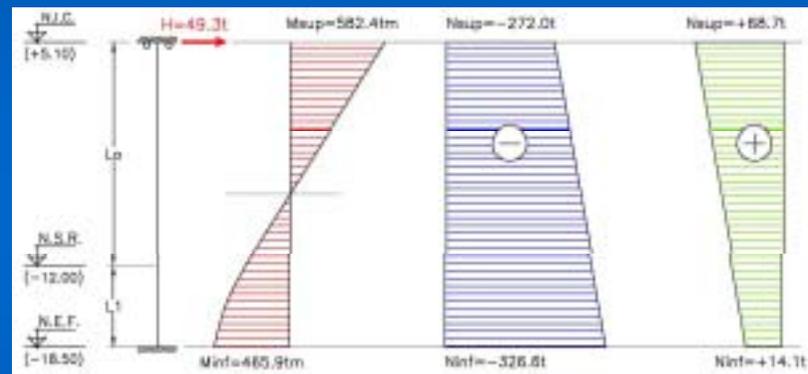
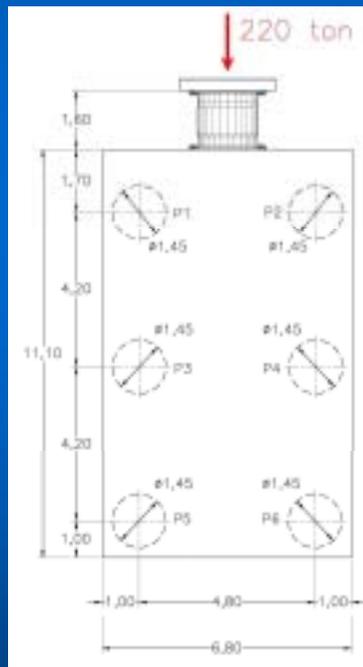
5.2.2. ATRAQUE “EXCEPCIONAL” - PLANTEO 2

Verificación estructural

Determinación de solicitaciones “características” (N ; M)

Resolución de la estructura “dolphin” para la fuerza reactiva total $Fr = 220 \text{ ton}$.

Se obtiene solicitaciones “características” para sección superior e inferior del pilote más cargado.



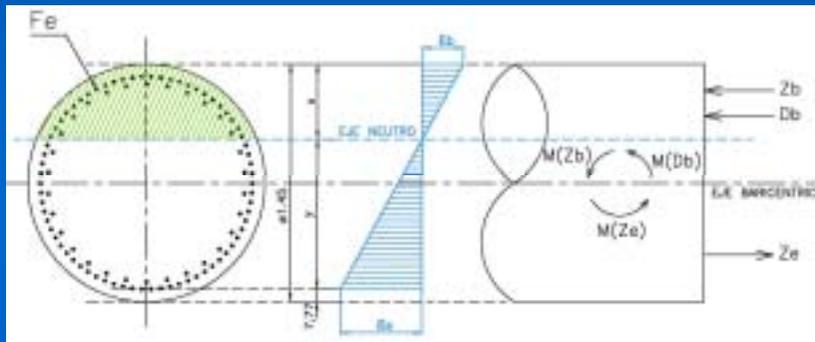
Solicitación	Sección	N (t)	M (tm)	$M'' = M + N^2(ek+f)$ (tm)
Flexo Compresión	Superior	- 272.0	582.4	704.4
	Inferior	-326.6	465.9	---
Flexo Tracción	Superior	+ 68.7	582.4	---
	Inferior	- 14.1	465.9	---

5.2.2. ATRAQUE “EXCEPCIONAL” - PLANTEO 2

Verificación estructural

Determinación de solicitaciones “últimas” (Nu ; Mu)

Planteo de planos “últimos” de deformación en sección superior e inferior del pilote mas cargado. Se obtienen valores de solicitaciones “ultimas” integrando las tensiones actuantes en cada material a partir de los planos “últimos” de deformación planteados.



$$Nu = Zb + Db$$

$$Mu = M(Ze) + M(Zb) + M(Db)$$

Solicitación	Sección	Diámetro (m)	Fe	Hormigón	Acero	Planos últimos		Solicitaciones últimas	
				H-21 Vr (kg/cm ²)	ADN-420 Vs (kg/cm ²)	Yb (‰)	Ye (‰)	Nu (t)	Mu (tm)
Flexo Compresión	Superior	1.45	100ø25	175	4200	-3.5	+5.0	- 433	1117
	Inferior	1.45	70ø25	175	4200	-3.5	+4.6	- 640	919
Flexo Tracción	Superior	1.45	100ø25	175	4200	-2.5	+5.0	+ 110	946
	Inferior	1.45	70ø25	175	4200	-2.3	+5.0	+ 22	711

5.2.2. ATAQUE “EXCEPCIONAL” - PLANTEO 2

Verificación estructural

Determinación del coeficiente de seguridad (b)

Se determina mediante la comparación de valores correspondientes a solicitaciones “últimas” (Nu ; Mu) frente a valores de solicitaciones (N ; M) calculadas para $Fr = 220 \text{ ton}$.

Se considera a los coeficientes de seguridad obtenidos como aceptables:

Solicitud	Sección	Solicitaciones “últimas”		Solicitaciones $Fr = 220 \text{ t}$		Coeficientes de seguridad	
		Nu (t)	Mu (tm)	N (t)	M (tm)	$b_N = 1 \frac{Nu}{N}$	$b_M = 1 \frac{Mu}{M}$
Flexo Compresión	Superior	-433	1117	-272.0	704.4	1.59	1.59
	Inferior	-640	919	-326.6	465.9	1.96	1.97
Flexo Tracción	Superior	+110	946	+68.7	582.4	1.60	1.62
	Inferior	+22	711	+14.1	465.9	1.56	1.53

6. COMENTARIOS FINALES

Se acompaña a continuación tabla resumen de verificaciones llevadas a cabo:

Situación a verificar	VERIFICACIÓN ENERGÉTICA					VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL		
	<i>E</i> (tm)	<i>X</i> (%)	<i>Esd</i> (tm)	<i>Eestr</i> (tm)	<i>Verificación</i> (tm)	<i>Fr</i> (ton)	<i>bseguridad</i>	Observación
Normal <i>(En)</i>	118.0	52	128.2	---	128.2 ‡ 118.0	185	1.75	Determinado
Excepcional <i>(Ee)</i>	147.5	55	135.8	11.7	147.5 ‡ 147.5	194	1.70	Aceptable
Excepcional <i>(Ee)</i>	147.5	58	150.0	---	150.0 ‡ 147.5	220	1.50 / 1.60	Aceptable

6. COMENTARIOS FINALES

Ø CASO DE APLICACIÓN PRÁCTICA:

- Terminal portuaria de combustibles líquidos - Ámbito fluvial local, Sistema de Navegación Troncal.
- Diseño y verificación de estructura de atraque tipo “dolphin” independiente.

Ø OBJETIVO - “EQUILIBRIO” ENTRE:

- Selección del sistema de defensa.
- Diseño y verificación de la estructura.
- Condiciones de atraque “normal” y “excepcional”.

Ø SELECCIÓN SISTEMA DE DEFENSAS PARA ESTE TIPO DE ESTRUCTURAS:

- Recomendaciones actuales conducen a unidades de mayor tamaño.
- Para condición de atraque “normal” se propone trabajar con menores deformaciones.
- Conservar rango de deformaciones para obtener “plus” de energía en caso de atraque “excepcional”.

Ø DEFORMACIÓN PROPIA DE LA ESTRUCTURA:

- Constituye un mecanismo de absorción de energía válido para cualquier condición de diseño.
- Para éste tipo de estructura se propone aproximar $E_{estr} \dot{A} 0.10 * E_{sd}$.

Ø DISEÑO Y VERIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA RESISTENTE:

- Atraque “normal” - diseño en “servicio” $b = 1.75$ (determinado) - aplicación reglamentaciones vigentes.
- Atraque “excepcional” - verificación de la estructura $b = 1.5 / 1.6 / 1.7$ (acceptable).

Ø REFERENCIAS DE RECOMENDACIONES ACTUALES UTILIZADAS:

- EAU (2004) Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways.
- PIANC (2002) Guidelines for the Design of Fender Systems - Report of Working Group 33.
- ROM 0.2-90 (1990) Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias.

MUCHAS GRACIAS