



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

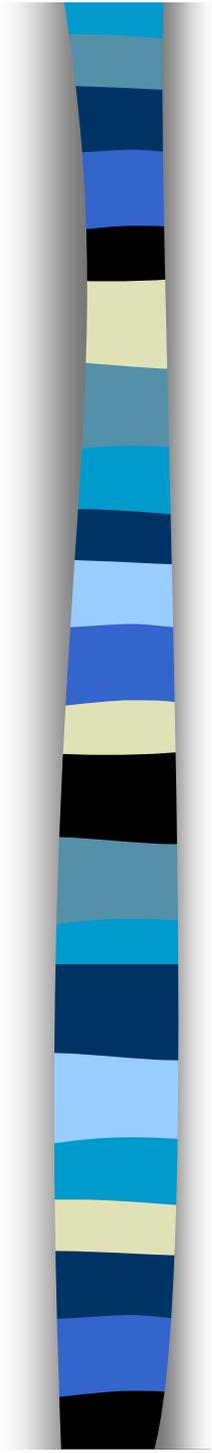
**DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y
TEORÍA ESTRUCTURAS**

**PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Análisis sismorresistente de depósitos metálicos

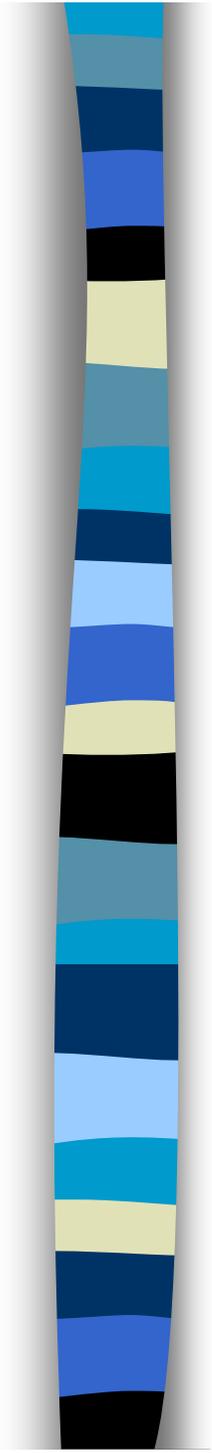
Daniel Penalba Sánchez

Tutor: Dr. D. José Luis Pérez Castellanos



ÍNDICE

- INTRODUCCIÓN
- OBJETIVOS
- ESTADO DEL ARTE
- METODOLOGÍA
- RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- TRABAJOS FUTUROS



➤ **INTRODUCCIÓN**

➤ OBJETIVOS

➤ ESTADO DEL ARTE

➤ METODOLOGÍA

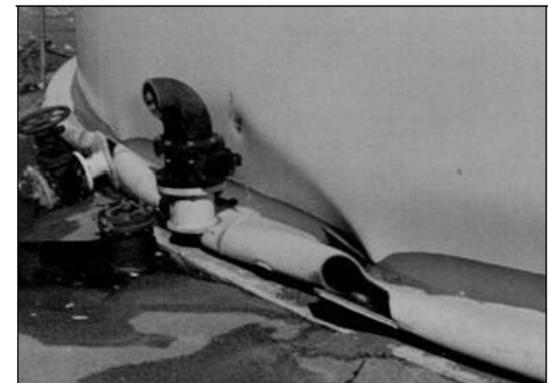
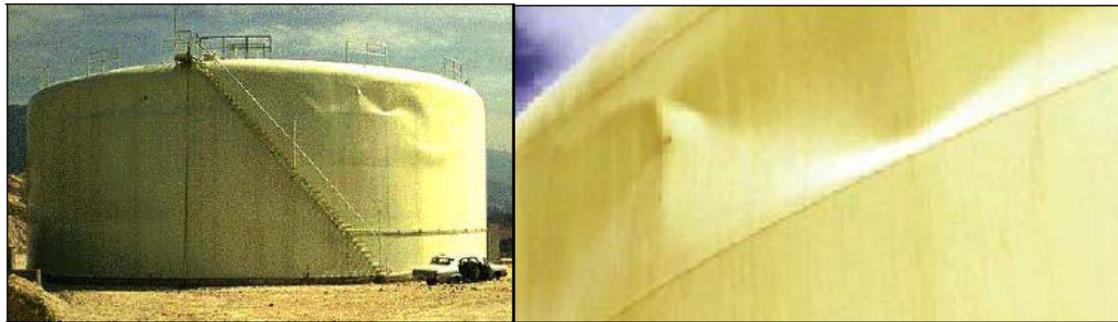
➤ RESULTADOS

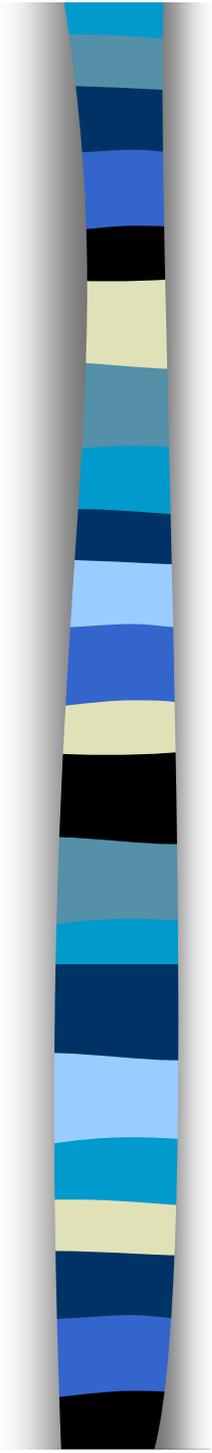
➤ CONCLUSIONES

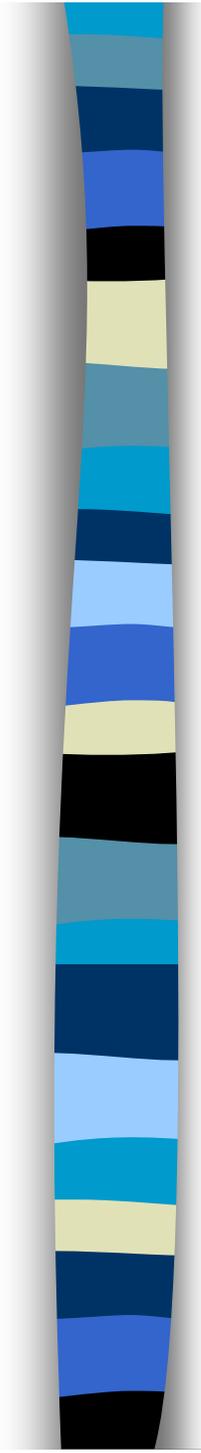
➤ TRABAJOS FUTUROS

Introducción

- Importancia de los depósitos en el abastecimiento de la población. Fallo → desastre.
- Masa de líquido → Comportamiento estructural y efecto hidrodinámico.
- Efectos de los sismos sobre los depósitos:

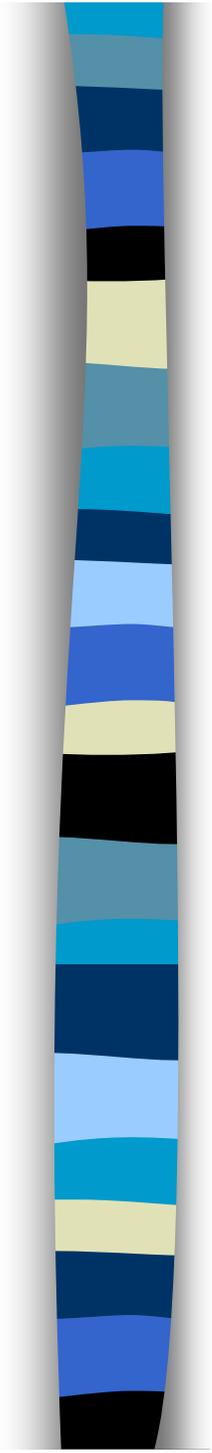


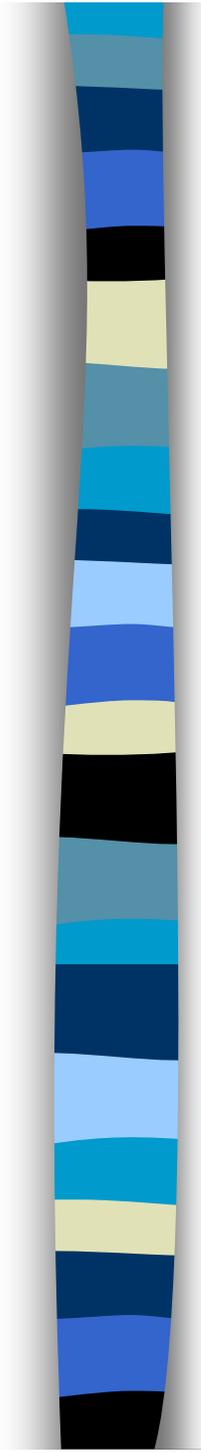
- 
- INTRODUCCIÓN
 - **OBJETIVOS**
 - ESTADO DEL ARTE
 - METODOLOGÍA
 - RESULTADOS
 - CONCLUSIONES
 - TRABAJOS FUTUROS



Objetivos

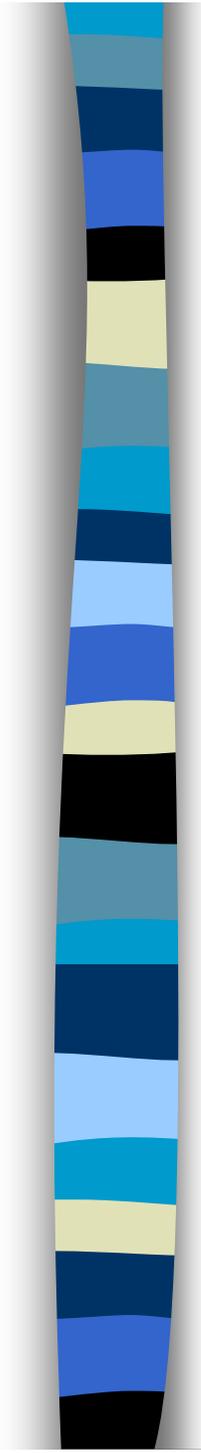
- Aplicar un modelo analítico del comportamiento hidrodinámico del fluido.
- Elaborar un modelo numérico del depósito sometido a la acción sísmica.
- Determinar la configuración óptima para un depósito apoyado sobre el terreno.
- Determinar la configuración óptima para una depósito elevado.

- 
- INTRODUCCIÓN
 - OBJETIVOS
 - **ESTADO DEL ARTE**
 - METODOLOGÍA
 - RESULTADOS
 - CONCLUSIONES
 - TRABAJOS FUTUROS



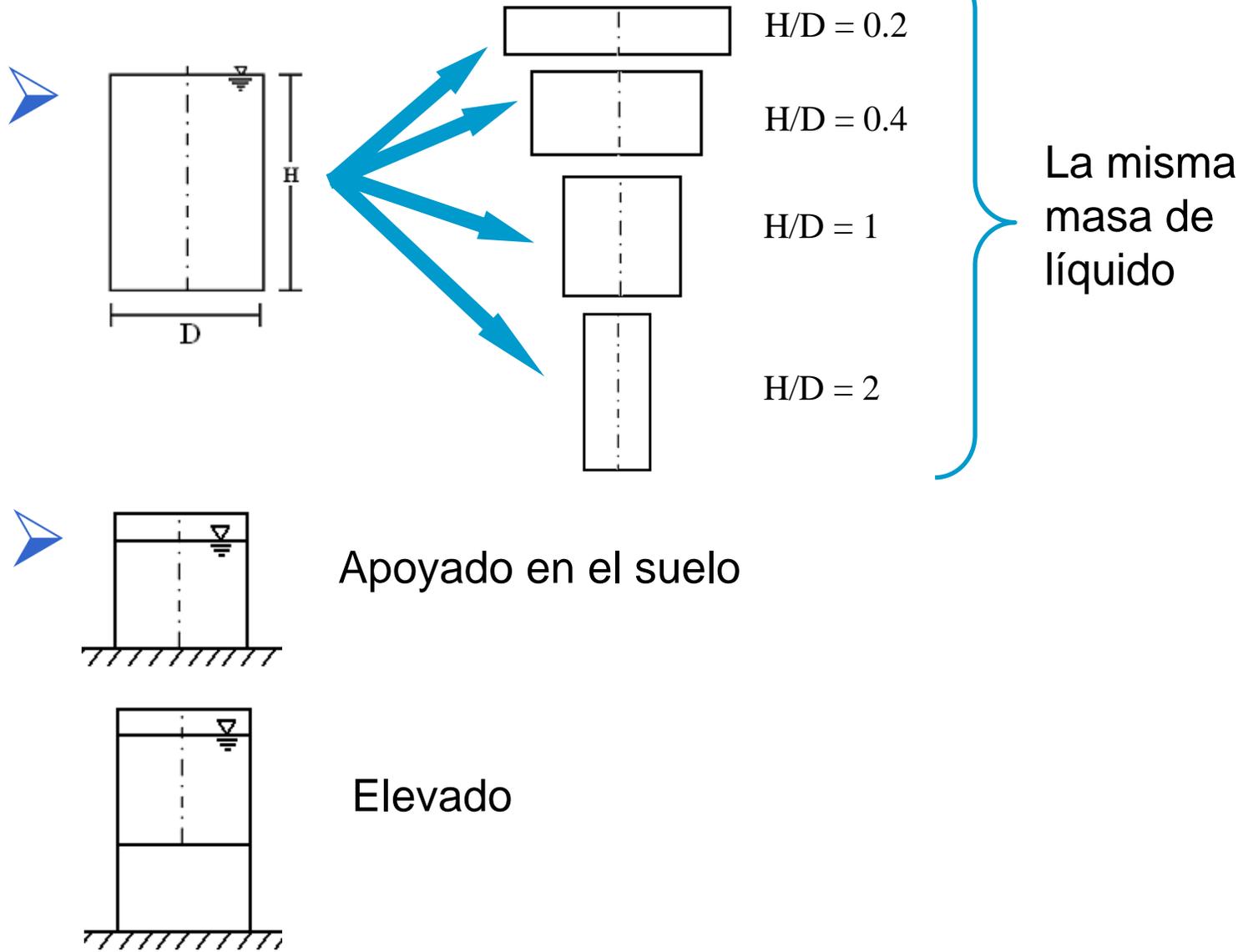
Estado del arte

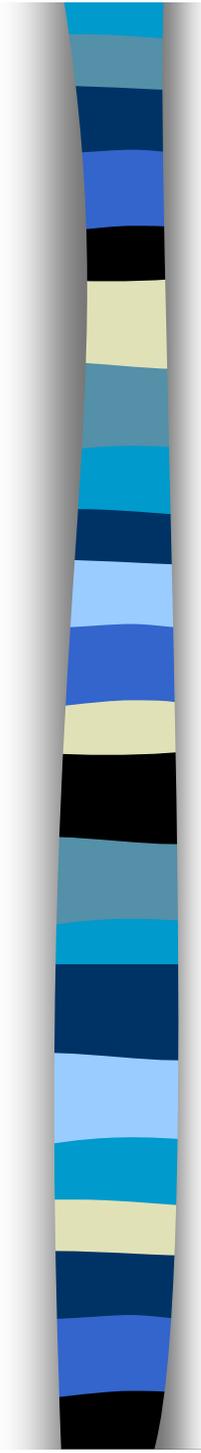
- 1948 → Arias → Analiza depósitos rectangulares y cilíndricos frente a solicitaciones horizontales.
- 1957 → Housner → Estudia las presiones dinámicas de un fluido en un depósito sometido a aceleraciones en la base.
- 1960 → Newmark → Primer trabajo sobre el factor de reducción de las fuerzas sísmicas por ductilidad.
- 1974 → Veletsos → Incorpora los efectos de la flexibilidad de los depósitos.

- 
- INTRODUCCIÓN
 - OBJETIVOS
 - ESTADO DEL ARTE
 - **METODOLOGÍA**
 - Modelo analítico
 - Modelo numérico
 - Normativa
 - RESULTADOS
 - CONCLUSIONES
 - TRABAJOS FUTUROS

Metodología

- Se analizarán:





Metodología

- Modelo analítico

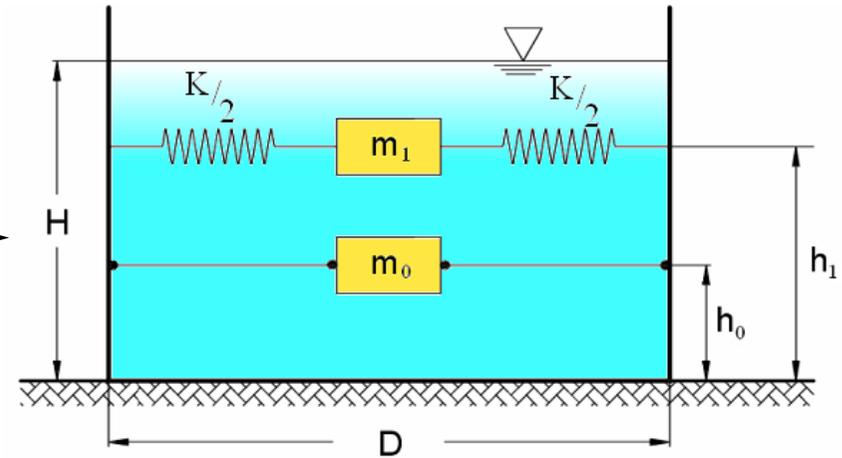
Modelo Housner

Hipótesis del modelo:

- Líquido incompresible, irrotacional, sin viscosidad e inicialmente en reposo.
- Líquido siempre en contacto con las paredes del depósito.
- La estructura del depósito es rígida.
- Considera solo movimientos horizontales del terreno.

Metodología

- Modelo analítico

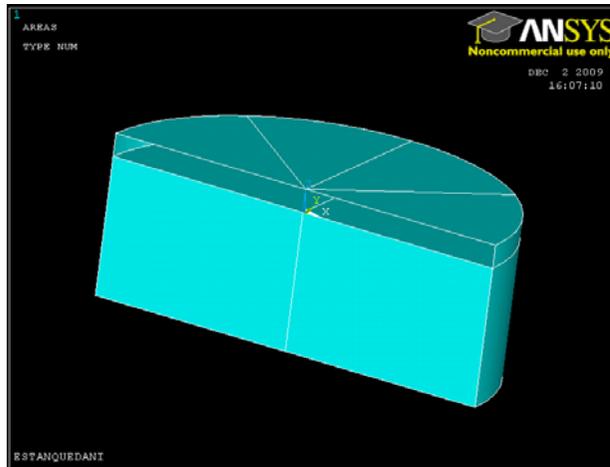


- M_0 → Masa del líquido que se mueve rígidamente con el depósito.
- M_1 → Masa del líquido que representa la acción oscilatoria del fluido.

Metodología

- Modelo numérico

➤ Software de elementos finitos →



Depósito → SHELL 63

Vigas → BEAM 4

Fluido → FLUID 3D
CONTAINED80

2298 elementos

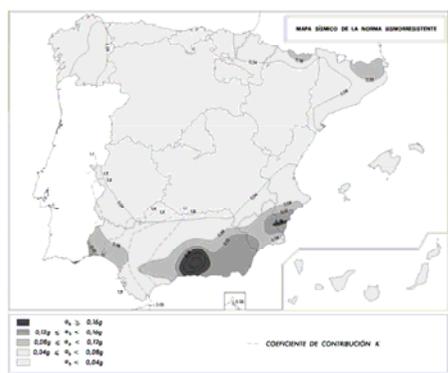
- Análisis modal → frecuencias

- Análisis espectral → aceleraciones y esfuerzos

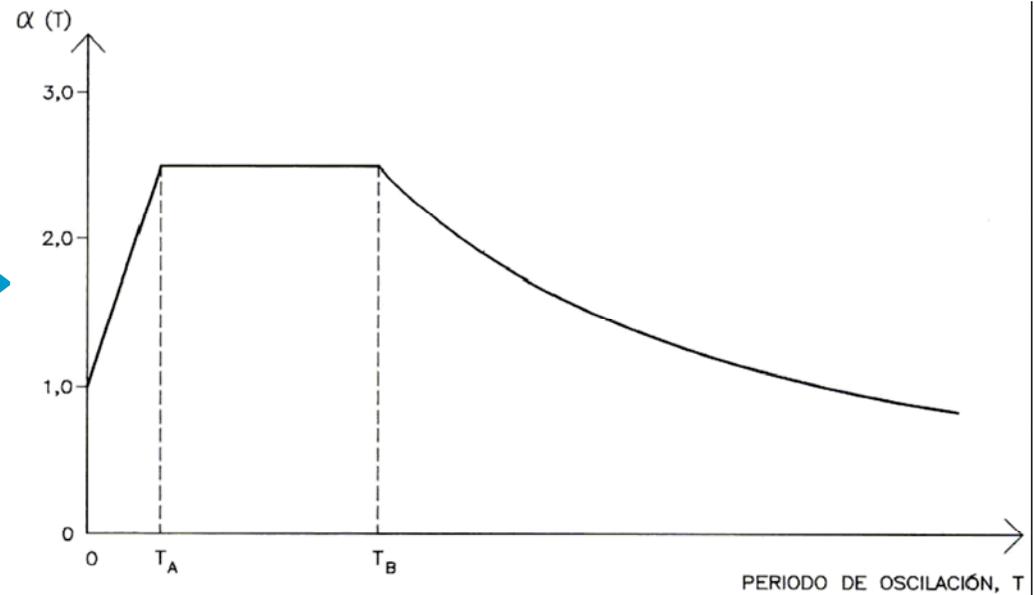
Metodología

- Normativa

- NSCR-02: Norma sismorresistente española.

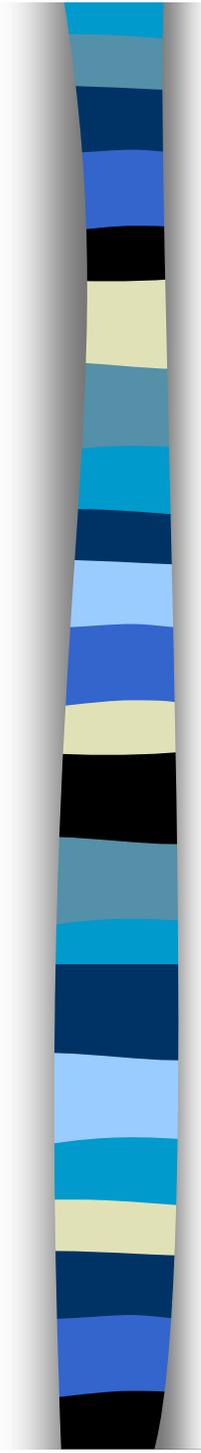


Mapa de riesgo sísmico



Espectro de diseño

- API-650: Norma para el diseño y fabricación de depósitos metálicos.



➤ INTRODUCCIÓN

➤ OBJETIVOS

➤ ESTADO DEL ARTE

➤ METODOLOGÍA

➤ **RESULTADOS**

- Espectro de respuesta

- Depósito apoyado

- Depósito elevado

➤ CONCLUSIONES

➤ TRABAJOS FUTUROS

Depósito apoyado

- Espectro de respuesta

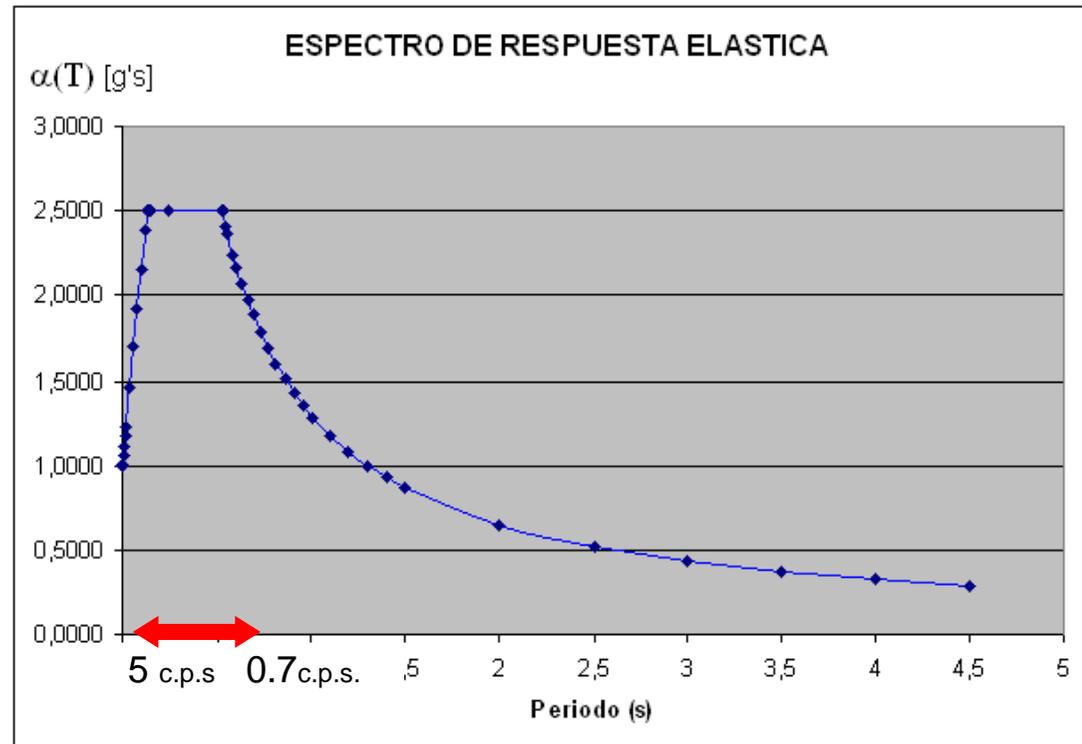
➤ Localización ➡ Madrid

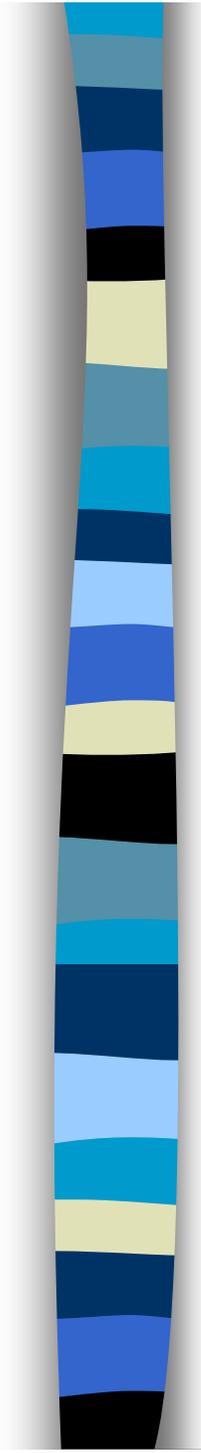
➤ Terreno ➡ Tipo II (Granular denso)

➤ Mapa de riesgo sísmico

➤ Aceleración sísmica de cálculo.

$$a_c = S * \rho * a_b$$
$$a_c = 0.408 \text{ m/s}^2$$





➤ INTRODUCCIÓN

➤ OBJETIVOS

➤ ESTADO DEL ARTE

➤ METODOLOGÍA

➤ **RESULTADOS**

- Espectro de respuesta

- **Depósito apoyado**

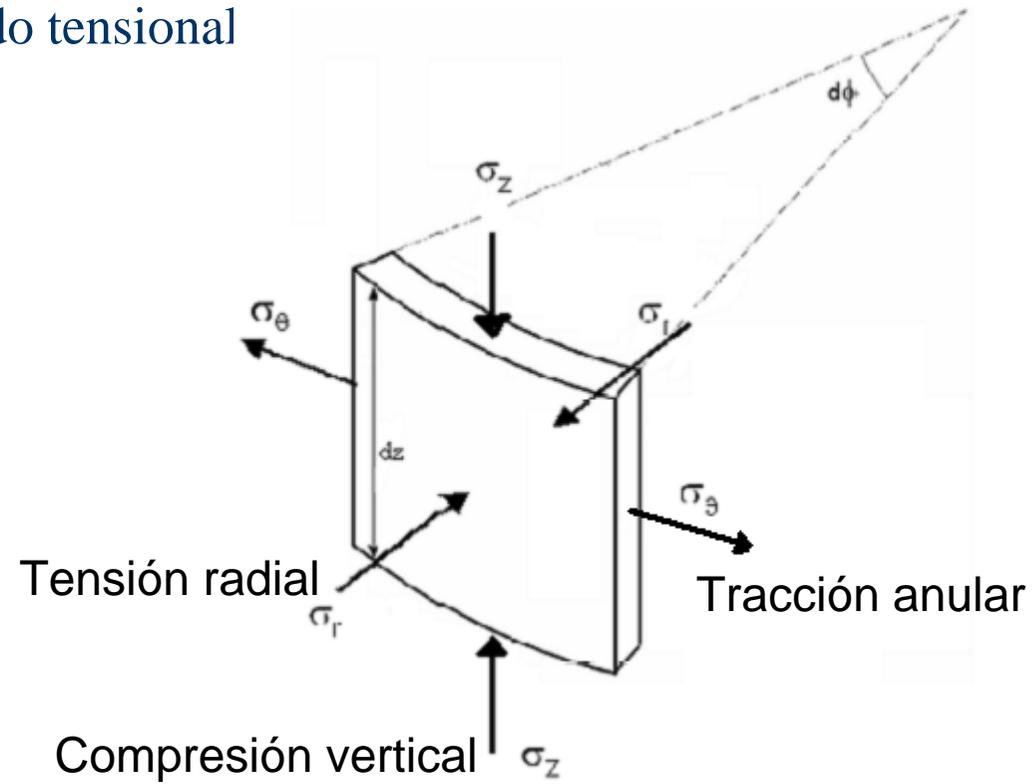
- Depósito elevado

➤ CONCLUSIONES

➤ TRABAJOS FUTUROS

Parámetros analizados

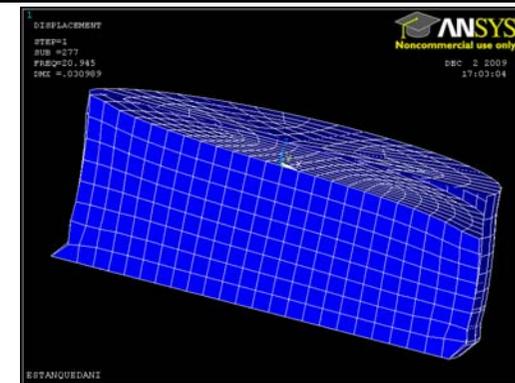
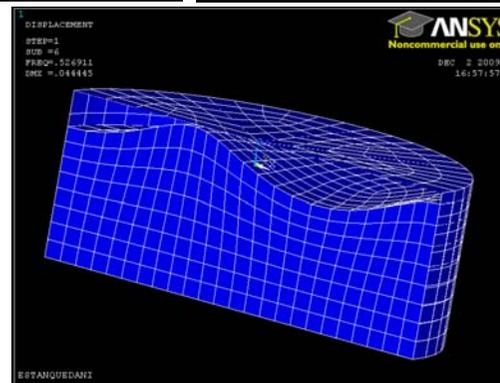
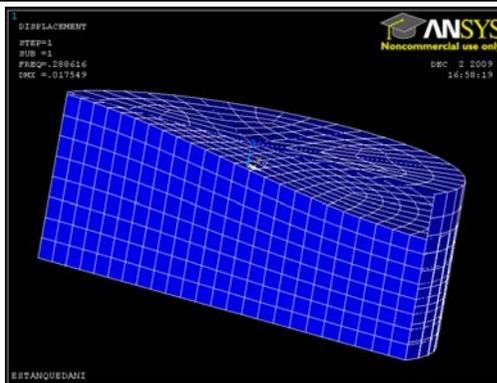
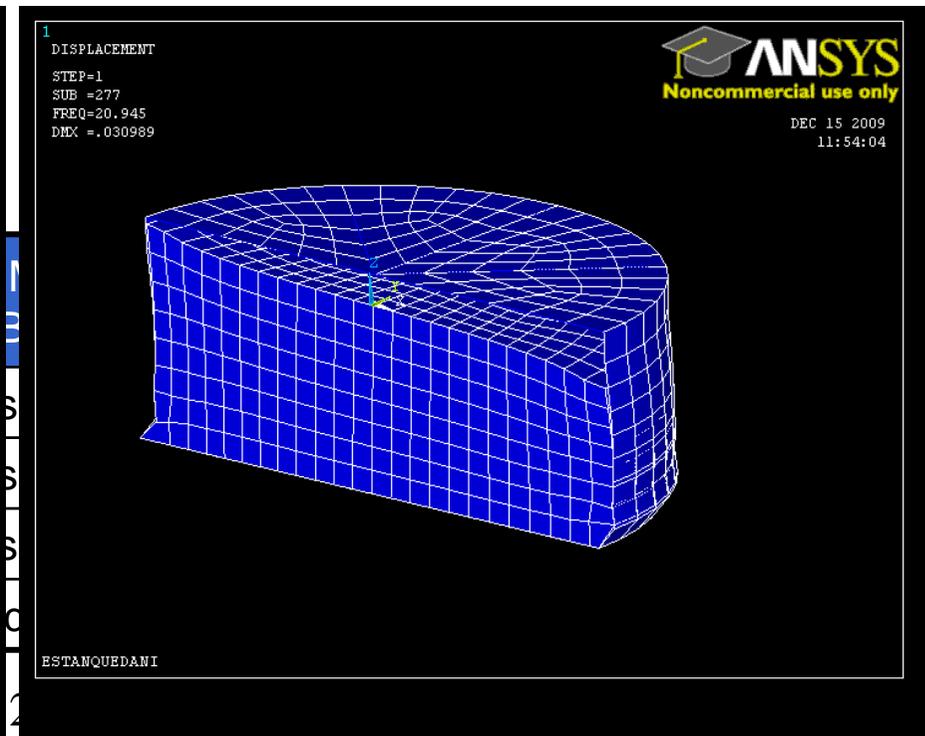
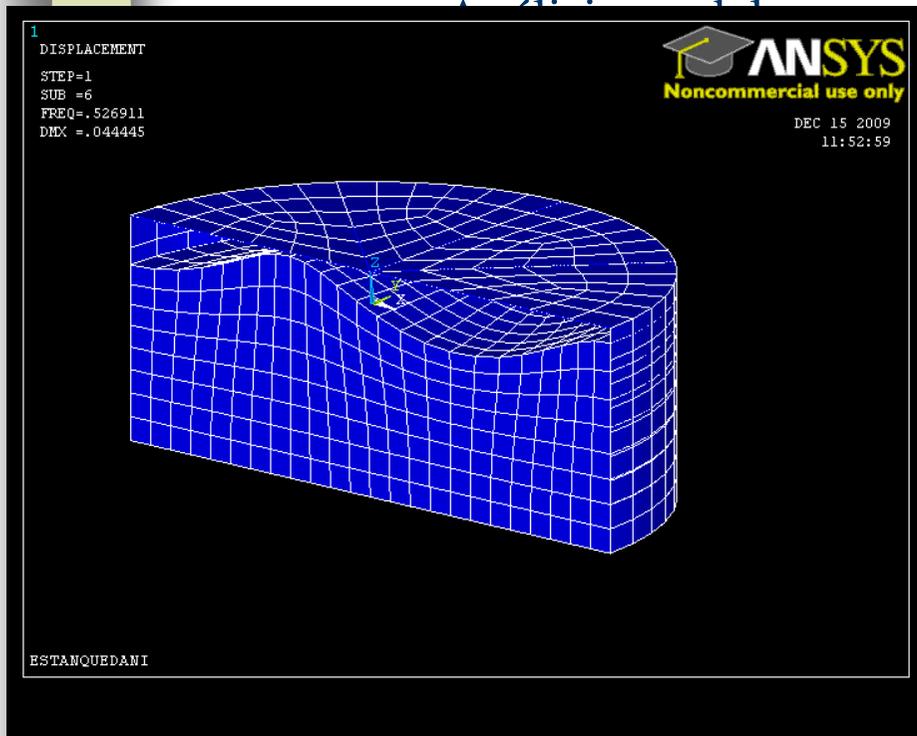
- Frecuencias
- Estado tensional



- Vuelco

Depósito apoyado

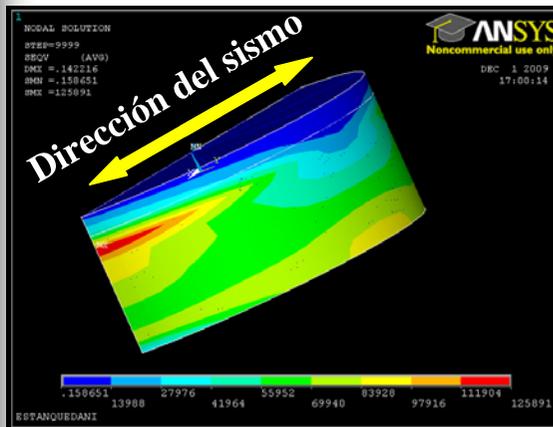
- Depósito relación $H/D = 0.4$



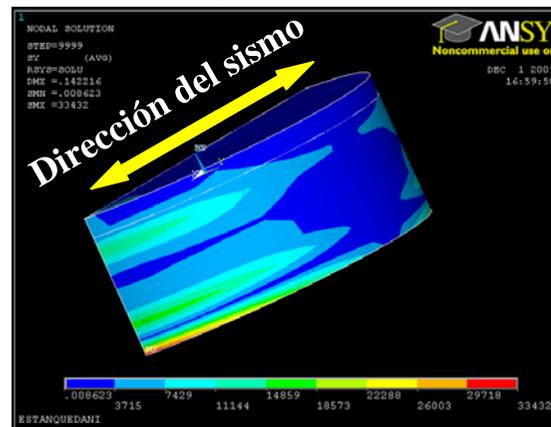
Depósito apoyado

- Depósito relación $H/D = 0.4$
- Análisis espectral

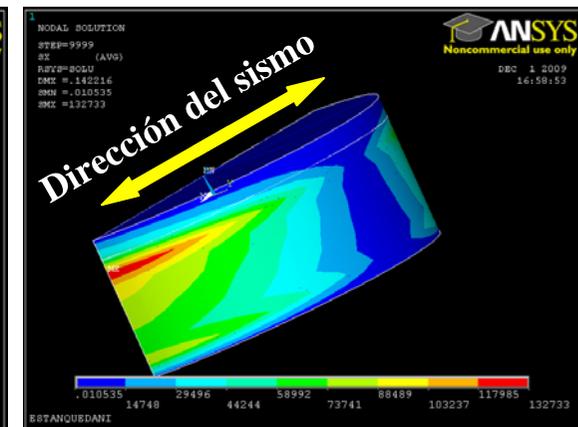
Tensión de Von Mises



Compresión Vertical



Tracción Anular



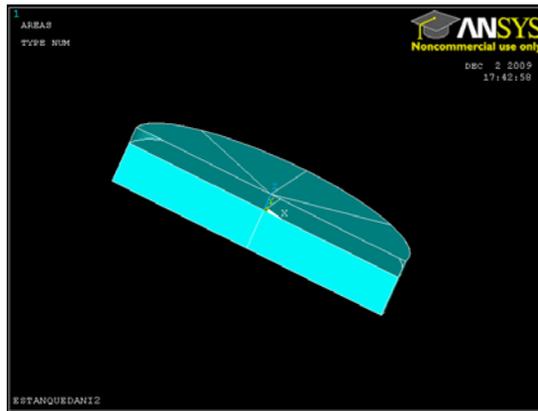
MÉTODO	CORTE BASAL (Kg)	MOMENTO DE VUELCO (Kg*m)	COMPRESIÓN VERTICAL (MPa)
ANSYS	930.2	1382	0.33
API-650	1049.94	1325.2	0.37

Modelo numérico

Norma

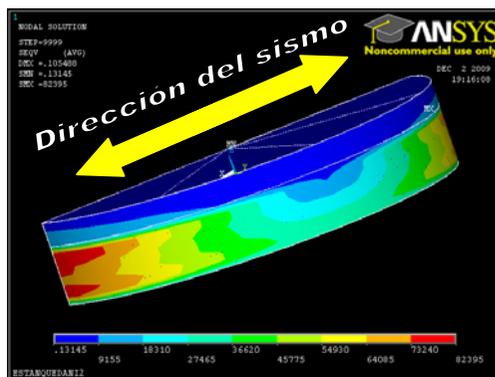
Depósito apoyado

- Depósito relación $H/D = 0.2$
- Modelo numérico

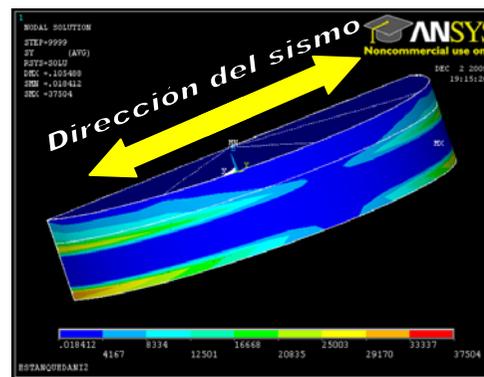


MODO VIBRACIÓN	FREC. (c.p.s) ANSYS
1 (solo fluido)	0.190
2 (solo fluido)	0.439
3 (fluido+depósito)	23.256

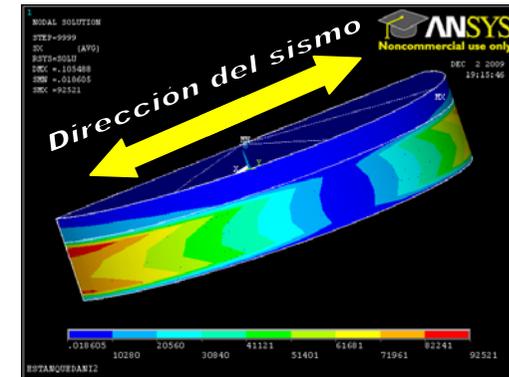
Tensión de Von Mises



Compresión Vertical

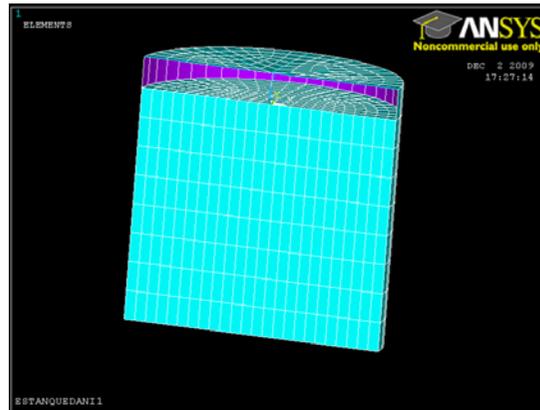


Tracción Anular



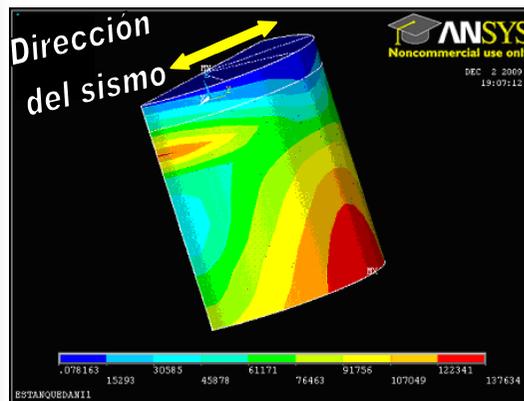
Depósito apoyado

- Depósito relación $H/D = 1$
- Modelo numérico

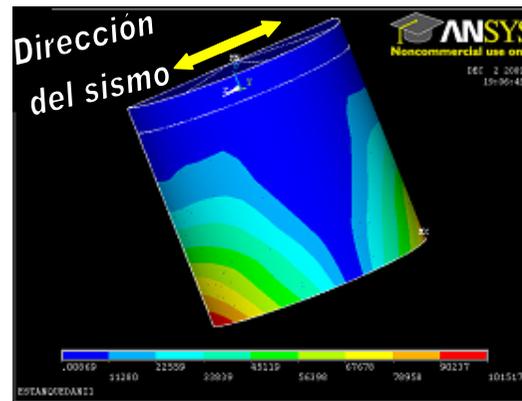


MODO VIBRACIÓN	FREC. (c.p.s) ANSYS
1 (solo fluido)	0.365
2 (solo fluido)	0.568
3 (fluido+depósito)	16.393

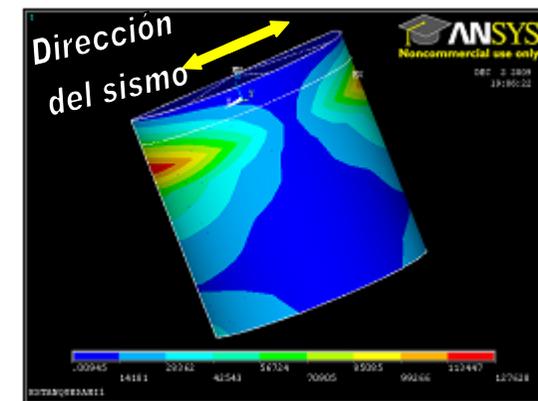
Tensión de Von Mises



Compresión Vertical

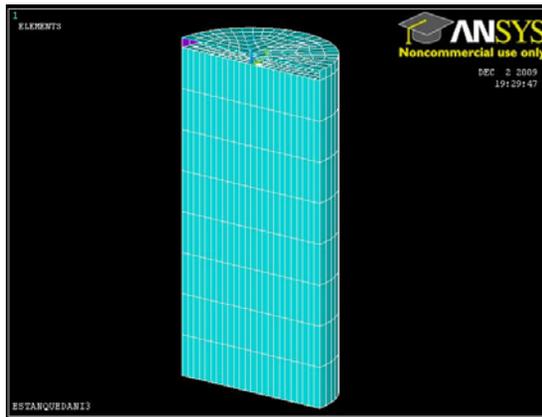


Tracción Anular



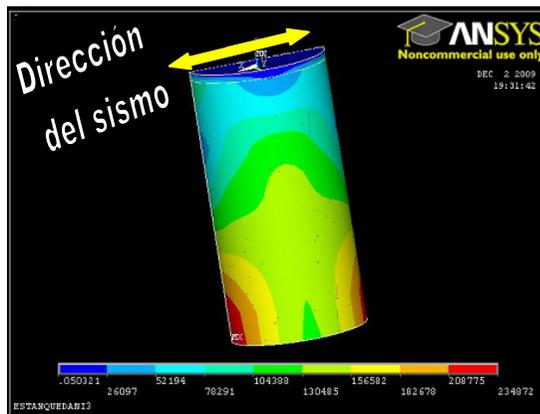
Depósito apoyado

- Depósito relación $H/D = 2$
- Modelo numérico

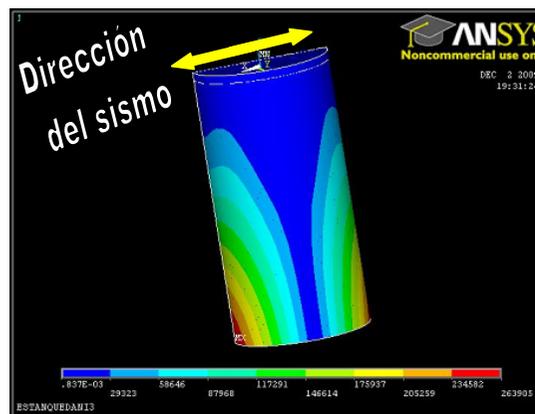


MODO VIBRACIÓN	FREC. (c.p.s) ANSYS
1 (solo fluido)	0.394
2 (solo fluido)	0.526
3 (fluido+depósito)	24.39

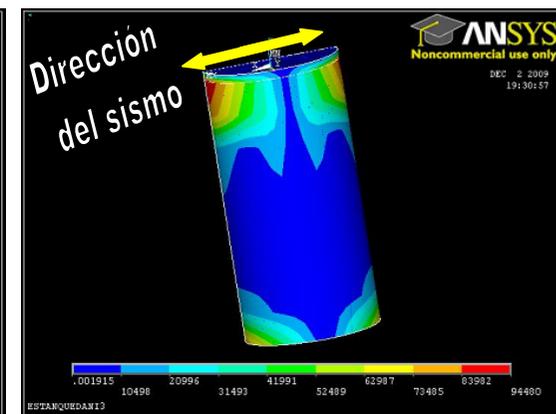
Tensión de Von Mises



Compresión Vertical

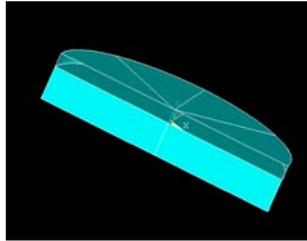


Tracción Anular

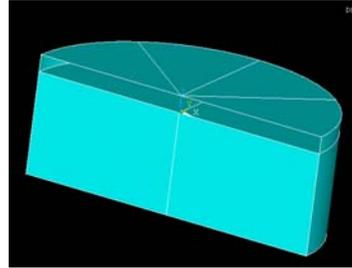


Depósito apoyado

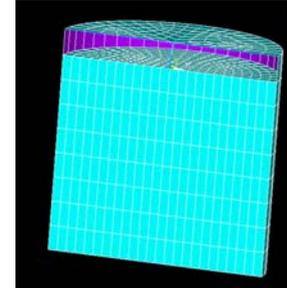
- Comparación de resultados



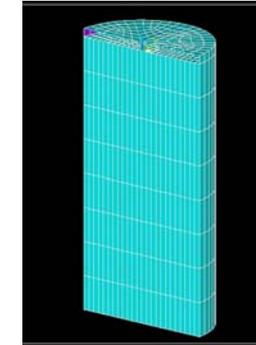
H/D = 0.2



H/D = 0.4



H/D = 1

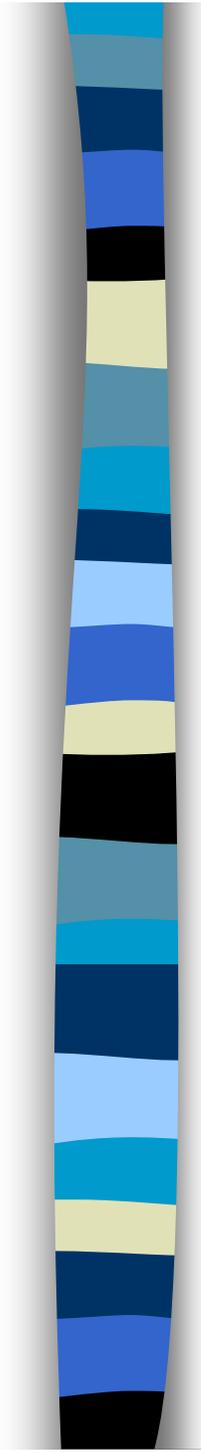


H/D = 2

Depósito	Parámetro				
	Corte Basal (Kg)	Momento De Vuelco (Kg*m)	Compresión vertical (MPa)	Tracción anular (MPa)	Tensión de Von Mises (MPa)
H/D = 0.2	262.52	2339	0.38	0.91	0.81
H/D = 0.4	930	1382	0.32	1.3	1.23
H/D = 1	3370	938.7	0.99	1.25	1.35
H/D = 2	7913.2	2280.8	2.59	0.93	2.3

→ CONFIGURACIÓN

OPTIMA



➤ INTRODUCCIÓN

➤ OBJETIVOS

➤ ESTADO DEL ARTE

➤ METODOLOGÍA

➤ **RESULTADOS**

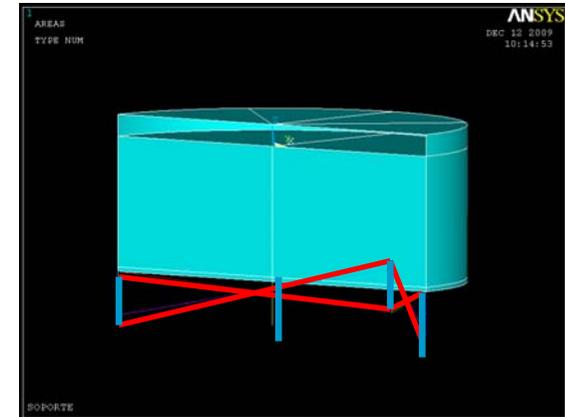
- Espectro de respuesta
- Depósito apoyado
- **Depósito elevado**

➤ CONCLUSIONES

➤ TRABAJOS FUTUROS

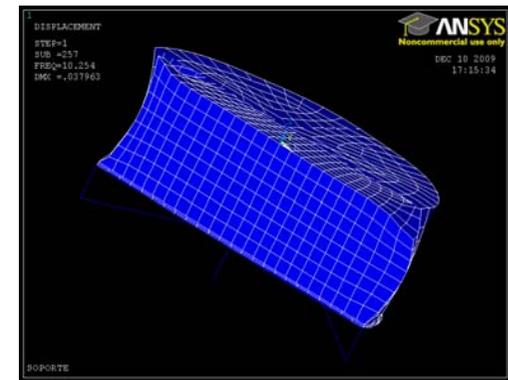
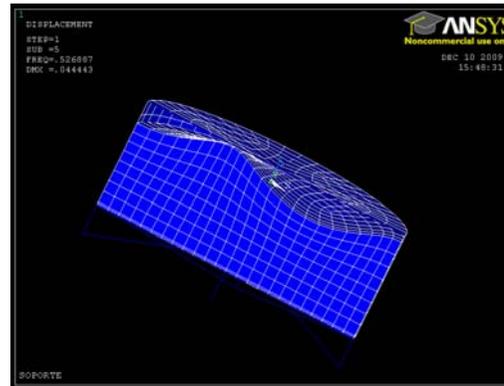
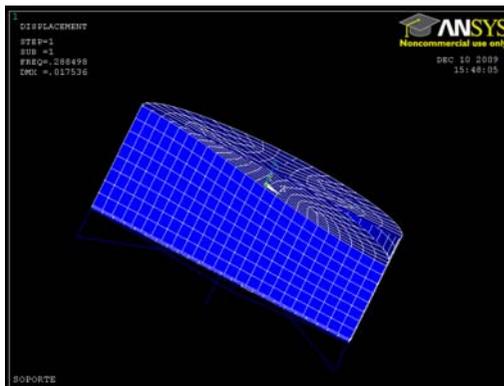
Depósito elevado

- Depósito relación $H/D = 0.4$ y elevado 1m



- Modelo numérico → Análisis modal

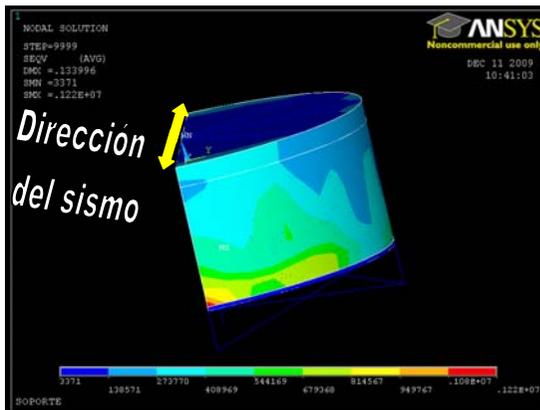
MODO VIBRACIÓN	FREC. (c.p.s)
1 (solo fluido)	0.287
2 (solo fluido)	0.526
3 (fluido+depósito)	6.52



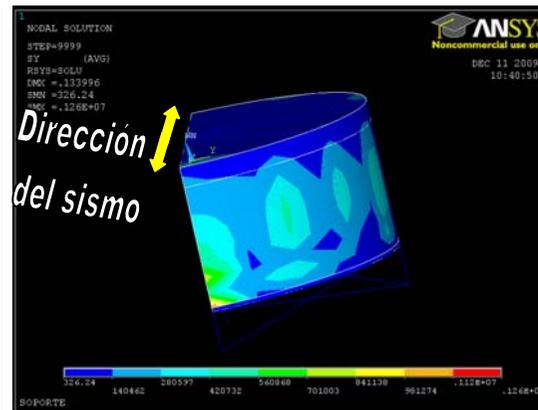
Depósito elevado

- Depósito relación $H/D = 0.4$ y elevado 1m
- Modelo numérico \rightarrow Análisis espectral

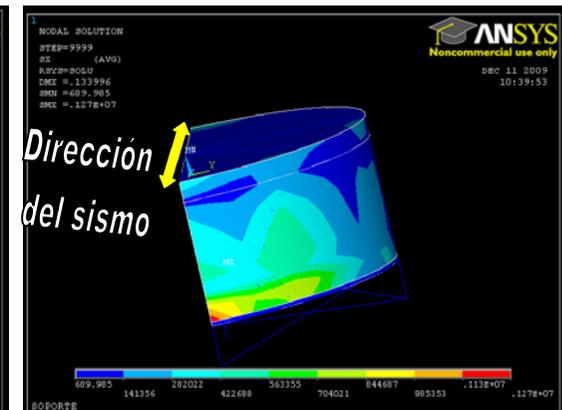
Tensión de Von Mises



Compresión Vertical

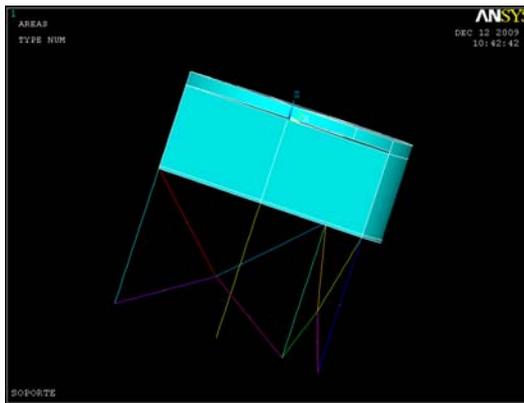


Tracción Anular

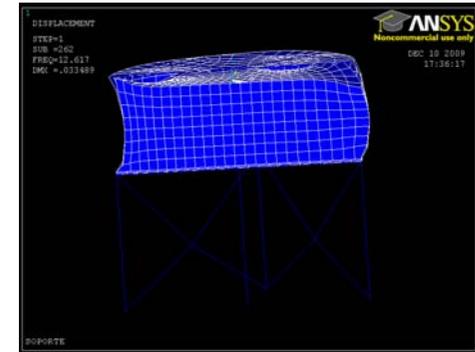
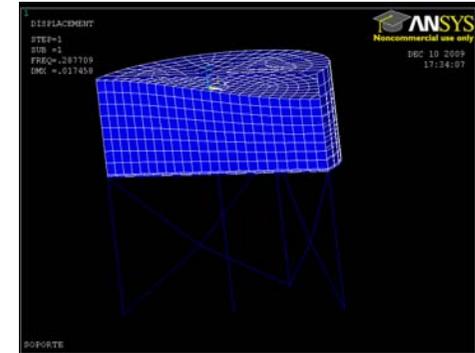


Depósito elevado

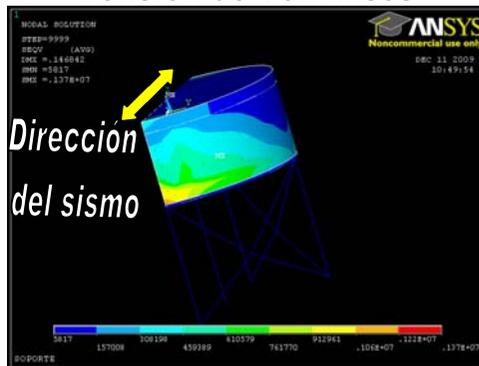
- Depósito relación $H/D = 0.4$ y elevado 5m
- Modelo numérico



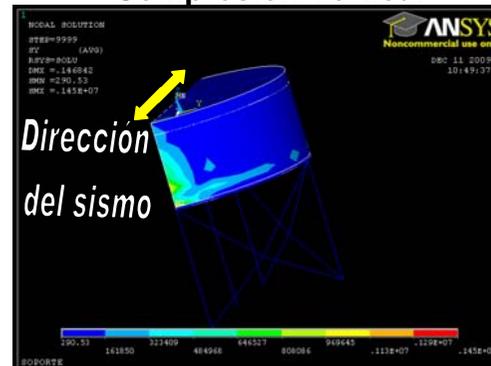
MODO VIBRACIÓN	FREC. (c.p.s)
1 (solo fluido)	0.287
2 (solo fluido)	0.526
3 (fluido+depósito)	3.72



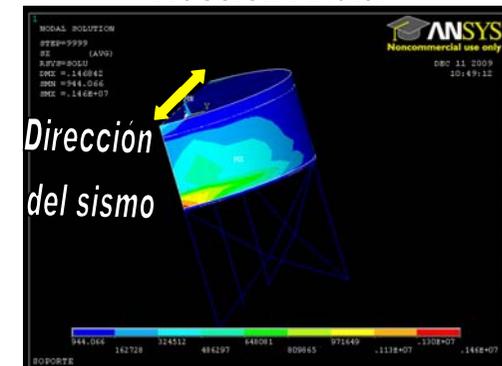
Tensión de Von Mises



Compresión Vertical

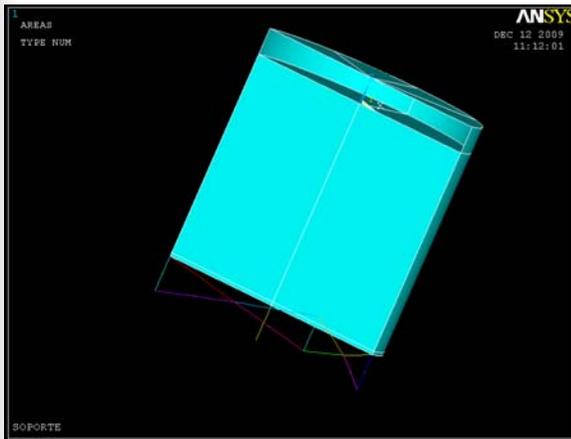


Tracción Anular

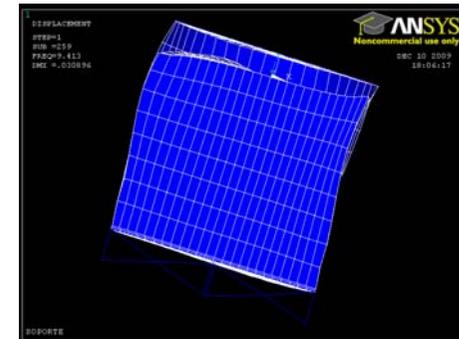
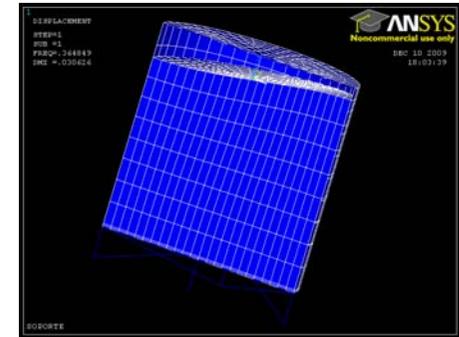


Depósito elevado

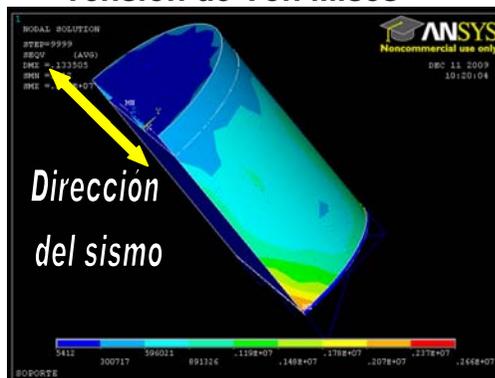
- Depósito relación $H/D = 1$ y elevado 1m
- Modelo numérico



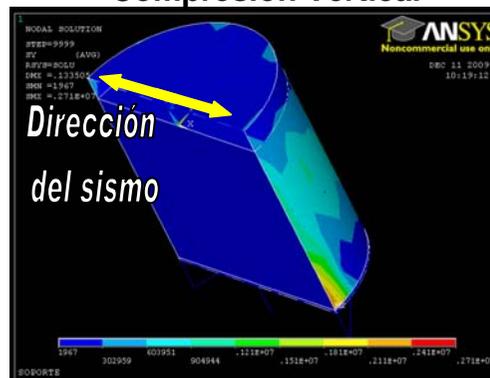
MODO VIBRACIÓN	FREC. (c.p.s)
1 (solo fluido)	0.365
2 (solo fluido)	0.568
3 (fluido+depósito)	6.64



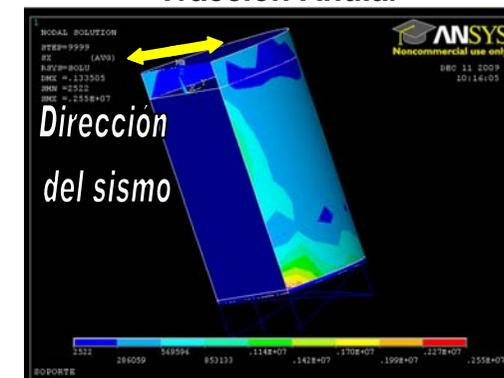
Tensión de Von Mises



Compresión Vertical

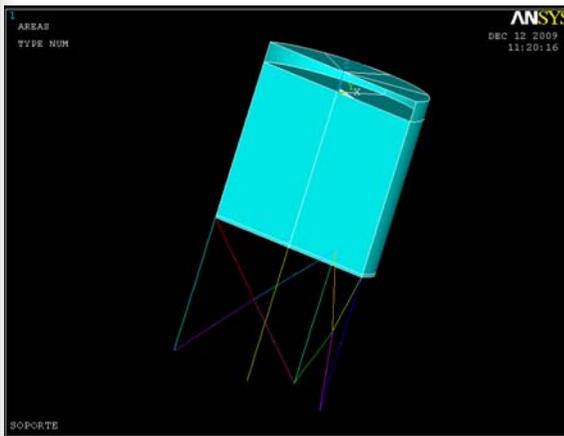


Tracción Anular

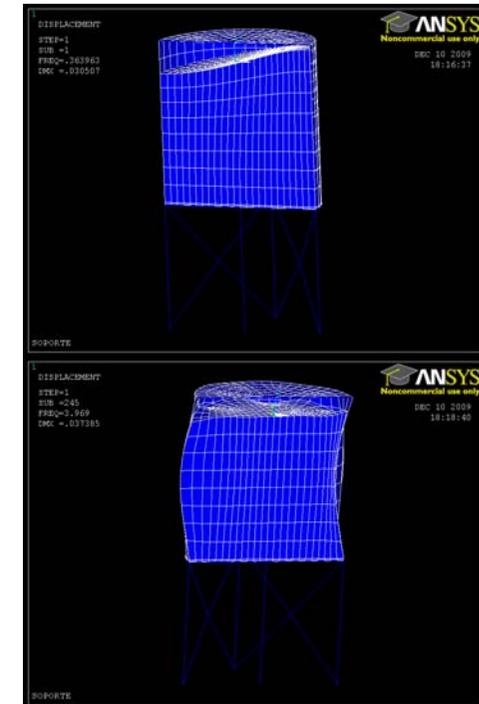


Depósito elevado

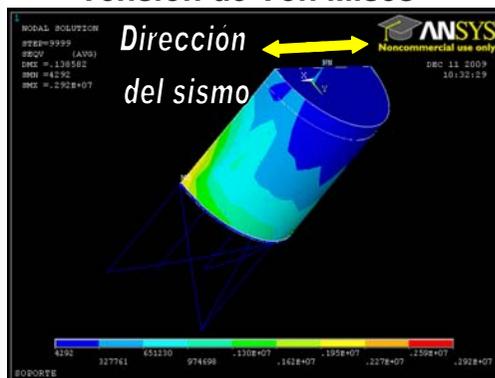
- Depósito relación $H/D = 1$ y elevado 5m
- Modelo numérico



MODO VIBRACIÓN	FREC. (c.p.s)
1 (solo fluido)	0.365
2 (solo fluido)	0.568
3 (fluido+depósito)	2.71



Tensión de Von Mises



Compresión Vertical

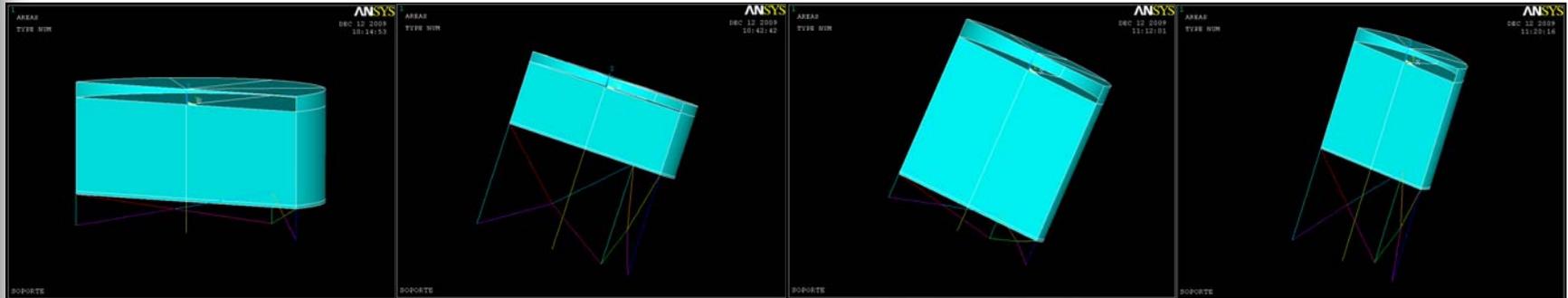


Tracción Anular



Depósito elevado

•Comparación de resultados



•H/D = 0.4
elevado 1m

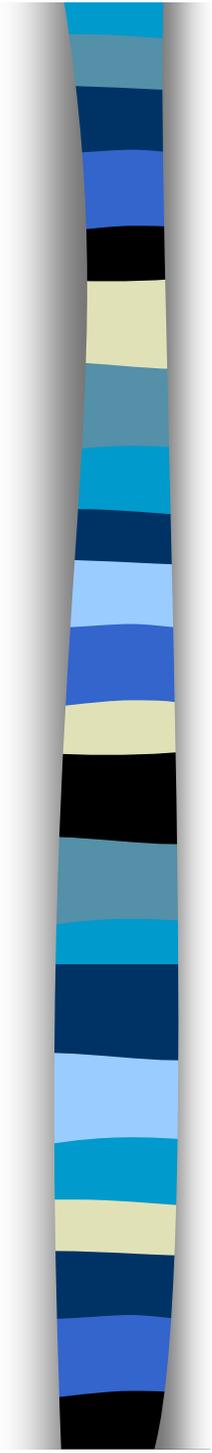
•H/D = 0.4
elevado 5m

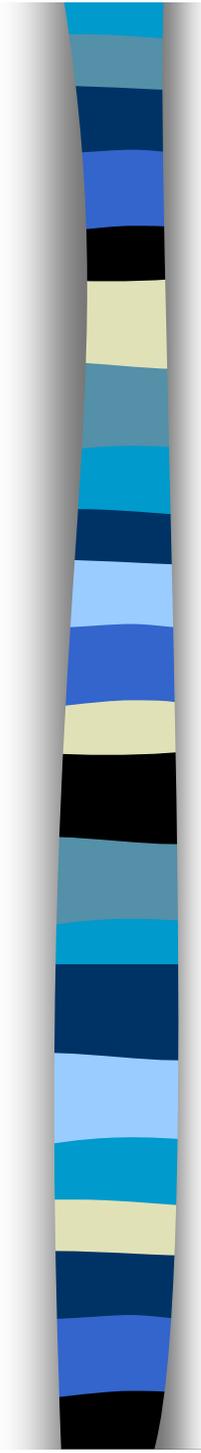
•H/D = 1
elevado 1m

•H/D = 1
elevado 5m

Relación	Altura soporte	σ_{VM} (MPa)	$\sigma_{trac.anular}$ (MPa)	$\sigma_{comp.vertical}$ (MPa)	Coef. seguridad
H/D = 0.4	1 m	38.9	37.1	37.6	5.8
	5 m	40.4	39	39.5	5.6
H/D = 1	1 m	68.5	67.1	69.1	3.2
	5 m	71.1	68.7	72.6	3

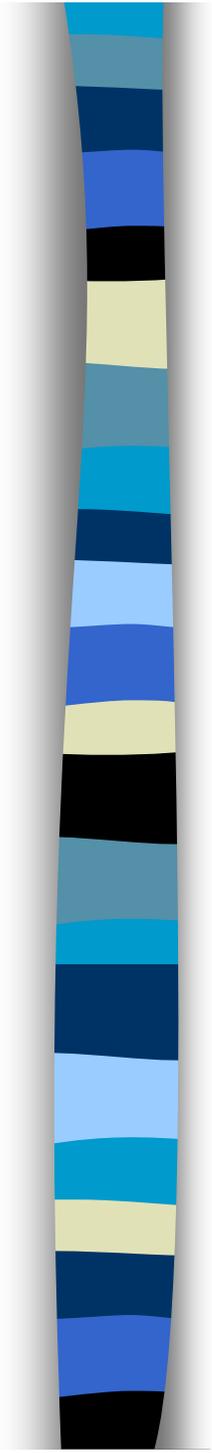
**CONFIGURACIÓN
OPTIMA**

- 
- INTRODUCCIÓN
 - OBJETIVOS
 - ESTADO DEL ARTE
 - METODOLOGÍA
 - RESULTADOS
 - **CONCLUSIONES**
 - TRABAJOS FUTUROS



Conclusiones

- Igualdad de frecuencias del fluido entre las obtenidas a partir del modelo analítico y del numérico.
- Igualdad de esfuerzos entre los obtenidos a partir del modelo analítico junto con las normas y los dados por el modelo numérico.
- Depósito apoyado → Configuración óptima es la de relación $H/D = 0.4$. Depósito “bajo y ancho”.
- Depósito elevado → Configuración óptima es la de relación $H/D = 0.4$ y elevación de 1m. Depósito “bajo, ancho y a poca altura”.

- 
- INTRODUCCIÓN
 - OBJETIVOS
 - ESTADO DEL ARTE
 - METODOLOGÍA
 - RESULTADOS
 - CONCLUSIONES
 - **TRABAJOS FUTUROS**

Trabajos futuros

- Modelización más real del depósito.
- Analizar el efecto del oleaje o “chapoteo”.
- Estudio de diferentes formas de depósitos.
- Estudio de diferentes estructuras de elevación y formas de depósitos elevados.





UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

**DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y
TEORÍA ESTRUCTURAS**

**PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Análisis sismorresistente de depósitos metálicos

Daniel Penalba Sánchez

Tutor: Dr. D. José Luis Pérez Castellanos