

ESTABILIDAD DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE PETROLEO SOMETIDO A PRESIONES DE VIENTO VARIABLES POR INFLUENCIA DEL MURO DE CONTENCIÓN

STABILITY OF AN OIL STORAGE TANK SUBJECTED TO VARIABLE WIND PRESSURE BY INFLUENCE OF A CONTAINMENT DIKE

Alejandro A. Moreno^a, Horacio D. Calabro^a, Rossana C. Jaca^a y Luis A. Godoy^b

^aGrupo de Métodos Numéricos y Experimentales, Universidad Nacional del Comahue, 8300 Neuquén, Argentina, ale87_arg@hotmail.com, rossana.jaca@fain.uncoma.edu.ar, danycalabro@yahoo.com.ar

^bIDIT, CONICET y FCFyN, Universidad Nacional de Córdoba, 5000 Córdoba, Argentina, luis.godoy@unc.edu.ar,

Palabras clave: Pandeo, elementos finitos, diques, viento, tanques.

Resumen. Los tanques de almacenamiento de hidrocarburos en la Patagonia están sometidos a intensas ráfagas de viento que pueden afectar la estabilidad del tanque. Debido a las exigencias de las normas internacionales y nacionales es obligatorio construir diques de contención de los fluidos ante posibles derrames, generando perturbaciones en el flujo de viento sobre el tanque que no se tienen en cuenta en el diseño. Mediante ensayos en túnel de viento, se computaron presiones de viento sobre un modelo a escala de un tanque, para distintas alturas de diques. El objetivo del trabajo es evaluar el efecto en la estabilidad del tanque debido a la perturbación del flujo de viento generado por el dique de contención, con respecto a un tanque aislado. Se modela un tanque con elementos de cáscara, sometido a presiones de viento con y sin los muros. El estudio se implementa en ABAQUS mediante Análisis de Bifurcación Lineal (LBA) y Análisis No Lineal Geométrico (GNIA) con distintas imperfecciones iniciales. Las cargas máximas resistidas son mayores a las halladas sin el muro, por lo que el cálculo sin considerar su existencia es conservador.

Keywords: Buckling, finite elements, dikes, wind, tanks.

Abstract. Oil storage tanks in Patagonia are subject to intense gusts of wind that can affect the stability of the tank. Due to the requirements of international and national standards, it is mandatory to build fluid containment dikes in an event of spills, these walls generate disturbances in the wind flow over the tank that are not taken into account in the design. By wind tunnel tests, wind pressures were calculated on a scale model of a tank, for different dike heights. The objective of the work is to evaluate the effect in the stability of the tank due to the wind flow disturbance generated by the containment wall, with respect to an isolated tank. A tank is modeled with shell elements, under wind pressures with and without the walls. The study is implemented in ABAQUS through Linear Bifurcation Analysis (LBA) and Geometric Non Linear Analysis (GNIA) with different initial imperfections. The maximum loads are greater than those found without the wall, so the calculation without considering its existence is conservative.

1 INTRODUCCIÓN

La industria petroquímica presenta la necesidad de disponer de estructuras con la finalidad de manipular grandes volúmenes de fluidos. Los tanques de almacenamiento metálicos son estructuras laminares, con una relación de radio-espesor (R/t) del orden de 2000. La norma [API 650 \(2014\)](#) regula el diseño de estos tanques en base a la carga hidrostática del fluido, las cargas de viento son la condición de carga más crítica para los tanques vacíos con posibles fallas por inestabilidad del equilibrio. Existen muchas contribuciones de investigadores vinculado a la determinación de cargas de viento sobre esta tipología y la respuesta estructural de las mismas, como [Rotter and Schmidt \(2008\)](#) sobre pandeo de estructuras de cáscaras, [Macdonald et al. \(1998\)](#) sobre ensayos en túnel de viento o sobre apantallamiento de tanques ([Burgos et al. 2014](#), [Portela and Godoy, 2007](#)).

Con la necesidad de evitar posibles derrames en las instalaciones petroquímicas, los diques de contención formados por muros permiten generar un recinto estanco con el fin de evitar que el derrame llegue a fuentes de ignición y que facilite la recuperación del producto. Los muros modifican el flujo de viento que incide en el tanque, este aspecto no es considerado en el diseño del tanque y ante vientos severos se pueden generar modificaciones que afecten a la estabilidad del tanque. Los diques rodean a uno sólo o a un conjunto de tanques, como se muestra en la [Figura 1](#), y están contruidos de material impermeable y resistente al contacto con las sustancias a retener. Estos muros son de hormigón con perfil rectangular o de material suelto con perfil trapezoidal. Cuando varios tanques están dentro del mismo muro de contención, una opción es instalar paredes intermedias entre los tanques, para que pequeños derrames no afecten a los tanques cercanos. [Soria Castro et al. \(2013\)](#) realizó una evaluación en CFD de presiones de viento para un tanque aislado con diques de contención de diferentes características geométricas.

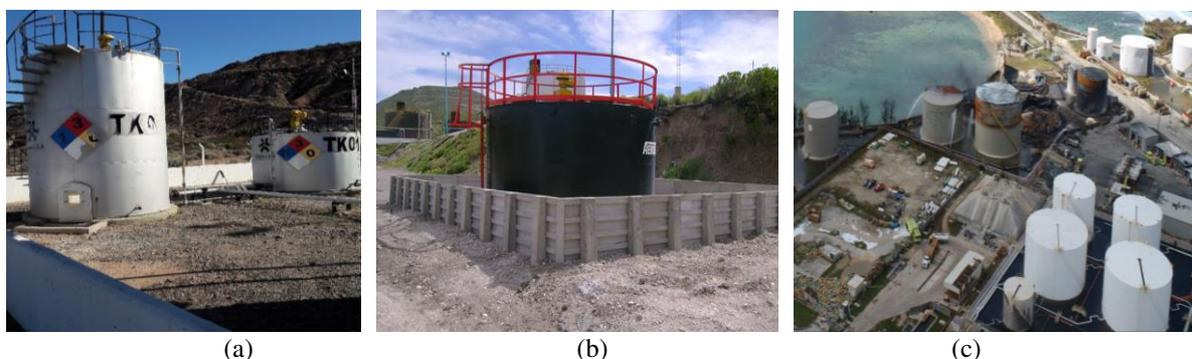


Figura 1: Muros de contención, (a) Hormigonado in situ, (b) Módulos colocados en obra, (c) Baterías de tanques.

En este trabajo se analiza un tanque dentro de un muro de contención con diferentes geometrías para el cuál se midieron las presiones de viento en un trabajo previo ([Hernández et al., 2016](#)). Se analiza la repuesta estructural mediante las metodologías habituales de evaluación de pandeo comparando con el comportamiento del mismo tanque asilado sin muro de contención.

2 CASO DE ESTUDIO

El tanque estudiado presenta la misma geometría del modelo evaluado en el túnel de viento ([Hernández et al. 2016](#)). El diámetro del tanque (ϕ) es de 31m y la altura (H) de 7,5m con un espesor (t) de 0.00475m. Se considera que el tanque tiene techo flotante y la condición de vacío incluyendo las cargas de viento exteriores e interiores o con fluido interior. Las

dimensiones de los diques de referencia también son los mismos que se usaron en el trabajo de referencia para evaluar las presiones de viento.

En Argentina, la Subsecretaría de Energía y Combustible exige por ley N°13660 (Decreto N°10-Artículo N° 329) que el tanque esté dentro de un recinto que sea capaz de contener el volumen del tanque que yace en su interior más un 10% de su volumen. Las recomendaciones internacionales indican que en el caso de un recinto rodeado por un muro de retención que contiene un solo tanque, su capacidad neta será por lo menos igual a la capacidad del tanque y se calcula como si tal tanque no existiera. Cuando se trata de agrupamiento de tanques se debe considerar el volumen del tanque de mayor capacidad más un 50%. Sólo se especifica que el recinto formado por los muros sean lo suficientemente estancos para evitar cualquier fuga y que sea capaz de soportar la presión hidrostática que el fluido ejerce sobre la estructura.

Por simplicidad geométrica se considera un dique de contención con planta cuadrada de lado L_d . Al igual que en trabajos previos (Soria et al. 2013, Hernández et al. 2016) se considera que el dique tiene capacidad para contener 1,5 veces el volumen del tanque que se encuentra en su interior y que la sección transversal del muro se supone rectangular de altura variable h . En función del volumen del tanque cilíndrico y del dique de contención se puede calcular la altura del muro para diferentes valores de lado L_d , según lo expresado en Ec. (1). La Figura 2 muestra un esquema del tanque con el dique de contención, s es la separación entre el muro y el tanque. Se evaluaron las presiones de viento para cuatro diferentes diseños de muro de contención denominados M1, M2, M3 y M4, asociados a valores de lado de dique L_d diferente y su correspondiente altura que garantice la relación entre el volumen del tanque y del dique de contención. Estos valores son mostrados en la Tabla 1.

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \phi^2}{4} H, \quad V_{dique} = \left(L_d^2 - \frac{\pi \phi^2}{4} \right) h \rightarrow h = 1.5 \left(\frac{\frac{\pi \phi^2}{4}}{\left(L_d^2 - \frac{\pi \phi^2}{4} \right)} \right) H. \quad (1)$$

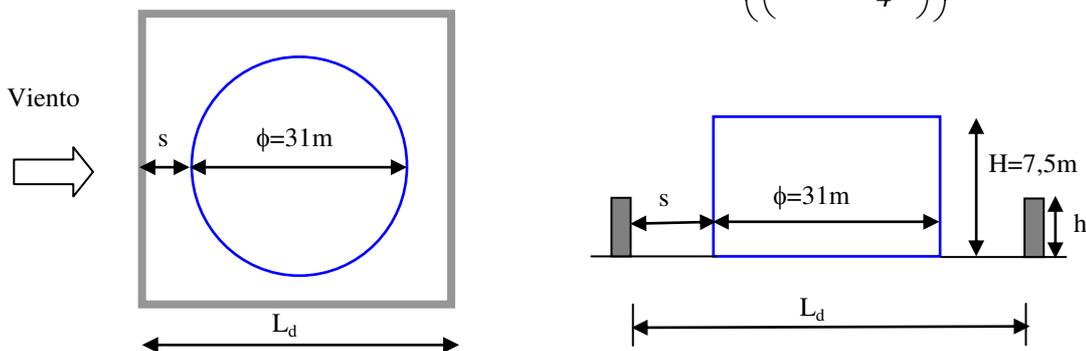


Figura 2. Esquema del tanque de almacenamiento y dique de contención.

	Diseños de muro de contención			
	M1	M2	M3	M4
	$L_d=2\phi$	$L_d=2,25\phi$	$L_d=2,5\phi$	$L_d=2,8\phi$
Lado del Dique (L_d) [m]	62	69,75	77,5	86,8
Altura del muro(h) [m]	2,75	2,08	1,62	1,25

Tabla 1: Dimensiones de diques de contención.

Las normativas actuales no especifican de qué tipo deben ser los muros y sus dimensiones, sólo que el material debe ser incombustible (hormigón, suelo compactado o acero) y que deben resistir las presiones hidrostáticas del fluido, solicitaciones sismorresistente y viento. En la actualidad se están empleando diques de hormigón armado (Figura 3). El volumen de

fluido determinado a través del dimensionado de los muros de contención, se considera como un caso de carga de empuje hidrostático en el cálculo del muro.

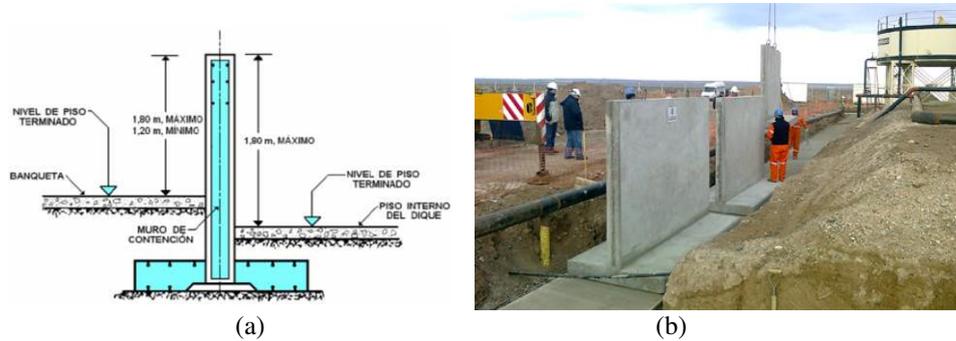


Figura 3: Esquema constructivo de los muros de hormigón.

2.1 Cargas de viento

Para realizar el análisis de pandeo del tanque sometido presiones de viento variables, se consideran las cargas halladas en ensayos en túnel de viento por [Hernández et al. \(2016\)](#) definidas en función de los coeficientes de presión (C_p). Los valores de C_p fueron obtenidos a partir de mediciones realizadas sobre el modelo de un tanque considerando los cuatro tipos de diques identificados por sus alturas: 1.20m, 1.60m, 2.00m y 2.70m, en referencia a los valores adoptados en el modelo para los muros. La [Figura 4](#) muestra el tanque y muro de contención dentro del túnel de viento, sobre el modelo con techo se midieron presiones exteriores con y sin muro y además se evaluaron las presiones interiores en el modelo sin techo. El modelo ensayado cuenta con tomas de presión ubicadas en ciertos puntos en función al ángulo (θ) medido respecto al meridiano a barlovento del tanque y en dos alturas distintas, al 30% y al 70% de la pared del tanque.

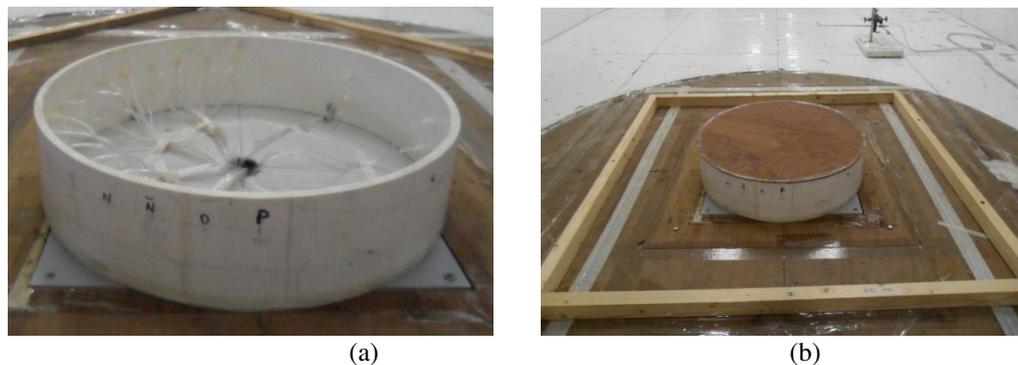
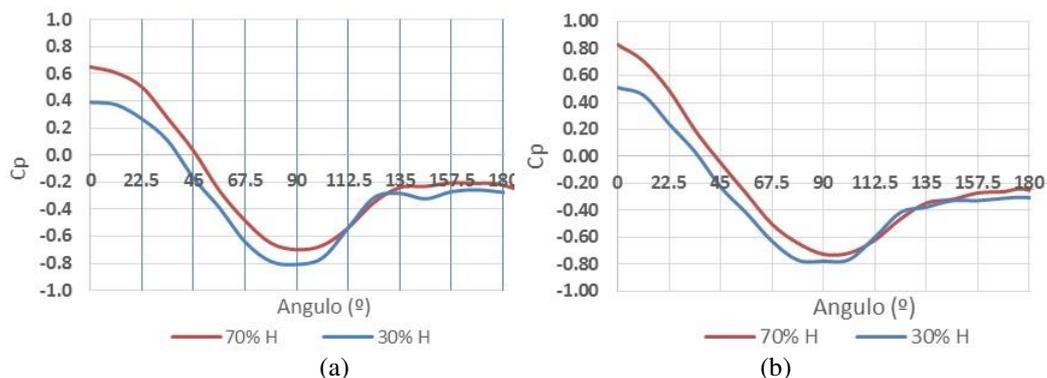


Figura 4: Modelos de Tanque y Dique de contención, (a) Sin techo, (b) Con techo plano.



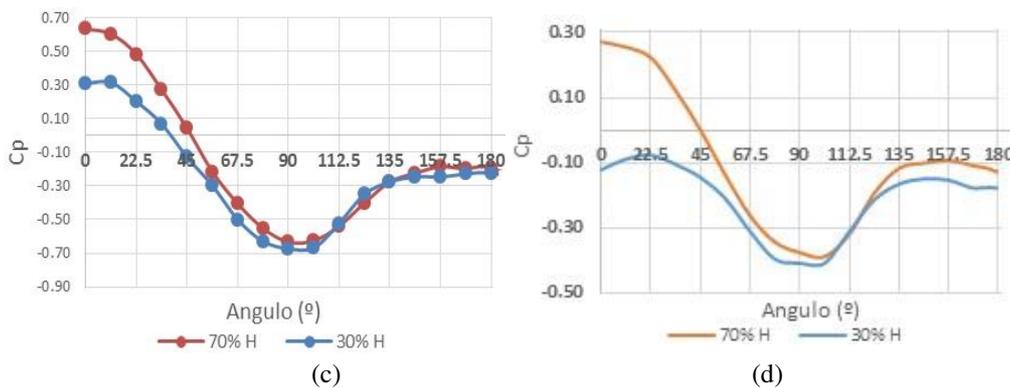


Figura 5: Coeficientes de presión exterior con muros, (a) h=1.20m, (b) h=1.60m, (c) h=2.00m, (d) h=2.75m.

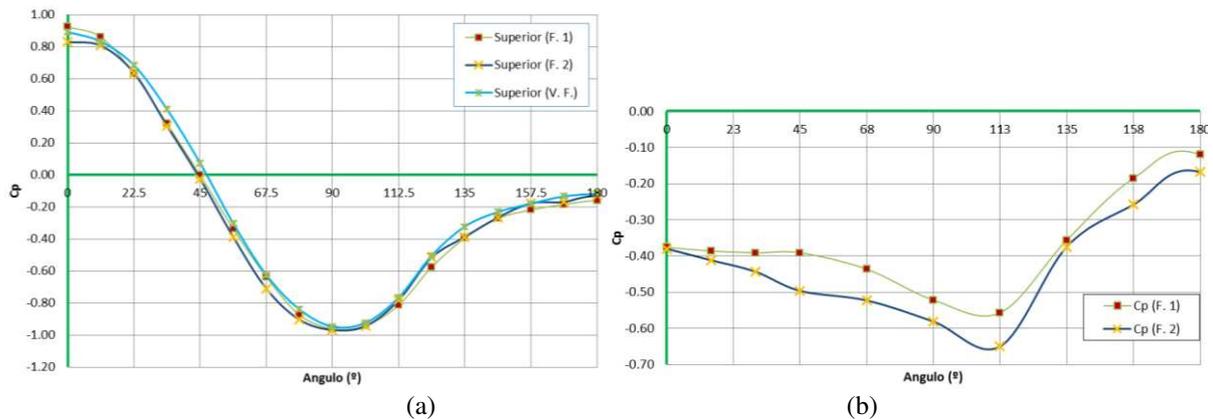


Figura 6: Coeficientes de presión sin muros medidos al 70% H, (a) Exterior, (b) Interior.

En la Figura 5 se presentan las curvas de coeficientes de presión de viento externas medidas a 0.7H y 0.3H para las diferentes alturas de muros consideradas (con techo) y en la Figura 6 la distribución obtenida para el tanque sin el obstáculo del muro, tanto en el interior como en el exterior del tanque (sin techo). Los valores mostrados en la Figura 6 corresponden a dos lecturas diferentes (F.1 y F.2) de coeficientes de presión durante el ensayo en túnel de viento obtenidos en el marco del trabajo de Hernández et al. (2017). Para obtener la ecuación que describa la variación de los coeficientes de presión sobre la superficie del tanque con muro de contención, se realizó el ajuste mediante serie de cosenos, con los valores asociados a las mediciones obtenidas al 70% de H, para el tanque aislado (Ec.(2)) y para los muros con las diferentes alturas (Ec.(3), Ec.(4), Ec.(5) y Ec.(6)).

$$C_p^{ext} = -0,25 + 0,42 \cos \theta + 0,67 \cos 2\theta + 0,11 \cos 3\theta - 0,04 \cos 4\theta + 0,03 \cos 5\theta + 0,008 \cos 6\theta - 0,007 \cos 7\theta \quad (\text{tanque sin muro}) \quad (2)$$

$$C_p^{ext.} = -0,22 + 0,35 \cos \theta + 0,53 \cos 2\theta + 0,13 \cos 3\theta - 0,05 \cos 4\theta - 0,004 \cos 5\theta + 0,001 \cos 6\theta - 0,0007 \cos 7\theta - 0,02 \cos 8\theta \quad (h = 1,20m) \quad (3)$$

$$C_p^{ext.} = -0,23 + 0,38 \cos \theta + 0,49 \cos 2\theta + 0,12 \cos 3\theta + 0,005 \cos 4\theta + 0,03 \cos 5\theta + 0,03 \cos 6\theta + 0,004 \cos 7\theta - 0,01 \cos 8\theta \quad (h = 1,60m) \quad (4)$$

$$C_p^{ext.} = -0,17 + 0,33 \cos \theta + 0,43 \cos 2\theta + 0,08 \cos 3\theta - 0,02 \cos 4\theta + 0,013 \cos 5\theta - 0,002 \cos 6\theta - 0,007 \cos 7\theta - 0,02 \cos 8\theta \quad (h = 2,00m) \quad (5)$$

$$C_p^{ext.} = -0.12 + 0.15 \cos \theta + 0.24 \cdot \cos 2\theta + 0.04 \cos 3\theta - 0.03 \cos 4\theta + 0.006 \cos 5\theta + 0.0004 \cos 6\theta - 0.005 \cos 7\theta - 0.02 \cos 8\theta \quad (h = 2.70m) \quad (6)$$

Se puede observar una reducción de los coeficientes de presión exteriores a lo largo de todo el perímetro del tanque, tanto de succión como de presión respecto a los que corresponden a tanque aislado. Este efecto se produce debido a que el flujo se eleva por el obstáculo del muro generando presiones menores en el tanque a barlovento. A medida que la altura del muro es menor, el flujo presenta una menor modificación con respecto al caso sin obstáculo. Con el objeto de modelar el caso de un tanque sin techo, se consideraron los efectos del viento en la parte interna del tanque (Ec. (7)) presentado en [Hernández et al. \(2017\)](#), para el caso del tanque sin dique de contención.

$$C_p^{int.} = -0.45 - 0.07 \cos \theta + 0.16 \cdot \cos 2\theta - 0.05 \cos 3\theta + 0.003 \cos 4\theta + 0.03 \cos 5\theta \quad (7)$$

2.2 Modelo numérico

El tanque se discretiza con mediante [ABAQUS \(2006\)](#) con elementos de cáscara cuadrangulares cuadráticos, denominados como S8R5, de 8 nodos y 5 grados de libertad con integración reducida. El material usado acero A36 con un módulo de Elasticidad de 210MPa y un coeficiente de Poisson de 0.3. Debido a la simetría de cargas, geometría y de materiales, se modela la mitad del tanque asumiendo condiciones de simetría en el plano medio. La vinculación entre la pared y el piso se modela mediante la aplicación de una condición de contorno que restringe 3 grados de libertad de desplazamiento en la dirección de los tres ejes coordenados. Se considera el tanque sin techo y con un techo plano. En este último caso se incluye en la modelación, como simplificación, una condición de borde de restricción radial de desplazamiento en el plano horizontal superior ([Burgos et al., 2015](#)). El estado crítico se caracteriza mediante Análisis de Bifurcación Lineal (LBA), por medio de la solución de un problema de autovalores y autovectores que representan las cargas críticas (λ^C) y las formas de modo respectivamente. El estudio se completa realizando Análisis No Lineal Geométrico con Imperfecciones (GNIA) mediante el método de [Riks \(1972, 1979\)](#), que permite exhibir trayectorias poscríticas inestables con una carga máxima que depende de la amplitud de la imperfección geométrica. Las cargas de viento son incorporadas al modelo mediante las expresiones dadas en Ec. (2.5) a (2.7) con la opción *Analytical fields* disponible en ABAQUS.

3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN NUMÉRICA

3.1 Análisis de Bifurcación Lineal (LBA)

En esta primera etapa se obtienen las cargas críticas y formas de modo considerando cada uno de los muros estudiados y sin la existencia de muro, para el tanque sin y con techo. En la [Tabla 2](#) se detallan las cargas críticas (λ^C) y en la [Figura 7](#) se puede apreciar la forma de modo asociada para el tanque sin y con techo.

Altura Dique	Tanque sin techo	Tanque con techo
	λ^C (kN/m ²)	λ^C (kN/m ²)
SIN MURO	0.183	0.556
H120 (h=1.2m)	0.234	0.722
H160 (h=1.6m)	0.201	0.634
H200 (h=2.0m)	0.237	0.820
H270 (h=2.7m)	0.372	1.968

Tabla 2: Cargas críticas (λ^C) para el tanque sin y con techo.

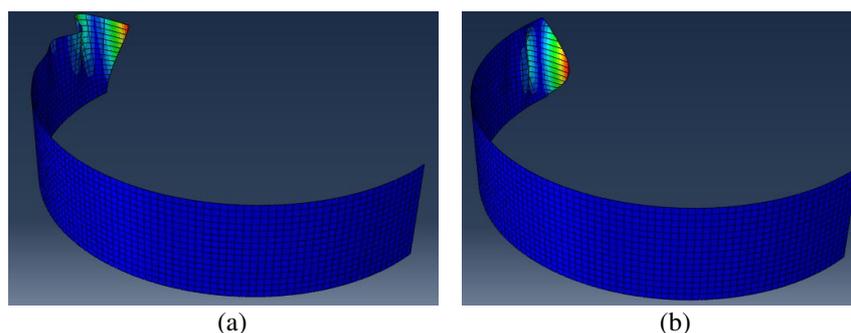


Figura 7: Forma de Modo Crítico, (a) Tanque sin techo, (b) Tanque con techo.

Las cargas críticas obtenidas con la presencia del muro son mayores en todos los casos respecto al tanque aislado y el caso de una altura de muro $h=1.60\text{m}$ representa un mínimo entre los diques estudiados. Este aspecto tiene su correlato con las presiones medidas en las que se evidencia que a mayor altura el apantallamiento ejercido por el muro es mayor, salvo para $h=1.6\text{m}$ donde se observa un incremento en las presiones a barlovento respecto a $h=1.2\text{m}$.

3.2 Análisis No Lineal Geométrico con Imperfecciones Geométricas (GNIA)

Para analizar el comportamiento del tanque en el estado post-crítico, se incorpora en la estructura imperfecciones con la forma del primer modo. El análisis no lineal geométrico se realiza con el método de Riks Modificado, incrementando en cada caso la magnitud de las imperfecciones en función del espesor de la pared del tanque con una amplitud $\xi=0.25t$, $0.5t$ y $0.75t$. Para obtener las trayectorias de equilibrio resultantes se consideran los desplazamientos de un nodo P ubicado en el borde superior de la pared del tanque sin techo.

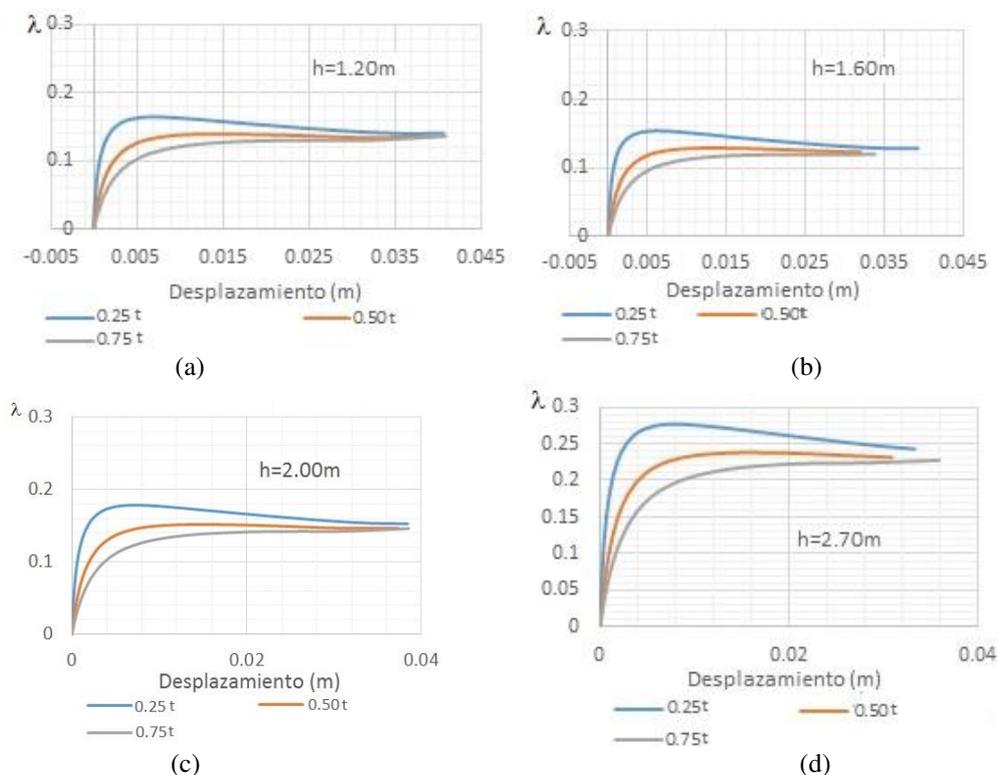


Figura 8: Trayectorias de equilibrio. Tanque sin techo con muros, (a) $h=1.2\text{m}$, (b) $h=1.6\text{m}$, (c) $h=2.0\text{m}$, (d) $h=2.7\text{m}$.

La Figura 8 muestra que el comportamiento es similar en todos los casos disminuyendo la carga máxima resistida a medida que aumenta la magnitud de la imperfección, tomándose

como curva representativa la correspondiente a $\xi=0.5t$ ya que para valores mayores la respuesta se modifica a una trayectoria monótona creciente. Para muro de altura $h=1.20m$ la carga máxima tiende 0.14 kN/m^2 ; para $h=1.60m$ la carga es de 0.13 kN/m^2 ; para $h=2.00m$ es de 0.15 kN/m^2 ; y por último para $h=2.70m$ es de 0.23 kN/m^2 . Se puede observar que, a mayor altura del dique, el efecto de apantallamiento aumenta la resistencia de la estructura del tanque, salvo para $h=1.6m$ que presenta el menor valor de carga resistida con respecto a las otras posibilidades de diques. La Figura 9(a) muestra las trayectorias de equilibrio para tanque sin muro, para una amplitud de imperfección $\xi=0.5t$ la carga máxima es de 0.12 kN/m^2 . En la Figura 9(b) se muestran las trayectorias de equilibrio para todos los casos analizados con $\xi=0.5t$ y se observa que la trayectoria correspondiente al tanque sin dique limita inferiormente a las asociadas a los muros evaluados mejorando la resistencia del tanque.

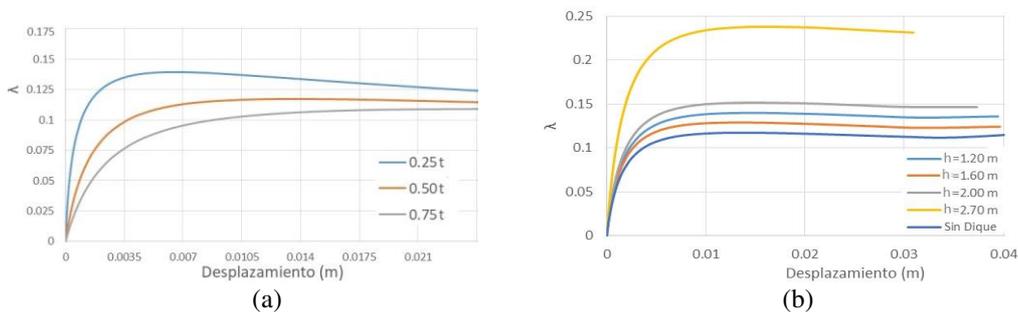


Figura 9: Trayectorias de equilibrio. Tanque sin techo, (a) Sin muro, (b) Con y sin muros para $\xi=0.5t$.

Para el tanque con techo plano flotante se realiza el mismo estudio considerando imperfección geométrica con la forma del primer modo mostrado en la Figura 7(b) y las mismas amplitudes de imperfección $\xi= 0.25t, 0.5t$ y $0.75t$. La Figura 10 muestra las trayectorias de equilibrio en función del desplazamiento de un punto ubicado sobre el meridiano a barlovento en la mitad de la altura del cilindro.

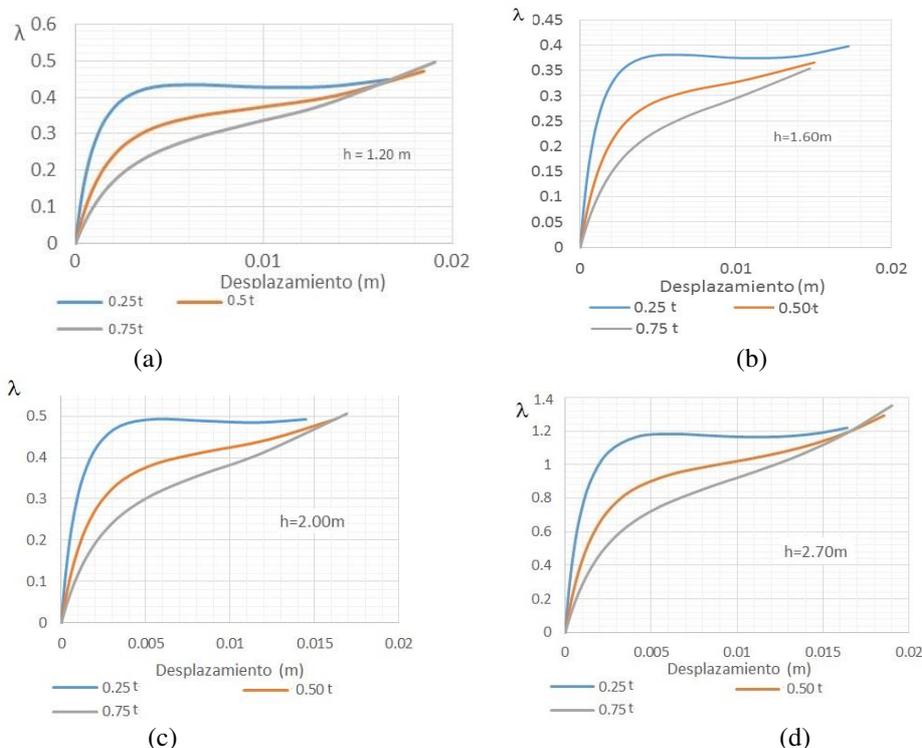


Figura 10: Trayectorias de equilibrio. Tanque con techo con muros, (a) $h=1.2m$, (b) $h=1.6m$, (c) $h=2.0m$, (d) $h=2.7m$.

Se observa que en este caso la amplitud de imperfección a considerar es $\xi = 0.25t$ ya que con amplitudes mayores la respuesta de la estructura cambia sin exhibir un máximo en las cargas resistidas. La carga máxima es de 0.44kN/m^2 para $h=1.2\text{m}$, 0.38kN/m^2 para $h=1.6\text{m}$, 0.49kN/m^2 para $h=2.0\text{m}$ y 1.19kN/m^2 para $h=2.7\text{m}$. El comportamiento es similar al tanque sin techo pero en este caso las cargas resistidas son mayores en todos los casos.

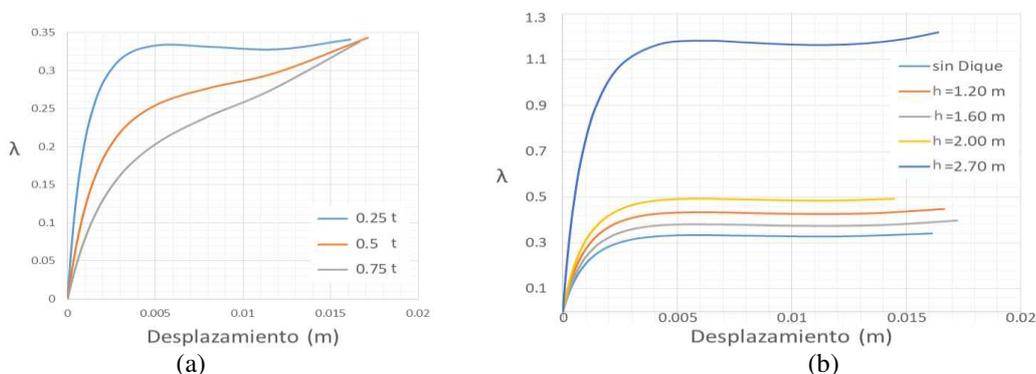


Figura 11: Trayectorias de equilibrio. Tanque con techo, (a) Sin muro, (b) Con y sin muros para $\xi=0.25t$.

Para el tanque sin muro y la misma amplitud de imperfección, la carga máxima resistida es de 0.33kN/m^2 (Figura 11(a)), resultando un límite inferior a los resultados de los análisis con las diferentes alternativas de muros y mostrando que la no consideración de la existencia del muro conduce a valores conservadores como se muestra en la Figura 11(b). El efecto de apantallamiento de los diques genera que las cargas máximas resistidas por el tanque se incrementan en los distintos casos respecto a la alternativa sin dique de contención y que la altura de muro $h=1.6\text{m}$ presenta una singularidad en la respuesta estructural. Al comparar las magnitudes de cargas con la opción sin techo, se observa un incremento de aproximadamente el 50% que se produce al considerar la presencia del techo como elemento rígido que reduce la longitud de pandeo de la pared del tanque.

4 CONCLUSIONES

En este trabajo se analiza la influencia de los diques de contención que rodean los tanques de almacenamiento de petróleo sobre las cargas de viento que actúan en los mismos y sobre las cargas máximas resistidas respecto a no incluir su existencia. Se consideraron cargas de viento evaluadas experimentalmente con muros de altura variable entre 16% y 36% de la altura del tanque, para un tanque de techo flotante en la condición de vacío y lleno de fluido. La respuesta estructural fue evaluada por medio de Análisis de Bifurcación Lineal (LBA) y Análisis No Lineal Geométrico con Imperfecciones (GNIA).

La existencia del dique de contención genera una modificación de los coeficientes de presión exteriores a lo largo de todo el perímetro del tanque, con una reducción de todos los valores tanto de succión como de presión. Esta reducción es mayor cuanto mayor es la altura del muro con excepción de la altura $h=1.6\text{m}$, que representa el 20% de la altura del tanque aproximadamente.

Al observar las trayectorias resultantes del análisis de no linealidad geométrica realizado para el caso del tanque sin techo, se puede deducir que cuanto mayor es la altura del dique la presión del viento que se ejerce sobre la estructura es menor, lo que favorece a la resistencia estructural resultando en cargas máximas resistidas mayores. Si bien todas son mayores, para una altura $h=1.6\text{m}$ la respuesta presenta un mínimo entre las opciones analizadas.

En el caso del tanque con techo, se puede observar que la presencia del techo mejora la resistencia al pandeo, logrando que las trayectorias de equilibrio presenten una tendencia a

cargas de colapso 50% mayores que en las obtenidas en el primer caso.

Por razones constructivas y considerando la variabilidad de los diseños de instalaciones implementados en la industria petroquímica, en general los diques de contención no superan una altura de 1,80m. El considerar que la estructura estará completamente expuesta al viento como condición de diseño es conservador pero adecuado, esto se debe a que en la etapa constructiva se encuentra totalmente expuesto, presentando mayor probabilidad de sufrir algún tipo de daño que produzca una falla que inutilice la estructura.

Los datos utilizados en el análisis consideran un tanque ubicado de forma centrada en el recinto de contención. Sería necesario realizar más ensayos para los casos de muros con una altura fija y variar la separación entre muro y dique, con el fin de establecer un coeficiente de reducción que considere la relación la altura del dique con la distancia en planta de separación entre el muro y el tanque.

Agradecimientos: Este trabajo fue realizado con subsidios de Universidad Nacional del Comahue, Universidad Nacional de Córdoba y CONICET a través del Proyecto Institucional de la Unidad Ejecutora IDIT (UNC/ CONICET). Los autores agradecen la ayuda prestada por el Dr. Bruno Natalini, el Ing. Jorge Mariguetti y el personal de apoyo del Laboratorio de Aerodinámica “Jacek P. Gorecki” de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Noreste (Resistencia, Chaco, Argentina) para la realización de los ensayos en túnel de viento.

REFERENCIAS

- ABAQUS, *User's Manuals*, Version 6.3. Hibbitt, Karlsson and Sorensen Inc. Rhode Island, 2006.
- API Standard 650, *Welded steel tanks for oil storage*. American Petroleum Institute, Washington, D.C., 2014.
- Burgos C., Batista-Abreu, J. C., Calabró, H. D., Jaca, R.C. and Godoy, L.A., Buckling estimates for oil storage tanks: Effect of simplified modeling of the roof and wind girder. *Thin Walled Structures*, 91: 29-37, 2015.
- Burgos, C., Jaca, R.C., Lassig, J.L., and Godoy, L.A., Wind buckling of tanks with conical roof considering shielding by another tank. *Thin Walled Structures*, 84:226-240, 2014.
- Hernández, F. C., Jaca, R.C., Natalini, B. y Godoy, L.A., Inestabilidad de tanques de petróleo durante su construcción: Estudio de caso. *Mec. Computacional*, 35:2205-2229, 2017.
- Hernández, F.C., Natalini, B., Jaca, R.C. y Godoy, L.A., Cargas de viento en tanques de almacenamiento. *XXIV Jornadas Argentinas de Ing. Estructural*, Buenos Aires, 2016.
- Macdonald, P.A., Kwok, K.C.S. and Holmes, J.D., Wind Loads on Storage Bins, Silos and Tanks I, Point Pressure Measurements on Isolated Structures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 31:165-188, 1988.
- Portela, G. and Godoy, L.A, Wind pressures and buckling in grouped steel tanks. *Wind Struct.*10(1):1–22, 2007.
- Riks E., An incremental approach to the solution of snapping and buckling problems. *International Journal of Solids and Structures*, 15:529-551, 1979.
- Riks, E., The application of Newton's method to the problem of elastic stability. *Journal of Applied Mechanics*, 39:1060-1065, 1972.
- Rotter, J.M. and Schmidt, H., *Buckling of Steel Shells: European Design Recommendations*, ECCS Technical Committee 8 on Structural Stability. Eurocode 3, Part 1-6, 2008.
- Soria-Castro, L.M., Elaskar, S.A. y Godoy, L.A., Modelado de la acción del viento sobre tanques en el interior de un dique de contención. *Mec. Computacional*, 32:549-565, 2013.