

DAÑOS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE DEBIDOS AL HURACÁN RITA¹

Luis A. Godoy²

Resumen: Este trabajo presenta las observaciones de daños en tanques de acero de refinerías de petróleo y granjas de tanques, que fueron observados durante las misiones de reconocimiento llevadas a cabo en los estados de Texas y Louisiana con posterioridad al huracán Rita en 2005. Se definieron niveles cualitativos de daño usando cuatro categorías basadas en *performance*. Se muestra evidencia de daño usando fotografías tomadas durante la misión de reconocimiento en octubre de 2005. Los daños debido al huracán Rita ocurrieron casi exclusivamente debido a acción directa del viento. El daño por viento ocurrió en la forma de pandeo de la cáscara o daño en la capa de aislamiento de la cáscara. Se identifican necesidades de investigación basadas en los modos de falla observados.

Palabras Claves: daños estructurales, huracanes, huracán Rita, pandeo de cáscaras, tanques.

DAMAGE OF OIL STORAGE TANKS DUE TO HURRICANE RITA

Abstract: This work presents observations of damage of steel tanks in oil refineries and tank farms that were observed during the reconnaissance missions to the states of Texas and Louisiana following hurricane Rita in 2005. Qualitative damage levels are identified using four categories based on performance. Evidence of damage is shown using photographs taken during the reconnaissance mission in October 2005. Damage due to hurricane Rita occurred almost exclusively due to direct wind action. Wind damage occurred in the form of buckling of the shell or damage of the insulation cladding of the shell. Research needs are identified based on the failure modes observed.

Keywords: buckling of shells, hurricanes, hurricane Rita, structural damage, tanks.

INTRODUCCIÓN

El huracán Rita llegó a tener categoría 5 mientras atravesaba el Golfo de México y tocó tierra en el estado de Texas el 24 de septiembre de 2005, casi un mes después del trágico paso del huracán Katrina por Louisiana. La Figura 1 muestra la zona de entrada de Rita, que afectó especialmente las localidades de Port Arthur, Orange, Beaumont, Sabine Pass y Lake Charles. Las velocidades de viento registradas en Port Arthur y Orange fueron de 119 mph. A diferencia de Katrina, no hubo inundaciones significativas debido a Rita y la marejada tuvo alcances más reducidos (NIST, 2006).

Esa zona alberga gran parte de la infraestructura petrolera del estado de Texas, incluyendo grandes refinerías, granjas de tanques para almacenamiento, puertos de carga/descarga de combustible, tuberías de distribución y plataformas petrolíferas costa afuera. Los daños físicos causados a la industria del petróleo han afectado diversas componentes del sistema, de las cuales este trabajo solamente considera los tanques metálicos de almacenamiento de productos crudos o procesados.

La experiencia dramática del huracán Katrina hizo que los preparativos para recibir a Rita fueran mucho más cuidadosos. Quince refinerías en Texas y Louisiana se paralizaron en los días previos al 24 de septiembre, varias de las cuales no sufrieron daño alguno por estar alejadas del ojo del huracán. Después del paso de Rita, siete refinerías aún producían a un ritmo reducido: ExxonMobil (Beaumont, TX), Citgo (Lake Charles, LA), Conoco Phillips (West Lake, LA), Lyondell-Citgo (Houston, TX), Motiva (Port Arthur, TX), Total (Port Arthur, TX), Valero (Houston, TX). British Petroleum (Texas City, TX) aún permanecía cerrada. La producción se reestableció en forma completa en ocho refinerías que habían sido paralizadas: Astra (Pasadena, TX), ExxonMobile (Baytown, TX), Calcasieu (Lake Charles,

¹ Artículo recibido el 23 de diciembre de 2005 y en forma revisada el 15 de abril de 2006.

² Director, Centro de Investigación en Infraestructura Civil, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, PR, 00681-9041. E-mail: lgodoy@uprm.edu

LA), Conoco Phillips (Sweeny, TX), Marathon (Texas City, TX), Shell/Pemex (Dear Park, TX), Valero (Texas City, TX) y Valero (Port Arthur, TX). Hay que señalar que Rita no afectó las ciudades de Texas City, Houston, o Pasadena.

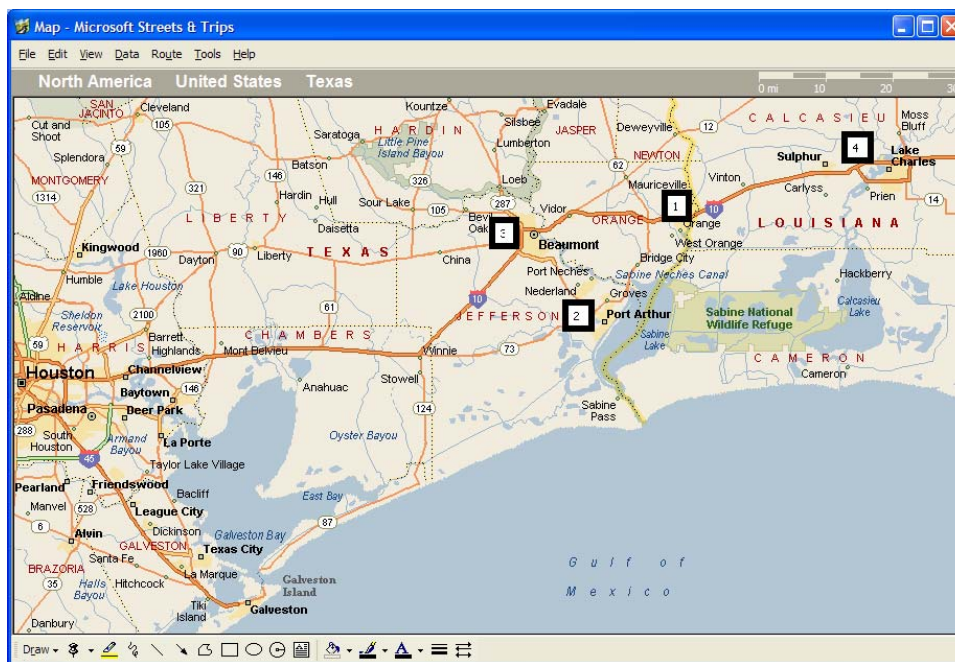


Figura 1: Ubicación de grandes plantas afectadas por el huracán Rita.

Gran parte de la investigación que se ha llevado a cabo en nuestro grupo de trabajo sobre tanques enfoca las acciones de viento sobre la estructura (Portela y Godoy, 2005a, 2005b), el efecto de grupo de tanques (Portela y Godoy, 2005c) y la respuesta de tanques frente a viento (Flores y Godoy, 1997, Godoy y Flores, 2002, Godoy, Sosa y Portela, 2004). De modo que en este programa de investigación, la observación de daños debidos a huracanes es primordial para relevar niveles de daño, visualizar modos de falla y calibrar modelos computacionales.

En un trabajo relacionado publicado en este mismo número (Godoy, Portela y Saffar, 2006) se describen los daños observados en tanques por causa del huracán Katrina, mientras que este trabajo tiene propósito similar pero se concentra en los efectos del huracán Rita. Un motivo importante para mantener esta división es que la naturaleza de los daños observados producto de uno y otro huracán fueron muy diferentes, a pesar de las similitudes en cuanto al inventario de refinerías y granjas de tanques de almacenamiento entre ambas regiones asociadas.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE REFINERÍAS Y TANQUES

La Figura 2 ilustra de manera esquemática una refinería de petróleo. Básicamente hay tres partes: un ingreso de petróleo crudo que se almacena, instalaciones de reactores para el refinado y el egreso de combustible ya refinado, que también se almacena. El crudo es transportado desde el Golfo, mientras que los productos refinados (gasolina, diesel) se distribuyen hacia otros lugares por tierra o barco. El procesamiento del petróleo requiere de miles de tuberías en una planta, torres de reactor y una o más chimeneas para quemar el gas eliminado. También se emplean torres de enfriamiento para refrigerar el vapor que se usa en el proceso de refinado; esas torres de enfriamiento generalmente se construyen usando materiales compuestos (polímeros reforzados con fibras de vidrio).

Se observa que los tanques son una de las principales componentes en cualquier refinería, porque almacenan los productos inflamables y también el agua. La Figura 3 muestra una vista aérea de una parte de una refinería al norte de Port Arthur, Texas, y se observa el gran número de tanques de diferentes tamaños.

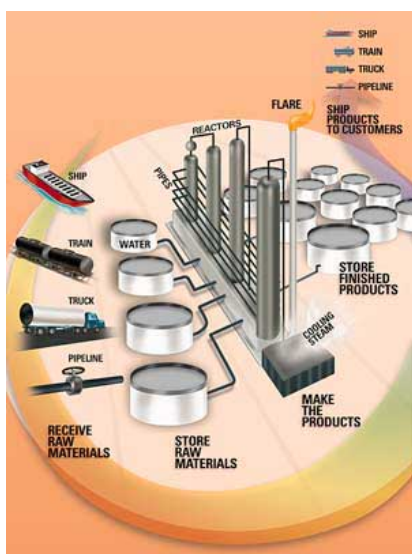


Figura 2: Principales componentes de una refinera de petrleo (tomado de CITGO 2005).



Figura 3: Vista aerea de un sector en una planta al norte de Pt. Arthur, Texas.

Una descripci3n completa de los tanques de petrleo se encuentra en el texto de Myers (1997). Se emplean tanques contruidos por encima del nivel del terreno, con la forma de un cilindro metlico con una base y un techo que puede ser plano, c3nico o en forma de domo rebajado. Los techos c3nicos rara vez son de tipo auto-soportado, y requieren de columnas para evitar deformaciones grandes debidas al peso propio. Los techos con forma de domo son auto-soportados, pero se emplean con dimensiones de diámetros menores a los de techos c3nicos o planos. Uno de los problemas de almacenar combustibles es la formaci3n de vapores inflamables en la parte superior de un tanque; para evitar eso se emplean techos flotantes, que pueden ser exteriores o interiores. Para que un techo flotante pueda circular libremente, las paredes del cilindro deber ser circulares, con pequeñas tolerancias en las deformaciones para evitar que se traben el mecanismo de movimiento con el nivel del lquido.

El diseo de tanques se lleva a cabo usando las normas del American Petroleum Institute (API 650, 1988); sin embargo, estas normas enfatizan el diseo seccional m3s que el c3lculo, de manera que es necesario suplementar el an3lisis mediante m3todos m3s detallados como elementos finitos. Las provisiones de diseo frente a viento de la norma ASCE (ASCE/SEI, 2006) para la zona del Golfo en Texas establece velocidades de 140 mph (225 Km/h). No se trata de valores nuevos, sino que han estado igualmente fijados en versiones anteriores, como la de 1995. De manera que es de esperar que para las velocidades de viento prevalecientes durante el hurac3n Rita (119 mph = 192 Km/h en algunas zonas de refineras), los tanques debieran haber resistido sin daos mayores.

Con el fin de establecer clasificaciones cualitativas de daos debidos a viento en tanques, se propone usar la siguiente designaci3n de estados de dao:

DS1	Sin dao.
DS2	Daño menor, el tanque puede cumplir su funci3n y continuar almacenando combustible en algunos d3as. Por ejemplo, pandeo de pequea amplitud en la parte superior de la c3scara cilndrica, desprendimiento de parte reducida del aislamiento.
DS3	Daño intermedio, que causa problemas al funcionamiento del tanque. Por ejemplo, p3rdida generalizada del aislamiento, pandeo de la c3scara cilndrica. La estructura precisa ser reparada para recuperar su funcionalidad.
DS4	Daño mayor, p3rdida de integridad de la estructura. Por ejemplo, pandeo en estados poscr3ticos avanzados, fractura de la c3scara, levantamiento de la fundaci3n. Una reparaci3n del tanque solo puede llevarse a cabo con trabajos excepcionales.
DS5	Colapso estructural. La estructura no puede ser recuperada.

RELEVAMIENTO DE DAOS EN TANQUES DEBIDO AL HURACAN RITA

La tarea de relevamiento de tanques se vio obstaculizada por falta de acceso a las refineras, que sistem3ticamente se negaron a conceder permiso para llevar a cabo inspecciones, a pesar que nuestras misiones contaban con autorizaciones

del gobierno federal. Este tipo de dificultad fue experimentado también en otras misiones relacionadas con la industria del petróleo, en la que las oficinas de seguridad de las refinerías y plantas tienen órdenes expresas de impedir acceso a las facilidades por doble motivo de seguridad y de evitar demandas legales. Sin embargo, en muchos casos fue posible llevar a cabo observaciones a alguna distancia, y aún entrevistar a personal de las refinerías y de las plantas. Esto fue completado con fotografías aéreas disponibles en el momento de las visitas, que permitieron identificar los sectores de las plantas en los que habían ocurrido daños significativos.

En términos generales, puede decirse que los tanques localizados en la trayectoria del ojo del huracán Rita tuvieron buen comportamiento, no encontrándose más que niveles de daño DS2 y DS3. No se encontraron colapsos en tanques, pero si ocurrieron en otras componentes de refinerías. Por ejemplo, la Figura 4 muestra una chimenea metálica en la planta Firestone en Orange, Texas. Esta es una estructura muy esbelta y en la zona se estimaron vientos del orden de 115 mph (185 Km/h).

Para el caso del huracán Rita, las formas de daño más frecuentes que se encontraron fueron daños en niveles DS2 o DS3 de las capas de recubrimiento térmico de la estructura cilíndrica o del techo. La mayoría de los tanques se aíslan térmicamente porque es necesario mantener su contenido a una temperatura determinada con el fin de transferir fácilmente su contenido a través de cañerías y equipos; algunos tanques hasta son calefaccionados con este propósito. Myers (1997, pp. 28) menciona que “otro motivo para aislar tanques es que la tasa de corrosión externa del acero debido a condiciones atmosféricas aumenta al aumentar la temperatura”.

La Figura 5 muestra un trozo de aislamiento térmico de un tanque proveniente de la planta Exxon Mobile, en Beaumont, Texas. Está formada por una capa de poliuretano de 10mm más una capa de cubierta de asfalto.



Figura 4: Colapso de una chimenea en la planta Firestone, Orange, Texas. Nivel de daño DS4. (Fotografía del autor, octubre 10).



Figura 5: Una muestra de la capa de aislamiento de un tanque. (Fotografía del autor, octubre 29).

Ejemplos de daños en la capa de aislamiento se observaron en los siguientes lugares:

- En Port Arthur, Texas (Figura 6), un tanque relativamente aislado y ubicado en una parte muy expuesta, sufrió daño en la parte baja.
- En la planta Invicta/Dupont en Sabine, Texas (Figura 7), se observó daño en la parte inferior de un tanque.
- En la planta BASF-FINA en Port Arthur, Texas (Figura 8), se observó daño en la base del tanque, posiblemente debido a efectos de vórtices.
- En la planta Equistar, varios tanques de forma esférica perdieron su aislamiento casi por completo.
- Se observó pérdida de aislamiento en la parte superior de varios tanques en la planta Citgo en West Lake, Louisiana, que es una refinería con producción de 310,000 b/d.
- En la Planta Valero, Port Arthur, Texas (Figura 9), cuatro tanques sufrieron daños que afectaron gran parte del cilindro expuesto a viento. La producción de esta planta es de 250,000 b/d. La fotografía muestra escombros que salieron del recubrimiento y que son llevados por el viento hacia otras construcciones.

- En la planta Exxon Mobile, Beaumont, Texas (Figura 10), se identificó daño en varios niveles; sin embargo, otros tanques en la misma planta pero con un sistema de aislamiento más nuevo no sufrieron daños. La producción de la planta es de 348,000 b/d.
- En la Planta Motiva, Port Neches, Texas, ocurrió daño en la parte superior del aislamiento. La producción de esta planta es de 285,000 b/d.



Figura 6: Daño en el aislamiento de un tanque en Port Arthur, Texas. Este tanque se encuentra en terreno plano, sin obstrucciones para el viento. (Fotografía del autor, octubre 10).



Figura 7: Planta Invicta/Dupont en Sabine, Texas. (Fotografía del autor, octubre 10).



Figura 8: Planta BASF-FINA en Port Arthur, Texas. Daño en la aislación en la base del tanque. Nivel de daño DS2. (Fotografía del autor, octubre 12).



Figura 9: Planta Valero, Port Arthur, Texas. Cuatro tanques sufrieron daño que afectó la mayor parte de la zona cilíndrica expuesta al viento. Nivel de daño DS3. (Fotografía del autor, octubre 11).



Figura 10: Planta Exxon Mobile, Beaumont, Texas. (Fotografía del autor, octubre 12).

También se observó daño en el aislamiento del techo de muchos tanques. Ejemplos son:

- En Texaco Island (al sur de Port Arthur) (Figuras 11a y b), se produjo daño en los techos de tanques, que pudo observarse primeramente en las fotografías aéreas y posteriormente en el terreno. El daño en el techo de dos de los tanques se extiende entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ de la superficie del techo. Las dimensiones de los tanques afectados son 37m de diámetro, 11m de altura del cilindro y 1.8m de elevación de la parte cónica.
- En Exxon Mobile, Beaumont, Texas (Figura 12).
- Otros ejemplos de daño extendido en gran parte de la superficie de techos de tanques se encontraron en Port Arthur y en Lake Charles.



Figura 11a: Texaco Island, al sur de Port Arthur, Texas. Nivel de Daño DS3. (Fotografía del autor, octubre 11).



Figura 11b: Texaco Island, al sur de Port Arthur, Texas. (Fotografía de NOAA).



Figura 12: Exxon Mobile, Beaumont, Texas. Nivel de daño DS3 en el techo. (Fotografía del autor, octubre 12).

Otras formas de daño observadas con frecuencia durante las misiones de reconocimiento posteriores al huracán Rita incluyen pandeo localizado en la parte superior de la cáscara cilíndrica de los tanques. La localización de las deflexiones de pandeo está asociadas al menor espesor de la cáscara en esa parte: La cáscara cilíndrica tiene un espesor variable en altura, con mayores espesores en la parte inferior (debido a la presión del fluido interno). Aunque esa forma de pandeo no lleva a colapso de una cáscara, puede causar problemas funcionales si el techo flotante deja de cumplir su función al no poder moverse libremente por la deformación del meridiano de la cáscara. Algunos ejemplos de pandeo localizado se encontraron:

- En un tanque en Port Arthur, Texas (Figura 13).
- En la planta Citgo (Citgo Pipeline Pecan Groves), West Lake, Louisiana (Figura 14), se registraron daños en la forma de pandeo en la parte superior de la cáscara cilíndrica.
- Varios tanques en Port Arthur, Texas (Figura 15 y 16), tuvieron pandeo localizado en la parte superior.



Figura 13: Port Arthur, Texas. Nivel de daño DS2.
(Fotografía del autor, octubre 11).



Figura 14: Citgo Pipeline Pecan Groves, West Lake, Louisiana.
Nivel de daño DS2. (Fotografía del autor, octubre 10).



Figura 15: Port Arthur, Texas. Nivel de daño DS2.
(Fotografía del autor, octubre 11).



Figura 16: Nivel de daño DS2.
(Fotografía del autor, octubre 11).

Un informe que solamente toma en cuenta los daños observados (sin mencionar los tanques que no sufrieron daños) tiende a ocultar el hecho que la mayoría de los tanques no sufrieron daños severos debido al paso del huracán Rita. Por ejemplo,

- De acuerdo a la información suministrada por el personal de la Planta Chevron-Phillips en Orange, Texas (que produce polietileno para suplir otras industrias de la región), los tanques no sufrieron daños, ni tampoco los de la vecina planta Firestone.
- Durante las visitas de reconocimiento se encontraron varios tanques con formas no tradicionales, como unos tanques en la planta Port Arthur Steam Energy, que tienen una curvatura muy pronunciada en el meridiano (Figura 17). Estos tanques no sufrieron daños, a pesar que tanques vecinos si fueron dañados.
- Se observó que los tanques que tenían rigidizadores circunferenciales (anillos), tanto en la intersección entre el cilindro y el techo como en el cilindro, no sufrieron daños de pandeo.
- Los tanques con techos domo en general son de tamaño más pequeño y más rígidos y no fue posible identificar daños en ellos.



Figura 17: Port Arthur Steam Energy plant. Nivel de daño DS1. (Fotografía del autor, octubre 11).

RESUMEN DE LAS OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

El tipo de observaciones y relevamiento de daños que se ha llevado a cabo con posterioridad al paso del huracán Rita tiene varias limitaciones. Por una parte, no se pudo acceder al interior de casi ninguna planta o refinería, debido al celoso trabajo de los guardias de seguridad de esas plantas. Para los tanques en los que se observó daño, hay una segunda limitación debido a la falta de documentación disponible sobre las estructuras.

La primera limitación estuvo en parte compensada porque se trata de plantas abiertas a caminos públicos y la mayoría de las fallas ocurren en los tanques que están en la zona perimetral, en la que los vientos no tienen obstáculos y actúan con mayor intensidad. La segunda limitación tiene menos impacto que el que puede suponerse, porque los diámetros de los tanques y sus alturas pueden reconstruirse a partir de las fotografías aéreas y desde el terreno, y los espesores de las paredes surgen del procedimiento simplificado que se usa con el código API. De manera que pudo establecerse que mayormente se trata de tanques de tipo estandarizado.

Las principales observaciones del estudio de campo pueden resumirse de la manera siguiente:

- Debido a que la velocidad de viento no superó los 115 mph (185 Km/h) en la mayoría de las plantas de petróleo afectadas por Rita, los daños registrados fueron menores o intermedios. Esta velocidad fue disminuyendo a medida que el ojo del huracán se adentraba en tierra.
- Se encontraron dos mecanismos de daño: pandeo localizado en la parte superior de la parte cilíndrica de los tanques o desprendimiento de la lámina de protección y aislamiento de los tanques (en el cilindro o en el techo). No se observaron modos de pandeo globales (abarcando toda la altura de la cáscara cilíndrica), modos de fractura de la cáscara metálica ni modos de desprendimiento de la estructura de su base.
- La mayoría de los daños se encontraron en las zonas perimetrales de las plantas, donde los tanques están más expuestos a presión de viento y no están escudados por otros tanques o construcciones. Esto es consistente con las predicciones llevadas a cabo por Portela y Godoy (2005c, 2006) sobre la base de estudios en túnel de viento y modelos en escala reducida.
- Todos los tanques en los que se observó pandeo eran tanques sin rigidizadores. Por el contrario, tanques que tenían rigidizadores circunferenciales (tanto en la intersección cilindro-techo como en el cilindro) vecinos a los que sufrieron daños, tuvieron un comportamiento muy bueno.

Como resultado de las observaciones, se desprenden algunas recomendaciones:

- La mayor parte de los problemas que ocurren en las estructuras de tanques están asociados al diseño (entendiendo diseño como selección de alternativas conceptualmente diferentes) y no tanto al cálculo (que son los procedimientos de dimensionamiento de una alternativa previamente determinada). Los diseños de tanques en la actualidad deberían seleccionar alternativas con rigidizadores circunferenciales, para evitar modos de falla por inestabilidad.
- Al parecer, el diseño de los recubrimientos aislantes de tanques se establece mediante consideraciones que no incluyen su resistencia al arrancamiento por viento. El diseño debería contemplar problemas de adherencia con la

cáscara metálica y evitar fallas generalizadas como las observadas luego del huracán Rita. Aunque la falla del recubrimiento no compromete la estabilidad de la estructura, el número de tanques que tuvieron este tipo de daño justifican sin embargo que se consideren alternativas para mejorar el comportamiento de los tanques existentes, que se dañaron con velocidades de viento inferiores a 100 mph. Estos aspectos deberían estar incluidos en la normativa de API y requieren de nueva investigación mediante experimentos y simulación computacional.

- El desarrollo y crecimiento de plantas de petróleo (refinerías o de almacenamiento) se realiza de manera progresiva, con añadiduras y extensiones sobre una configuración inicial. En el diseño de una planta debería llevarse a cabo una planificación integral desde el inicio. En esa planificación, la ubicación de las componentes debería hacerse teniendo en cuenta no sólo criterios industriales sino también criterios estructurales.
- Finalmente, es necesario coordinar la investigación académica que se lleva a cabo en la actualidad con los esfuerzos privados de compañías petroleras y API, con el fin de llevar a cabo investigación académica de mayor utilidad para la industria y al mismo tiempo desarrollar normativas más racionales para el diseño de tanques.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada por National Science Foundation (“SGER: Identification of structural damage in tanks and industrial facilities due to hurricane Katrina”, subsidio número 0553986, 2005-2006), por National Institute of Standards and Technologies (NIST) y por Mid-America Earthquake Center (NSF-MAE). El autor agradece a sus compañeros en la misión a Texas, Prof. Chris Lechford y Rolando Vega (Texas Tech University) y Prof. Dorothy Reed (University of Washington).

REFERENCIAS

- ASCE/SEI 7-05 (2006). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, ASCE, Reston, Virginia, 424 pp.
- API 650 (1988). *Welded Steel Tanks for Oil Storage*, American Petroleum Institute, Washington, DC.
- CITGO (2005). Virtual Tours, Community Involvement, CITGO Petroleum Co, <http://www.citgo.com/CommunityInvolvement/Classroom/VirtualTours.jsp>
- Flores, F. G. y Godoy, L. A. (1997). “Buckling of short tanks due to hurricanes”, *Engineering Structures*, Vol. 20, No. 8, pp. 752-760.
- Godoy, L. A. y Flores, F. G. (2002), “Imperfection sensitivity of wind loaded tanks”, *Int. J. Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 13, No. 5, pp. 533-542.
- Godoy, L. A., Portela, G. y Saffar, A. (2006). Daños en tanques de almacenamiento de combustible debidos al huracán Katrina, *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, Vol. 6, No. 1, pp. 15-26.
- Godoy, L. A., Sosa, E. M. y Portela, G. (2004). “Nonlinear dynamics and buckling of steel tanks with conical roof under wind”, *Thin-Walled Structures* (Ed. J. Loughlan), Institute of Physics Publishing, Bristol, pp. 407-414.
- Myers, P. (1997). *Aboveground Storage Tanks*, McGraw-Hill, New York.
- NIST (2006). *Performance of Physical Structures in Hurricane Katrina and Hurricane Rita: A Reconnaissance Report*, National Institute of Standards and Technologies, US Department of Commerce, Gaithersburg, Maryland.
- Portela, G. y Godoy, L. A. (2005a). “Wind pressures and buckling of aboveground steel tanks with a conical roof”, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 61, No. 6, pp. 786-807.
- Portela, G. y Godoy, L. A. (2005b). “Wind pressures and buckling of cylindrical steel tanks with a dome roof”, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 61, No. 6, pp. 808-824.
- Portela, G. y Godoy, L. A. (2005c). “Shielding effects and buckling of steel tanks in tandem arrays under wind pressures”, *Wind and Structures: An International Journal*, Vol. 8, No. 5, pp. 325-342.
- Portela, G. y Godoy, L. A. (2006). “Wind pressures and buckling in a group of steel tanks”, *Wind and Structures: An International Journal*, en revisión.