

Revisión del diseño de recipientes contenedores de presión. Análisis de falla en los extremos de la cuna. Su evaluación utilizando el método de elementos finitos.

Héctor C. Sanzi ⁽¹⁾⁽²⁾ y Mariano A. Imperiale ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Grupo de Ingeniería Estructural, Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo París 532 Haedo (1706) - Buenos Aires Argentina

⁽²⁾ Tecs Ingeniería

Lima 1141 Piso 6to. Dto. A Capital Federal (1073) - Buenos Aires, Argentina

e-mail: tecsaing@fibertel.com.ar

Resumen

En los últimos años se han detectado fallas estructurales en los recipientes horizontales contenedores de presión, en la zona ubicada en los extremos de los cuernos de las cunas, después de la placa de desgaste, sobre las paredes del recipiente.

Esta situación de falla ha sido detectada en equipos nuevos, producida durante la prueba de presión, como en aquellos que se encuentran en servicio, en donde el grado de degradación o disminución de espesores por corrosión, han debilitado dicha zona.

En este trabajo se presentan los principales resultados del estado tensional obtenido a través del planteo de un Modelo Computacional por Elementos Finitos, comparados con los obtenidos con otros métodos de aplicación ingenieril.

1. Introducción

La falla mencionada, consecuencia de la discontinuidad estructural entre el apoyo y recipiente, se presenta con mayor posibilidad en aquellos equipos con más de dos metros de diámetro. En la Figura 1 se presenta una fotografía de un recipiente horizontal típico, y en la Figura 2, un esquema general, indicando la ubicación de la falla.



Figura 1. Recipiente Contenedor de Presión Horizontal

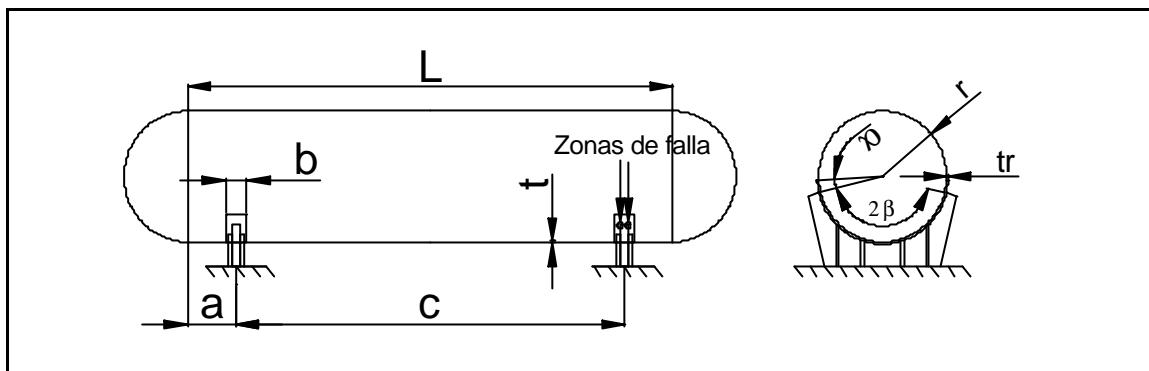


Figura 2. Recipiente horizontal, Identificación de la zona de falla

En la práctica habitual, en la etapa de diseño, las tensiones generadas en dicha unión, los cuernos de la cuna y sobre el recipiente, son determinadas a partir del método de Zick⁽²⁾ (1951).

A partir de la detección de este tipo de falla, investigaciones se han dedicado a encontrar, a través de resultados experimentales, la causa estructural que conlleva a dicha situación.

Uno de los primeros estudios fue realizado por L.S.Ong⁽¹⁾, en donde desarrollando un procedimiento analítico, considerando las diferentes variables geométricas y dimensionales que intervienen en el diseño del componente, determinó que las tensiones circunferenciales calculadas por el Método de Zick⁽²⁾ y que se desarrollan en los bordes de las cunas, son subestimadas por un factor de 2 ó más, dependiendo que el sistema de soportación, sea flexible ó rígido. Es decir que las tensiones circunferenciales obtenidas por el método de Zick⁽²⁾ en los bordes de la cuna, conducen a valores menores que los reales, lo cual invalidaría la metodología utilizada.

Es decir, que el resultado del estado tensional obtenido durante el diseño debe incrementarse en un factor de 2 o 3, disminuyendo el margen de seguridad del equipo con la probabilidad de plastificación.

Posteriormente, ensayo un componente de determinadas dimensiones, encontrando que los resultados del ensayo predecían sus estudios.

A partir de los resultados obtenidos y considerando las consecuencias que ocasiona esta falla, se requiere de la verificación del componente utilizando estudios más rigurosos.

El objetivo principal de este trabajo consiste en la realización de un análisis representativo y detallado, ampliando el estudio realizado por dicho investigador, utilizando "Técnicas de Evaluación Avanzada" a través del Método de Elementos Finitos.

Con esta finalidad, se analizaron cuarenta y seis recipientes horizontales, con diferentes tamaños y posiciones de sus cunas con respecto a los extremos, sometidos a los estados de carga de presión interior, peso propio y del líquido interior, adoptado lleno de agua.

Los principales resultados del estado tensional obtenido por la Simulación Computacional, que se produce en la unión del recipiente con los extremos de las cunas (cuernos), se comparan con los obtenidos con el Método desarrollado por el Investigador y el de Zick⁽²⁾.

2. Métodos Utilizados

A continuación se describe brevemente la metodología desarrollada por el investigador y su comparación con la utilizada en el Método de Zick⁽²⁾, procedimiento habitual utilizado en la práctica y de conocimiento general para diseñadores y constructores.

2.1 Metodología propuesta por L.S.Ong⁽¹⁾

Las ecuaciones paramétricas propuestas por L.S.Ong, para determinar la tensión circunferencial máxima en el cuerno de la cuna y sobre el recipiente, es la siguiente:

$$S_c = K_a K_b K_c K_s \frac{Q}{t^2} \sqrt{\frac{t}{r}} \quad (1)$$

donde Q es la reacción en el soporte, producto del peso propio y del líquido, mientras que los factores restantes, se obtienen de gráficos paramétricos, siendo:

$$K_a \text{ Factor geométrico obtenido en gráficos función de } a_a = \frac{a}{r} \sqrt{\frac{t}{r}} \quad (2)$$

$$K_b \text{ Factor geométrico obtenido en gráficos función de } a_b = \frac{b}{r} \sqrt{\frac{t}{r}} \quad (3)$$

$$K_c \text{ Factor geométrico obtenido en gráficos función de } a_c = \frac{c}{r} \sqrt{\frac{t}{r}} \quad (4)$$

$$K_s \text{ Factor de reducción debido a la extensión de la placa de desgaste a partir de la relación en gráficos función de } a_s = a_b^{1/3} \left(\frac{t_r}{t} \right) \quad (5)$$

La placa de desgaste actúa como un refuerzo local para disminuir la tensión desarrollada en el cuerno de la cuna.

2.2 Método de Zick⁽²⁾

La tensión circunferencial sobre el recipiente, en el borde de los cuernos de la cuna, es la siguiente:

$$S_4 = \frac{Q}{4t_s (b + 1,56\sqrt{(Rt_s)})} - \frac{3K_6 Q}{2t_s^2} \quad (6)$$

$$S_4 = \frac{Q}{4t_s (b + 1,56\sqrt{(Rt_s)})} - \frac{12K_6 QR}{Lt_s^2} \quad (7)$$

Donde:

S_4 : Tensión circunferencial en el cuerno de la cuna

Q: Reacción de vínculo en la cuna

t_s : Espesor del recipiente

R: Radio medio del recipiente

K_6 : Constante que depende de la relación A/R y ϕ .

ϕ : Angulo de contacto entre la cuna y el recipiente

2.3 Simulación Computacional por Elementos Finitos

Para el modelo de cálculo se utilizaron elementos tridimensionales de cáscara, con una formulación de Segundo Orden, con 3 y 4 nodos, del programa de elementos finitos COSMOS Versión 2.6⁽³⁾.

El apoyo del recipiente, la zona de la cuna, se simuló apoyado en una cuna infinitamente rígida. Los nodos comprendidos en el área que abarca el apoyo de la cuna fueron restringidos en sus desplazamientos y giros.

Los estados de carga adoptados para el análisis son peso propio del recipiente, peso del líquido interior con densidad relativa correspondiente al agua, a partir de una distribución hidrostática y presión interior unitaria.

Con la intención de contar con una gran cantidad de resultados, para diferentes configuraciones geométricas, se realizaron 46 modelos de elementos finitos. En la figura 3 se presenta el modelo de cálculo, el cual quedó conformado por aproximadamente 23790 elementos.

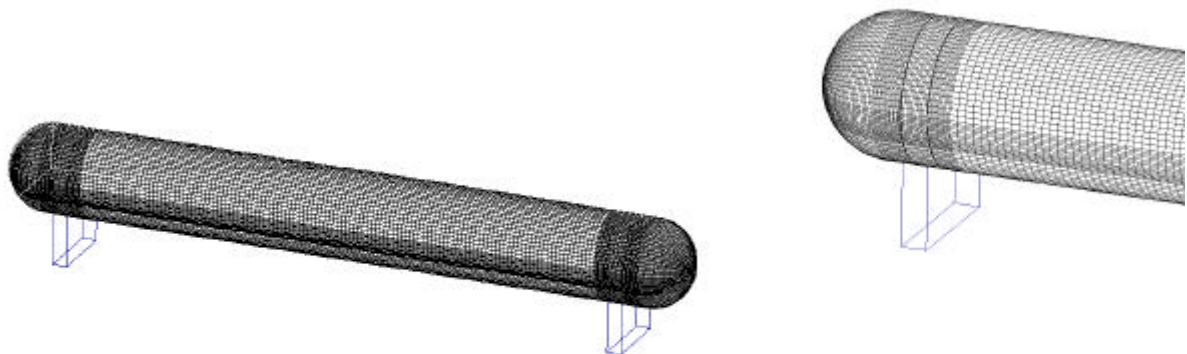


Figura 3. Modelo de Elementos Finitos

Se densificó la zona cercana a la cuna con la finalidad de obtener resultados más detallados, dado que allí se producen grandes gradientes de tensión por los efectos de flexión.

En la figura 4 se presenta el estado tensional de Von Mises (Equivalente), para uno de los recipientes calculados.

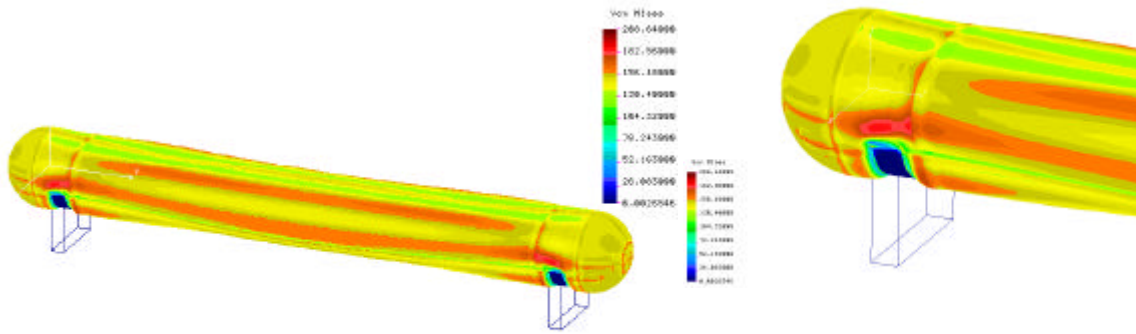


Figura 4. Tensiones Equivalentes de Von Mises

2.4 Comparación de Resultados

En las figuras 5 a 11, se visualiza la comparación de los resultados que se obtienen al aplicar el método clásico de Zick⁽²⁾, la propuesta de Ong⁽¹⁾ y la obtenida a través de elementos finitos, para los 46 recipientes.

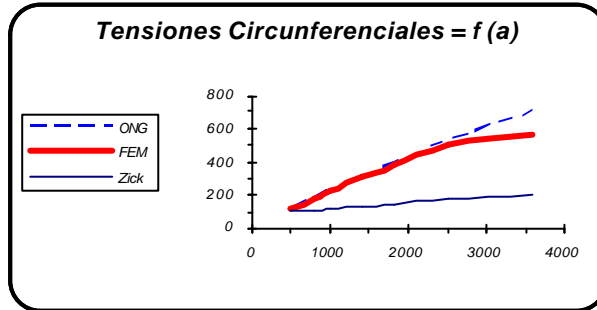


Figura 5. Comparación de Tensiones Circunferenciales (N/mm²), en función de a.

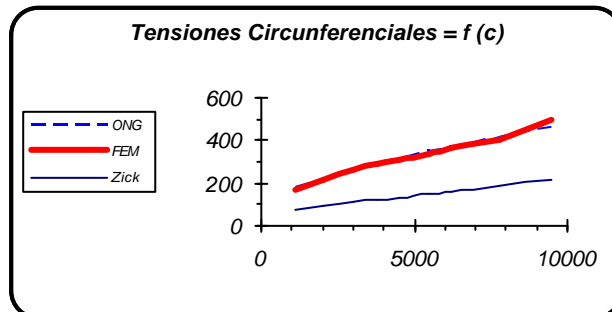


Figura 6. Comparación de Tensiones Circunferenciales (N/mm²), en función de c.

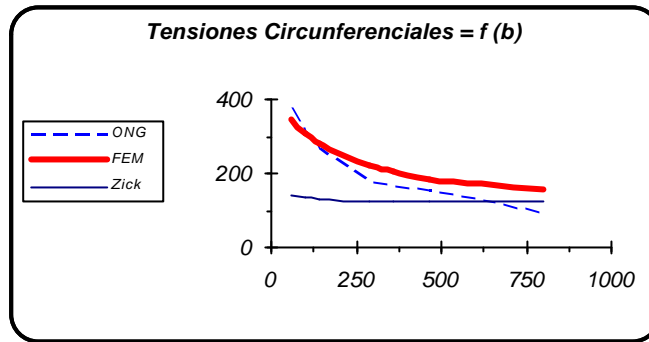


Figura 7. Comparación de Tensiones Circunferenciales (N/mm^2), en función de b .

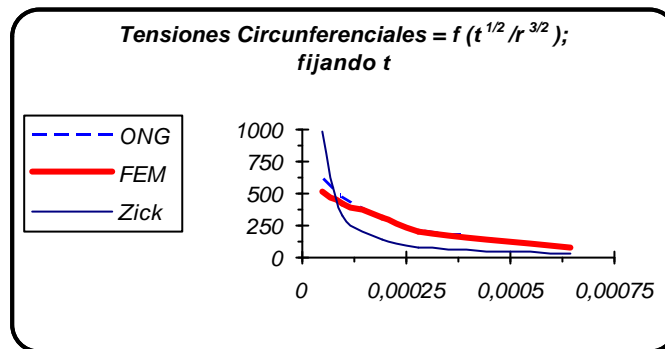


Figura 8. Comparación de Tensiones Circunferenciales (N/mm^2), en función de la relación $t^{1/2} / r^{3/2}$, fijando t .

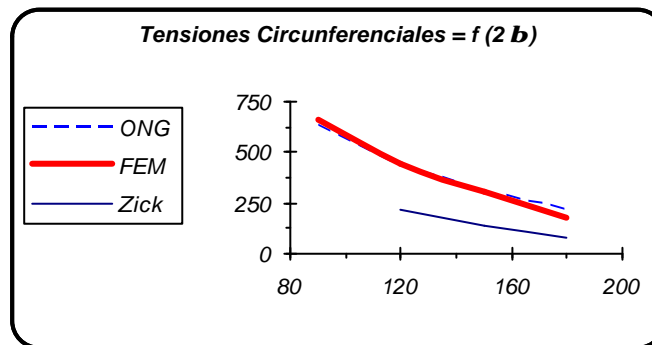


Figura 9. Comparación de Tensiones Circunferenciales (N/mm^2), en función de $2b$

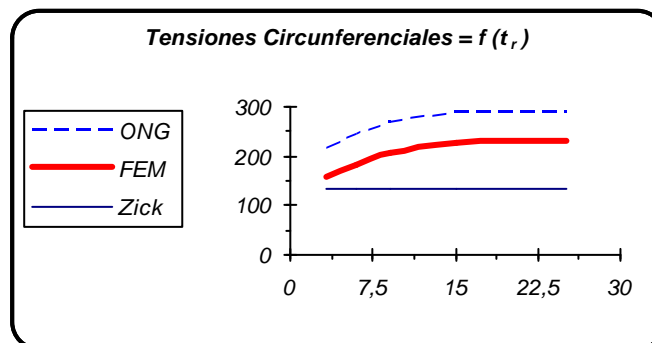


Figura 10. Comparación de Tensiones Circunferenciales (N/mm^2), en función de t_r .

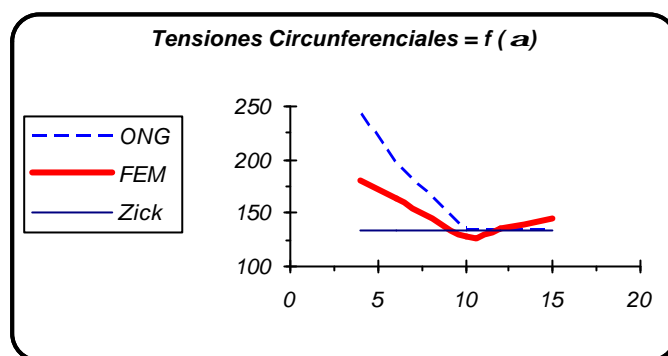


Figura 11. Comparación de Tensiones Circunferenciales (N/mm^2), en función de a .

3. Conclusiones

Los resultados obtenidos con el Método de Elementos Finitos predicen los encontrados por L. S. Ong en sus estudios. En la mayoría de los casos se aprecia una gran coincidencia entre los mismos, del orden del 5-10%.

Hemos notado mayores diferencias, del orden del 20%, dependiendo la rigidez de la cuna. Es decir modificando el grado de rigidez de la cuna, se modifica el estado tensional del recipiente en el borde con el extremo de la cuna.

En oposición a ambos procedimientos, Elementos Finitos y el propuesto por L.S.Ong⁽¹⁾, se diferencian los resultados del método de Zick⁽²⁾, en un factor 2 o 3, dependiendo el grado de rigidez que presente la cuna, lo cual señala la necesidad de reevaluar dicho procedimiento utilizado para el diseño.

Se ha detectado que el mecanismo de falla es más crítico en aquellos recipientes con diámetros mayores a los 2500-3000 mm, que aquellos con diámetros menores, consecuencia de su mayor rigidez.

Debería prestarse suma atención en aquellos equipos nuevos, como aquellos que se encuentran en servicio, ya que la pérdida de corrosión a través de los años puede precipitar la falla para un espesor reducido.

Entendemos que los resultados obtenidos a través del Método de Elementos Finitos nos permite reevaluar y verificar, tanto en el diseño como en aquellos equipos que se encuentran en servicio, su integridad estructural.

Se debe considerar y afrontar el verdadero riesgo que representa para el equipo, especialmente en aquellos recipientes con grandes diámetros, operar en condiciones extremas de integridad y seguridad, por lo cual un estudio estructural como el presentado permite conocer el verdadero comportamiento de dicha unión y en caso de necesidad diseñar los refuerzos adecuados para evitar una falla catastrófica.

Referencias

1. L.S.ONG(1995) : "Peak Stress and Fatigue Assessment of the Saddle Support of a Cylindrical Vessel", Journal of Pressure Vessel Technology. Vol. 117 Pág. 305/11
2. Metodo de Zick (1951)
3. Programa de elementos finitos COSMOS/M V 2.6, 2001.