

INFLUENCIA DE DISCONTINUIDADES EN EL ESTADO TENSIONAL DE RECIPIENTES SOMETIDOS A PRESION

Ing. María Laura Godoy^a, Ing. Luis María Arrién^b

^aÁrea Estructuras Dpto. Ing. Civil Facultad Ingeniería UNCPBA, Avenida del Valle 5737, Tel/Fax 02284-451055, (B7400JWI) Olavarría, Argentina, mgodoy@fio.unicen.edu.ar,
<http://www.fio.unicen.edu.ar>

^bÁrea Mecánica Dpto. Ing. Electromecánica Facultad Ingeniería UNCPBA, Avenida del Valle 5737, Tel/Fax 02284-451055, (B7400JWI) Olavarría, Argentina, lmarrien@fio.unicen.edu.ar,
<http://www.fio.unicen.edu.ar>

Palabras clave: Recipientes a presión, discontinuidades geométricas, concentración de tensiones, simulación numérica.

Resumen. La predicción del comportamiento de recipientes bajo presión interior es una tarea relativamente sencilla, al considerar el código ASME, que se sustenta en la teoría básica de la mecánica del continuo. Es en las zonas de cabezales, válvulas, intersecciones con conductos, registros, etc., donde es necesario brindar aportes mediante modelos numéricos que contribuyan al diseño y verificación de equipos. La utilización de herramientas computacionales es válida para corroborar resultados en zonas tales como cuerpo del recipiente, y muy útil en las áreas que presentan interés particular para el diseño, como intersecciones con otros conductos, bridas, válvulas, etc.

En este trabajo se realiza el análisis global de la estructura prestando especial atención en las zonas donde existen discontinuidades geométricas que es donde se generan concentraciones de tensiones.

Se evalúa además para diferentes configuraciones geométricas la validez de la aplicación del factor de concentración de tensiones k^m propuesto por otros autores.

1 INTRODUCCION

Una alternativa para efectuar un análisis del comportamiento de estructuras tales como recipientes a presión es la implementación de un modelo computacional que represente a la estructura real. Como ya se ha demostrado en trabajos anteriores, ver Ciancio, Godoy, Arrién (2004), los resultados obtenidos, a través de la implementación del modelo computacional, se encuentran en una satisfactoria aproximación con los resultados surgidos de la aplicación de la teoría clásica en el cuerpo del recipiente en zonas alejadas de discontinuidades geométricas. Los recipientes sometidos a presión usualmente contienen regiones con abruptos cambios en su geometría como es el caso de aberturas en sus paredes que se utilizan para entradas y salidas de fluidos. Según el Código ASME VIII División 2 (1998) la determinación de las tensiones en estas zonas puede realizarse por tres diferentes métodos: Análisis por elementos finitos, Análisis experimental e Índice de tensiones.

El Método de los Elementos Finitos permite obtener un detallado mapa de tensiones alrededor de la abertura pudiendo detectar las zonas donde las mismas superen a las admisibles. Permite además obtener dicha distribución bajo diferentes estados de carga.

El Método de Índice de Tensiones es aplicable teniendo en cuenta las limitaciones impuestas en ASME VIII División 2.

En este trabajo se efectúa el análisis, utilizando un software basado en el método de los elementos finitos, de las tensiones que se originan en un recipiente acumulador de aire comprimido con aberturas.

Se evalúa además, el factor de concentración de tensiones, k^m , propuesto por Y. H. Liu, B. S. Zhang, M. D. Xue y Y. Q. Liu (2004) para propósitos de diseño de aberturas en recipientes cilíndricos:

$$k^m = \frac{\sigma_{máx}^m}{\sigma_0} \quad (1)$$

donde $\sigma_{máx}^m$ es la máxima tensión circunferencial en la abertura y σ_0 es la tensión circunferencial de la lámina cilíndrica sin aberturas.

A partir de dicha ecuación, puede estimarse en determinados casos, el valor de la máxima tensión circunferencial que se origina debido a la concentración de tensiones en la abertura.

2 MODELOS ANALIZADOS

Los ejemplos analizados en el presente trabajo presentan aberturas para conexiones con eje perpendicular a la pared del cilindro, cumpliendo además las siguientes limitaciones a su geometría, según ASME VIII Div. 2:

$$\rho = \frac{d}{D} \leq 0,5 \quad \frac{D}{T} \geq 10 \quad \frac{d}{t} \geq 10 \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{d}{\sqrt{DT}} \leq 8 \quad \frac{d}{D} \leq \frac{t}{T} \leq 2$$

siendo d = diámetro medio de la conexión cilíndrica

D = diámetro medio de la envolvente cilíndrica

t = espesor de la conexión cilíndrica

T = espesor de la envolvente cilíndrica

λ = parámetro relativo a la relación de aberturas d/D y el espesor de la envolvente cilíndrica $\lambda = \rho\sqrt{D/T}$

Los diferentes modelos analizados surgieron realizando las siguientes variantes:

- se consideraron dos conexiones diametralmente opuestas manteniendo constante el diámetro (D) y el espesor (T) de la envolvente cilíndrica, variando el diámetro de la conexión (d) y consecuentemente su espesor (t) de acuerdo a tablas.
- se consideró solo una conexión.
- se varió la posición en altura de la conexión, a los tercios, centro y cuartos de la misma, manteniéndolas en zonas alejadas de los extremos del recipiente, donde existen cambios en la geometría que originan alteraciones en la distribución de tensiones .

Se detallan a continuación las características del recipiente:

Denominación: Tanque acumulador de Aire comprimido

Función: Acumulador

Volumen: 3.28 m^3

Presión de trabajo: $7 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

Máxima temperatura de trabajo: $40 \text{ }^\circ\text{C}$

Envolvente: Cilíndrica

Cabezales: Semi-elípticos

Costuras: Soldadas

Material: IRAM 503 F24

$D=1120 \text{ mm}$

$T= 9,4 \text{ mm}$

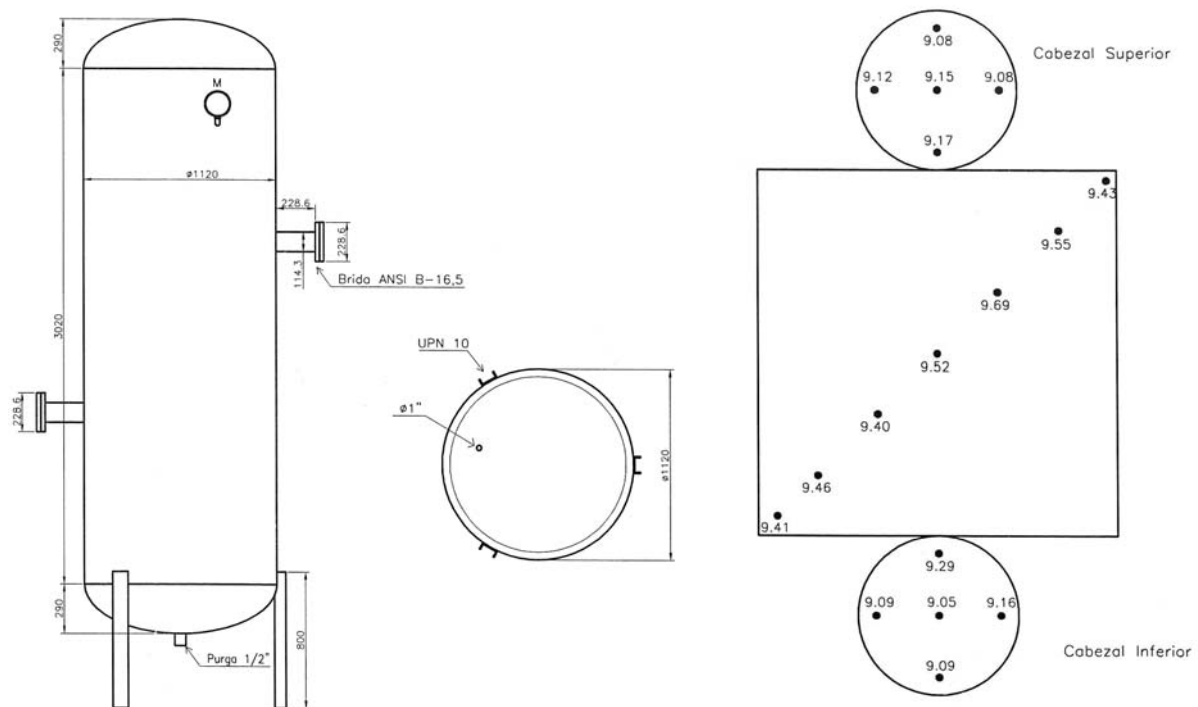


Figure 1: Plano de detalle del tanque acumulador de aire comprimido y medición de espesores

En Figura 1 se muestran: un detalle de la geometría del mismo para el caso de conexión de 4" y los espesores medidos experimentalmente, de los cuales se han adoptado los menores en la envolvente cilíndrica y ambos cabezales.

3 ANALISIS COMPUTACIONAL

El software empleado, ALGOR (2004), consta de diferentes módulos: el módulo Superdraw III, en el cual se ingresa la geometría, a través del Modulo PV Designer, las condiciones de sustentación y las acciones actuantes. Luego se convierte a dicha geometría en un modelo de elementos finitos asignando el tipo de elemento acorde al problema estudiado y la ley constitutiva correspondiente al material utilizado.

Posteriormente, procesa la información en el módulo correspondiente, analizando y resolviendo el modelo. Por último en el módulo Superview, muestra la salida de resultados de tensiones, desplazamientos y esfuerzos característicos.

En la instrumentación del modelo, debe adoptarse el tipo de elemento, la distribución del mallado y su densidad de manera que reproduzca el real comportamiento estructural. En el caso motivo del presente trabajo, se adoptó para el recipiente sometido a presión interna, un elemento del tipo *plate* rectangular de cuatro nodos, con modelo material isotrópico. En cuanto a la distribución y densidad del mallado, debe prestarse especial atención en la intersección de los cilindros, a tal fin se probaron distintas densidades de malla, adoptando la malla menos densa que no arrojó diferencias significativas en los resultados. Los elementos de sustentación del tanque, constituidos con perfiles UPN 100, según el plano de detalle indicado en la Figura 1, se modelizaron con elementos tipo *beam*. Ambos elementos utilizados se encuentran disponibles en la biblioteca de elementos del software ALGOR

En la Figura 2, los diferentes colores identifican diferentes grupos para el elemento plate, los cuales permiten diferenciar los distintos espesores. En tanto, los soportes del tanque, también se encuentran en un grupo diferente, con la finalidad de asignarle el elemento beam correspondiente. Dichos soportes se vincularon a tierra por medio de empotramientos.

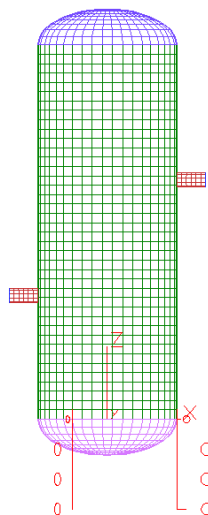


Figura 2: Modelo de la estructura real

Los datos del material que se introducen en el modelo se corresponden a los del acero IRAM 503 F24, cuya tensión admisible es de $\sigma_{adm} = 9,64 \times 10^7 \text{ N/m}^2$, módulo de elasticidad $E = 2,02 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, densidad $\gamma = 7730 \text{ kg/m}^3$, módulo de Poisson $\mu = 0,3$.

El estado de carga considerado corresponde a una presión interna de $7 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, aplicada uniformemente en los elementos plate de los distintos grupos considerados.

4 RESULTADOS OBTENIDOS

En la Tabla 1 se listan los diferentes casos analizados en los que se han modificado las dimensiones de las dos conexiones diametralmente opuestas, en la misma se incluye el valor de la máxima tensión circunferencial, $\sigma_{máx}^m$ y el factor de concentración de tensiones, k^m .

$$\sigma_0 = 4,1618 \times 10^7 \text{ N/m}^2$$

Los valores de diámetro y espesor de la envolvente cilíndrica, previamente indicados que son tomados constantes para todos los modelos analizados son respectivamente:

$$D = 1120 \text{ mm}$$

$$T = 9,4 \text{ mm}$$

Modelo	d[mm]	t[mm]	$\rho = \frac{d}{D}$	$\frac{t}{T}$	$\frac{D}{T}$	$\frac{d}{t}$	$\lambda = \frac{d}{\sqrt{DT}}$	$\sigma_{máx}^m = \sigma_{circ}$ [N/m ²]	k^m
1	88,9(3")	5,49	0,079	0,584	119,15	16,19	0,866	$7,8123 \times 10^7$	1,88
2	101,6(3,5")	5,74	0,0907	0,610	119,15	17,70	0,99	$8,80 \times 10^7$	2,11
3	114,3(4")	6,02	0,102	0,640	119,15	18,99	1,11	$9,4330 \times 10^7$	2,26
4	168,4(6")	7,11	0,150	0,756	119,15	23,68	1,64	$1,3876 \times 10^8$	3,33

Tabla 1: Modelos analizados variando las dimensiones de las conexiones diametralmente opuestas.

En Tabla 1, no se listan los resultados obtenidos para los otros modelos indicados en el punto 2, en los que como se indicó anteriormente se varía la cantidad y posición de las conexiones puesto que no se observan variaciones significativas en los resultados.

Los resultados obtenidos se corresponden con las tensiones circunferenciales (Stress Tensor y-y en los gráficos) máximas que se originan en el encuentro de cilindro y conexión, adoptando siempre el mayor valor a través del espesor del elemento. En los casos analizados las mismas se producen en la parte externa de los elementos.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las tensiones en el cuerpo cilíndrico en las zonas alejadas de los cabezales y las conexiones se encuentran en una total concordancia con los valores teóricos para una presión de 7 N/m^2 (tensión circunferencial: $4.16 \times 10^7 \text{ N/m}^2$, longitudinal: $2.08 \times 10^7 \text{ N/m}^2$), calculados a partir de las conocidas expresiones de Lamé, ver Popov. E. (1992), para recipientes de paredes delgadas.

Las configuraciones geométricas, respecto a cantidad y disposición de las conexiones analizadas e indicadas en el punto anterior, arrojan resultados que no presentan variaciones significativas. Esto permite indicar que para conexiones diametralmente opuestas no existe interferencia de las zonas correspondientes con concentraciones de tensiones, lo que nos indica que cada una trabaja como cuando se consideró una sola conexión. Lo mismo ocurre con la conexión variando su posición en altura siempre que se mantenga la misma en el cuerpo del cilindro alejada de los cabezales.

Del análisis de los resultados indicados en Tabla 1 puede observarse que para valores de $\lambda \leq 1$, coincidente con valores del factor de concentración de tensiones $k^m \leq 2,2$, según lo señalado por Y. H. Liu, B. S. Zhang, M. D. Xue y Y. Q. Liu (2004), puede estimarse el valor de la máxima tensión circunferencial que se origina debido a la concentración de tensiones en la abertura a partir de la ecuación

$$k^m = \frac{\sigma_{máx}^m}{\sigma_0} = 2,2$$

donde σ_0 puede obtenerse teóricamente a partir de la ecuación:

$$\sigma_0 = \frac{P_i \cdot r_i}{t} \quad (3)$$

También es posible conocer la zona en que las mismas se producen en el recipiente, sin mostrar diferencias significativas en zonas dispuestas diametralmente opuestas en la dirección de la generatriz del cilindro, como puede verse en las Figuras 4 y 5.

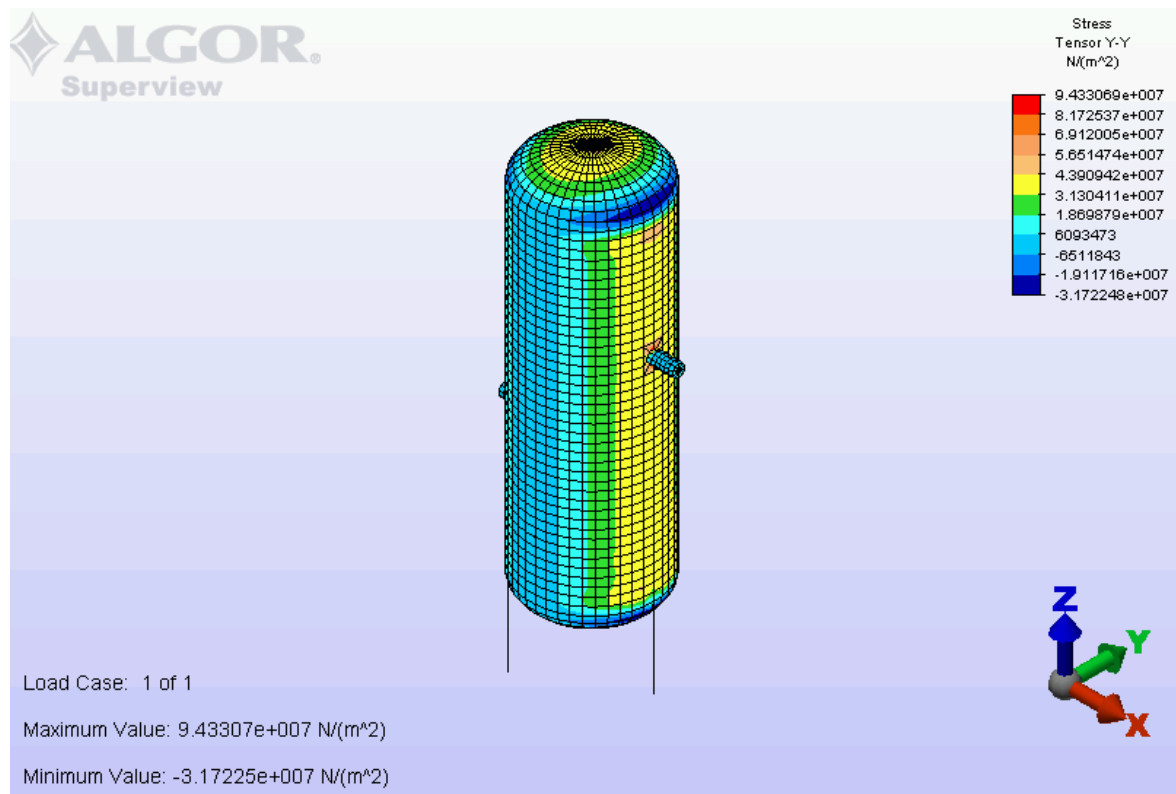


Figura 3: Mapa de tensiones de uno de los modelos analizados

En la Figura 3 puede observarse el mapa de tensiones circunferenciales en el recipiente con conexiones de 4", donde las mismas no superan la tensión admisible del material.

Se puede observar en Figura 4, la zona en que las máximas sollicitaciones se producen, mostrándose en Figura 5 y 6 un detalle de las mismas para dos de las diferentes densidades de mallas analizadas. El motivo de adoptar, en el presente trabajo, la malla menos densa es que para resultados con un mínimo porcentaje de diferencia, el tiempo computacional empleado es notablemente menor.

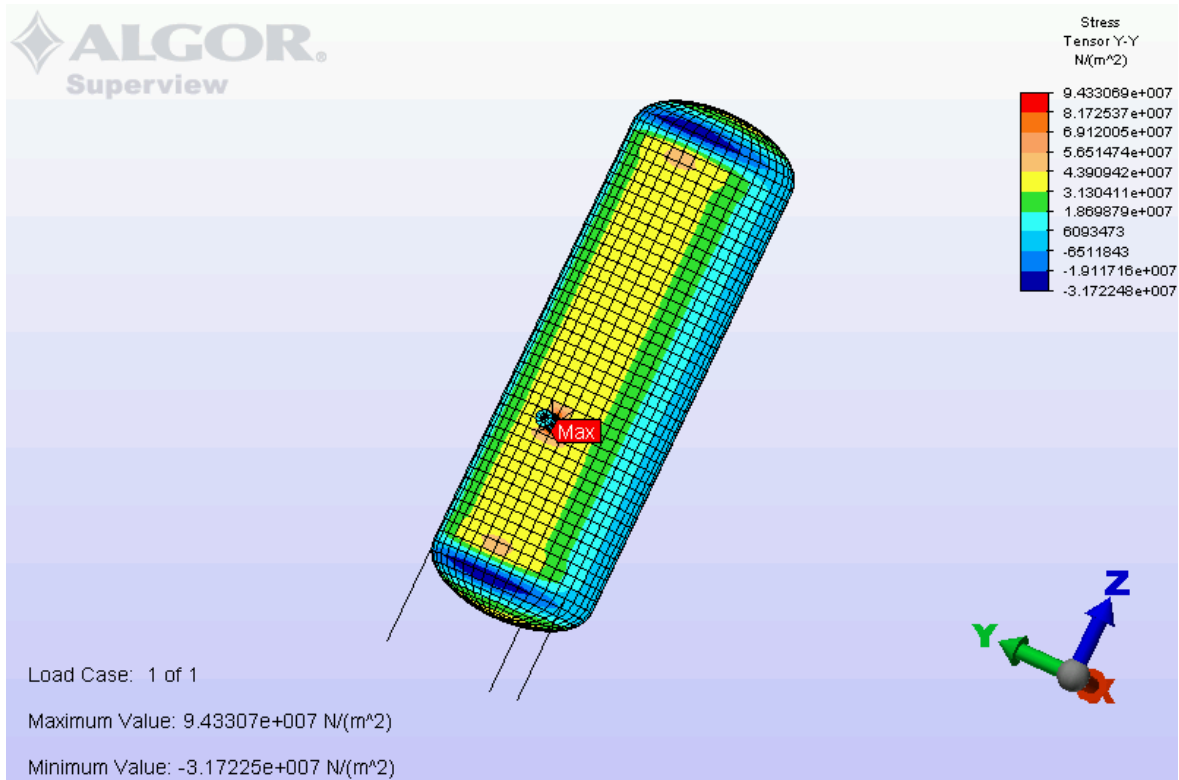


Figura 4: Zona de máxima tensión circunferencial

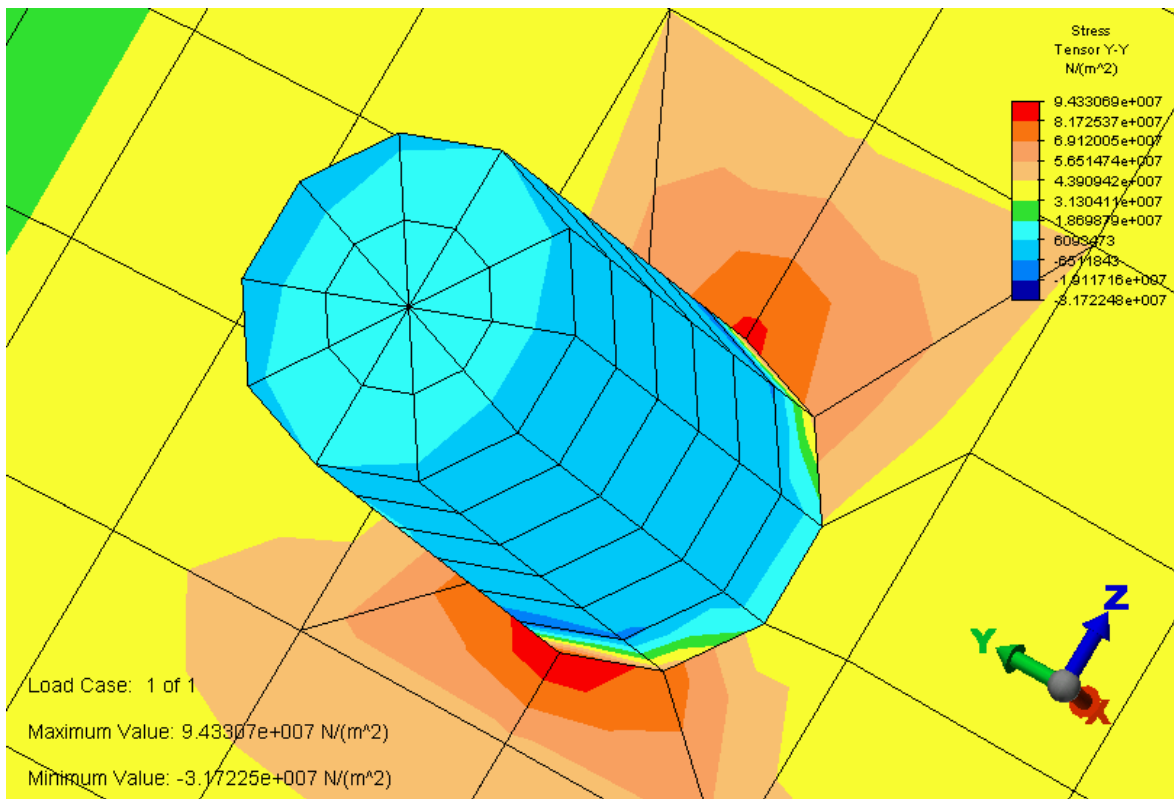


Figura 5: Detalle de la zona mas solicitada con malla menos densa

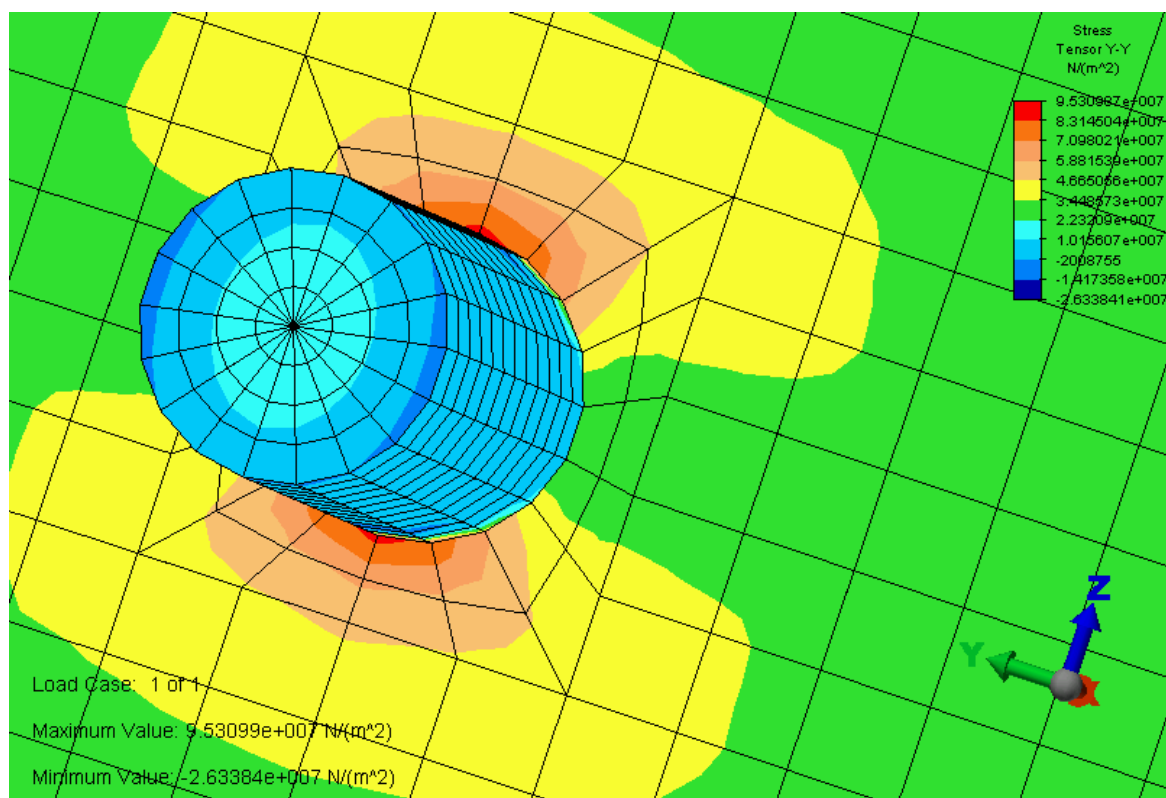


Figura 6: Detalle de la zona mas solicitada con mayor densidad de malla

6 CONCLUSIONES

El análisis de este tipo de estructuras mediante una herramienta computacional que utiliza el Método de los Elementos Finitos, resulta de gran utilidad a la hora de realizar la verificación de estructuras construidas como así también para optimizar un diseño, puesto que con la utilización del módulo específico PV Designer, fácilmente se pueden realizar cambios en la geometría obteniendo el mapa de tensiones de todo el recipiente y un detallado mapa de tensiones alrededor de la abertura, detectando las zonas donde se producen las máximas solicitaciones, y consecuentemente los posibles lugares de falla.

Por otra parte, la utilización de esta herramienta no ofrece limitaciones en la cantidad y posición de las conexiones, como tampoco los diferentes estados de carga que es posible considerar.

Para las configuraciones geométricas que permitan mantener los valores de λ dentro del límite indicado ($\lambda \leq 1$), es posible estimar a través de un factor de concentración de tensiones igual a 2,2, el valor de las máximas tensiones en la intersección, sin la utilización de ninguna herramienta adicional. Esto constituye una ayuda para el profesional encargado del diseño y verificación de este tipo de equipos.

REFERENCIAS

- Algor V15 User Package y sus correspondientes manuales.
 ASME, "Boiler and Pressure Vessel Code", Sección VIII, División 2, 1998.
 Ciancio, Godoy, Arrién. Recipientes a presión: Evaluación del estado tensional a partir de datos experimentales. *Mecánica Computacional Vol XXIII*, 229-239, 2004
 Popov. E., *Mecánica de Materiales*, Limusa-Noriega, 1992
 Y. H. DIU, B. S. Zhang, M. D. Xue y Y. Q. Liu. Limit pressure and design criterion of

cilindrical pressure vessels with nozzles, *International Journal of Pressure vessels and Piping*, 81:619-624, 2004.