

INTEGRIDAD ESTRUCTURAL DE UN RECIPIENTE, RESUELTO MEDIANTE EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS. ANALISIS DE FALLA.

H. C. Sanzi

Consultor privado TECSA INGENIERIA
Defensa 820, 1706 Haedo Prov, Buenos Aires, Argentina
Profesor adjunto en la Cátedra de Ingeniería Estructural y Director del Grupo de Investigación de Ingeniería Estructural, U. T. N.,
Facultad Regional Haedo
E-mail: csanzi@cvtci.com.ar

RESUMEN

Debido a una falla en el sistema de filtro de un recipiente contenedor de presión de una planta petroquímica, condición de tapado, fue necesario realizar un detallado análisis de tensiones y deformaciones con el objeto de garantizar la integridad estructural del equipo.

Ante la detección, por parte de los técnicos del departamento de mantenimiento de la planta, de un incremento repentino de la presión a la salida del equipo y considerando la complejidad del problema, se encaró un estudio aplicando técnicas computacionales por elementos finitos para determinar la máxima diferencia de presión admisible que es capaz de soportar dicho equipo y su sistema de filtro antes de realizar una parada no programada de la planta, con el consecuente perjuicio económico para el operador de la misma.

El modelo propuesto para el análisis como así también los principales resultados y recomendaciones son presentados en este trabajo.

ABSTRACT

In the present work, we are presenting the most important results of the stresses and displacement occurred in the pressure vessel and the filter systems under failure condition of a petrochemical plant because of an increase of the internal pressure.

As requested, the pressure vessel component and the internal structural support system have been verified with a model of finite elements based in tridimensional shells, plates and beams, under the postulated failure loading assuring with this method a high degree of accuracy in the results. The stress analysis has been accomplished into the linear elastic field.

INTRODUCCION

Las plantas industriales de alta capacidad tecnológica, como petroquímicas, refinerías, químicas, alimenticias, metalúrgicas, nucleares, etc., poseen componentes contenedores de presión, cañerías y equipos operando en condiciones extremas. En la actualidad, la tecnología alcanzada en el diseño de dichas plantas hacen que sus equipos trabajen a muy altas presiones y temperaturas con el objeto de optimizar el rendimiento del proceso, pero manteniendo los límites de seguridad y controles requeridos.

Como consecuencia en los últimos años han surgido nuevas especificaciones y requerimientos que apuntan a la adecuada selección de los materiales y a requisitos adicionales para el diseño, fabricación e inspección de los equipos.

Por otro lado, el correcto funcionamiento de dichas plantas exigen del control de especialistas con un alto grado de conocimiento y preparación con el fin de mantener operativos sus equipos, tales como recipientes, tanques, cañerías, etc.

El control de las variables operativas del proceso, el aseguramiento de la calidad, el mantenimiento

planificado y el conocimiento de la vida remanente o útil de las instalaciones, son los factores más importantes que se hacen a una planta segura.

Hoy, el manejo de las “Últimas Tecnologías de Análisis de Integridad Estructural” requieren del conocimiento de varias disciplinas, tales como:

Normas de aplicación vigentes y actualizadas.

“Stress Analysis”, mediante técnicas de elementos finitos

Mecánica de Fractura

Ingeniería de Materiales y Soldadura

Determinación de Vida Util Remanente

Análisis de Falla

El desarrollo de estas especialidades ofrece una solución efectiva a los tratamientos de los distintos problemas que se originan en la planta, como así también, permiten asegurar el correcto funcionamiento de los equipos, posibilitando la extensión en servicio de los mismos.

En este camino, se presenta un trabajo de aplicación tecnológica en donde se realizó un estudio de integridad estructural en un recipiente contenedor de presión de una planta petroquímica mediante técnicas computacionales.

Durante la operación del recipiente se detectó una falla en el funcionamiento, un aumento repentino de la presión de salida más allá de los valores normales ponía en riesgo su integridad estructural y provocaba la disminución del rendimiento de la planta, generando una pérdida económica para su operador.

GEOMETRIA DE DETALLE DEL COMPONENTE

En la figura 1 se presenta la geometría de detalle del componente en estudio. El mismo está constituido por dos cabezales semielípticos, separados por una virola cilíndrica. En su interior se ubica el elemento de soportación, de características constructivas particulares, del sistema de filtro del equipo.

La finalidad del sistema de filtro es la de retener las partículas en suspensión que arrastra el producto a lo largo del proceso. Esto se logra colocando elementos sólidos, grava de diferentes tamaños, depositados sobre una especie de rejilla.

La rejilla está formada por una serie de vigas transversales apoyadas en un anillo perimetral, soldado al recipiente. Debido a su baja rigidez flexional, es necesario adicionar un elemento soporte tomado al cabezal inferior del recipiente con el fin de evitar deformaciones inadmisibles. El conjunto estructural detallado conforma el sistema de soportación del filtro.

Por otro lado, para garantizar el pasaje de fluido a través del filtro se proporciona una pequeña presión diferencial del orden de 7 psi.

Este tipo de construcción provoca un estado de carga adicional sobre el cabezal inferior producido por el peso de los elementos sólidos y la presión diferencial, por lo cual los estados de carga mencionados necesitan ser evaluados en la etapa de diseño.

ANÁLISIS DE LA FALLA, FILTRO TAPADO

Ante la detección, por parte de los técnicos del departamento de mantenimiento de la planta, de un incremento repentino de la presión relativa entre la entrada y salida del equipo, consecuencia aparente del tapado del filtro, se encaró un estudio de integridad estructural con el objeto de determinar la máxima diferencia de presión admisible que es capaz de soportar el recipiente y los elementos estructurales del sistema de soportación antes de realizar una parada no programada de la planta, la cual involucra un perjuicio económico para el operador de la misma.

Debido a la complejidad estructural del sistema de soportación y los estados de carga presentes, fue necesario llevar a cabo un detallado análisis utilizando técnicas computacionales por elementos finitos, ya que con esta metodología de análisis se obtiene un alto grado de exactitud en los resultados.

DATOS OPERATIVOS DEL COMPONENTE

Para el cálculo se siguen los lineamientos dados por el Código ASME Sección VIII División 1⁽¹⁾.

El material del componente contenedor de presión es de acero al carbono tipo ASTM A 516 Gr 70, mientras que el sistema de soportación ASTM A 36.

Los datos principales para el cálculo son:

Presión interior de operación:	430 psi
Temperatura de operación:	300 °C
Incrementos de presión sobre la rejilla:	7 psi
Corrosión:	0.05 in
Peso del producto sólido (grava):	15400 lb

Las tensiones admisibles⁽²⁾ utilizadas en el cálculo son:

Componente contenedor de presión

$S_{adm} = 20000 \text{ psi}$ (138 N/mm²)

Sistema de soportación (adoptada)

$S_{adm} = 0.90 S_y$

$S_{adm} = 0.90 \times 36000 \text{ psi} = 32400 \text{ psi}$ (223.5 N/mm²)

Siendo S_y la tensión de fluencia del material.

ESTADOS DE CARGA

Los estados de carga considerados en el análisis son:

Peso de la rejilla y elementos sólidos (grava)

El peso propio de la rejilla y todos los elementos de soportación son tomados por el programa a través de la densidad de sus elementos.

El peso de los elementos sólidos (grava) de 15400 lb se aplica sobre las vigas que conforman la rejilla en forma de una carga distribuida.

Presión interior de operación

Se aplica la presión interior sobre la envuelta cilíndrica y cabezal superior de 430 psi

Presión diferencial sobre la rejilla y el cabezal inferior

El estado de carga limitante, para el equipo y nuestro estudio, es la presión diferencial sobre la rejilla. La misma es aplicada al modelo de cálculo mediante incrementos de presión de 7 psi, hasta alcanzar el estado tensional del componente equivalente a la tensión admisible del material.

A medida que se incrementa la presión diferencial sobre la rejilla, la presión interior sobre el cabezal inferior disminuye, en la misma proporción, a partir del valor de presión de operación, 430 psi.

Por otro lado, el incremento de presión sobre la rejilla más el peso de los elementos sólidos sobre la misma, producen la deflexión de la rejilla provocando que el cabezal inferior se encuentre con cargas mayores.

MODELO DE CALCULO POR ELEMENTOS FINITOS

Con el fin de verificar la integridad estructural del recipiente y de la soportación del sistema de filtros, se llevó a cabo un análisis mediante el método de elementos finitos. Para ello se propuso un modelo tridimensional utilizando elementos de cáscaras para representar el comportamiento del componente y placas y vigas para los elementos estructurales que conforma el sistema de filtro.

Debido a la simetría geométrica, dimensional y de cargas del componente (no se analizan las conexiones), con respecto a dos planos meridionales, se modeló 1/4 del mismo (90°) colocando las condiciones de borde adecuadas.

El análisis fue realizado considerando el material elástico lineal, isotrópico y homogéneo, partiendo de los datos indicados anteriormente. En la figura 2 se presenta el modelo propuesto, el cual quedó conformado por 4716

elementos. Con esta metodología de cálculo se asegura un alto grado de exactitud en los resultados. Para el cálculo se utilizó el programa de elementos finitos COSMOS/M⁽³⁾

RESULTADOS

Para la condición de falla analizada, con un incremento diferencial de presión a través del sistema de filtro de 28 psi, se alcanzan las tensiones admisibles del material. En la figura 3 se presentan los resultados del estado de tensiones equivalentes de Von Mises. Las máximas tensiones del componente bajo estudio son del orden de:

Componente de presión

Envuelta cilíndrica:

$$S_{VM}=120\text{N/mm}^2 (17402 \text{ psi}) < S = 138 \text{ N/mm}^2 (20000 \text{ psi})$$

Cabezal inferior:

$$S_{VM}=140\text{N/mm}^2 (20301 \text{ psi}) \cong S = 138\text{N/mm}^2 (20000 \text{ psi})$$

Sistema de soportación: (Viga Pos.12, figura 1)

$$S_{VM} = 230 \text{ N/mm}^2 > S = 223.5 \text{ N/mm}^2$$

Para la viga posición 12 se alcanzan tensiones muy concentradas, del orden de 230 N/mm² (33352psi) y que representa el 92.6 % de la tensión de fluencia 248 N/mm² (36000 psi). En el resto de los elementos estructurales que conforman el sistema de soportación del filtro las tensiones se encuentran comprendidas entre 140/210 N/mm² (20301/30253 psi). En la zona alejada del soporte central, las tensiones son inferiores a las indicadas.

En la Figura 4 se muestra la deformada del componente y del sistema de soportación.

Por lo tanto para un presión diferencial de 28 psi sobre la rejilla se alcanzan los valores de la tensión admisible del material. En esta condición se debe realizar una parada de la planta y llevar a cabo la inspección de los elementos internos del equipo.

Las varillas secundarias que conforman la rejilla del filtro, Posiciones 18 y 19, pueden ser verificadas en forma aproximada por métodos convencionales de resistencia, considerando a cada elemento como una viga simplemente apoyada (sobre las vigas transversales de mayor rigidez), sometidas a una carga uniforme de magnitud equivalente a la dada por la presión diferencial y el peso de la grava.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó un estudio de integridad estructural de un recipiente contenedor de

presión el cual, durante su funcionamiento, registró una situación de falla.

Debido a la complejidad geométrica del sistema de soportación del filtro interno del recipiente y de las características particulares de sus cargas aplicadas, fue necesario encarar el problema a partir de la utilización de técnicas computacionales mediante el método de elementos finitos.

Una vez alcanzada esta presión diferencial de 28 psi, se efectuó una parada de la planta, se inspeccionó internamente el recipiente y se detectó que parte de las vigas que conformaban el sistema de soportación de la rejilla se encontraban con deformaciones importantes, por lo cual se realizó el recambio de dichos elementos y una limpieza general del sistema de filtro.

Esta técnica de cálculo, como fue demostrado en el presente trabajo, proporciona resultados con un alto grado de exactitud, los cuales permiten tomar las decisiones necesarias para encarar rápida y eficazmente el problema y encontrar la solución adecuada, evitando gastos mayores y adicionales para el operador de la planta.

REFERENCIAS

- (1) Código ASME Sección VIII División 1 Edición 1998 Add. 99
- (2) Código ASME Sección II Material Specification App D. Edición 1998 Add.99.
- (3) Program Element Finite COSMOS/M Versión 2.5 2000

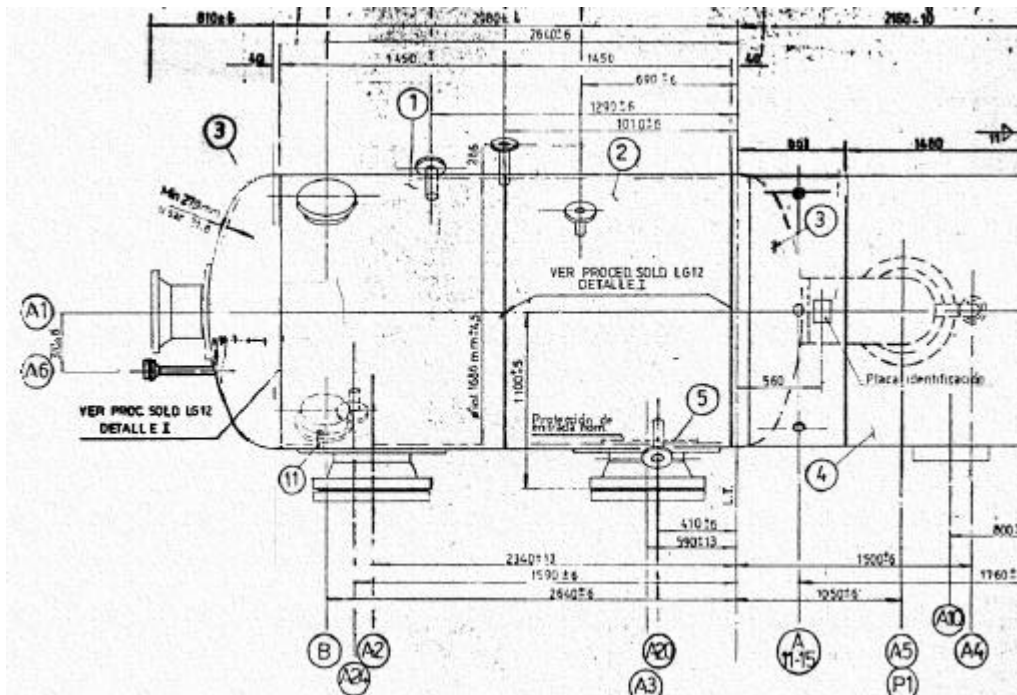


Figura 1: Geometría de detalle del componente analizado

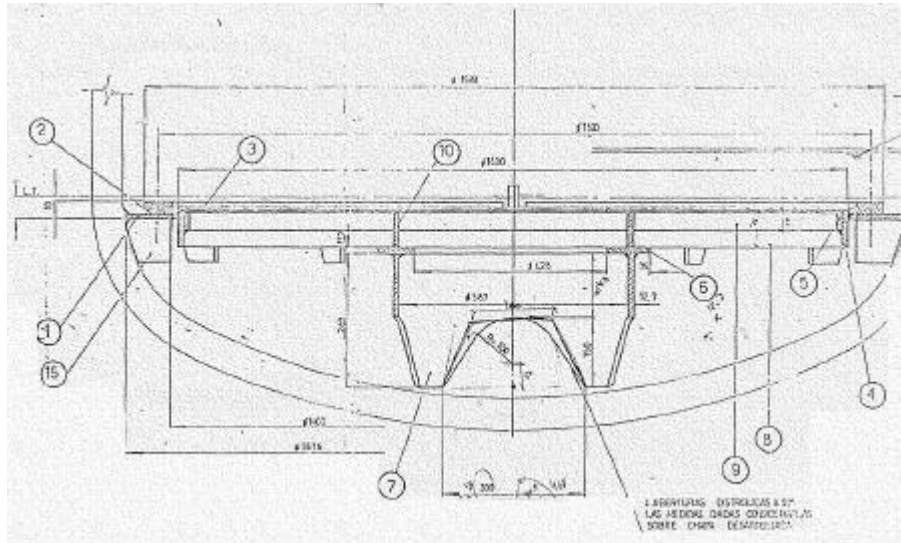


Figura 1: Geometría de detalle del componente analizado (Continuación)

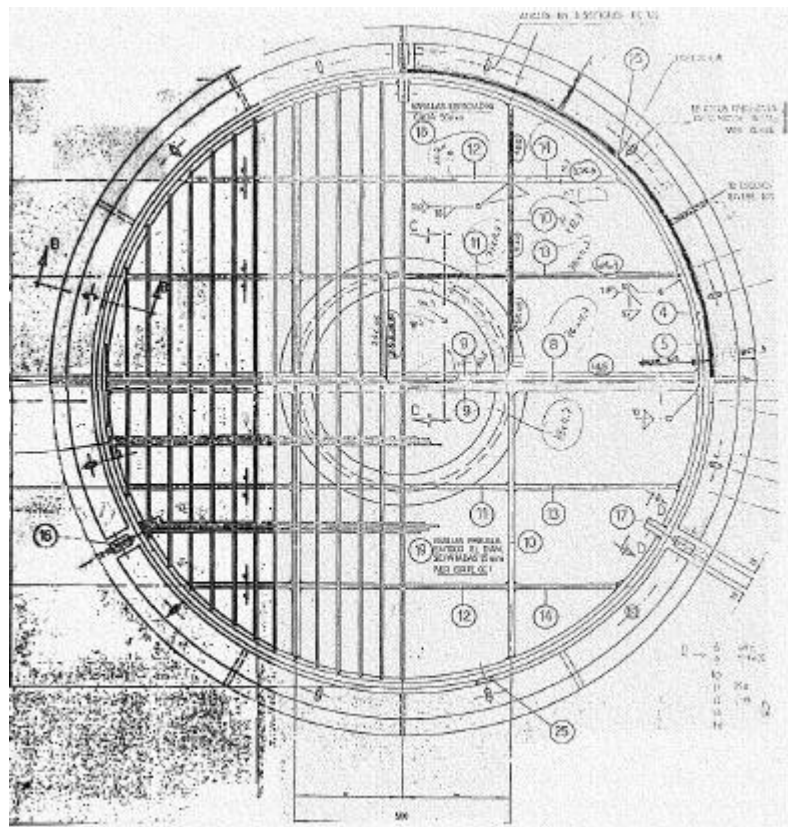


Figura 1: Geometría de detalle del componente analizado (Continuación)

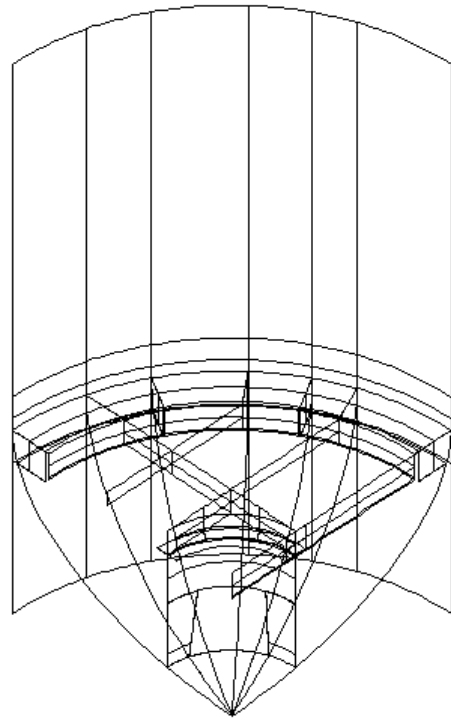


Figura 2: Modelo de Elementos Finitos

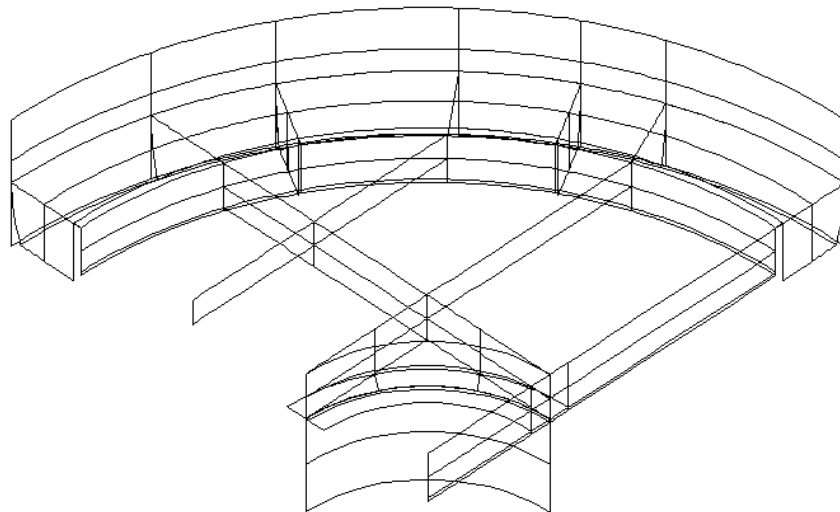


Figura 2: Modelo de Elementos Finitos, Sistema de soportación

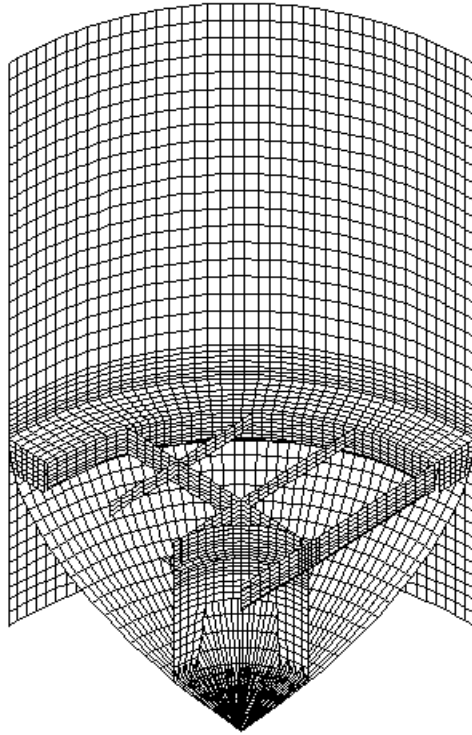


Figura 2: Modelo de Elementos Finitos (Continuación)

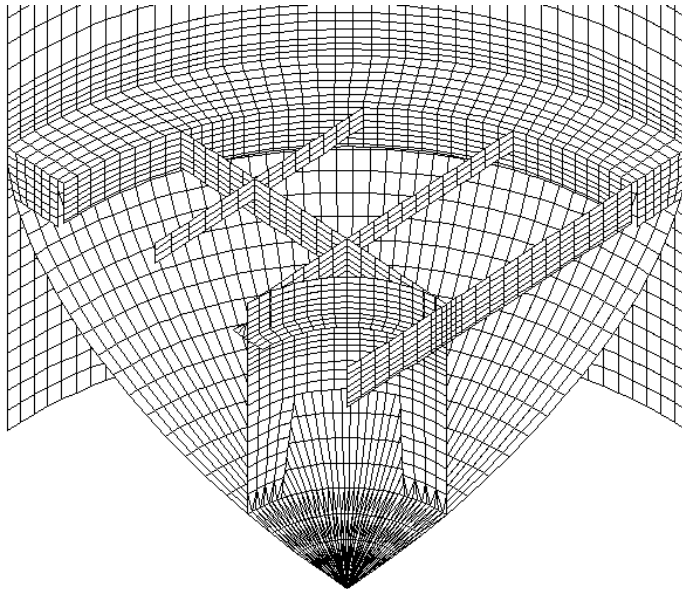


Figura 2: Modelo de Elementos Finitos, Detalles

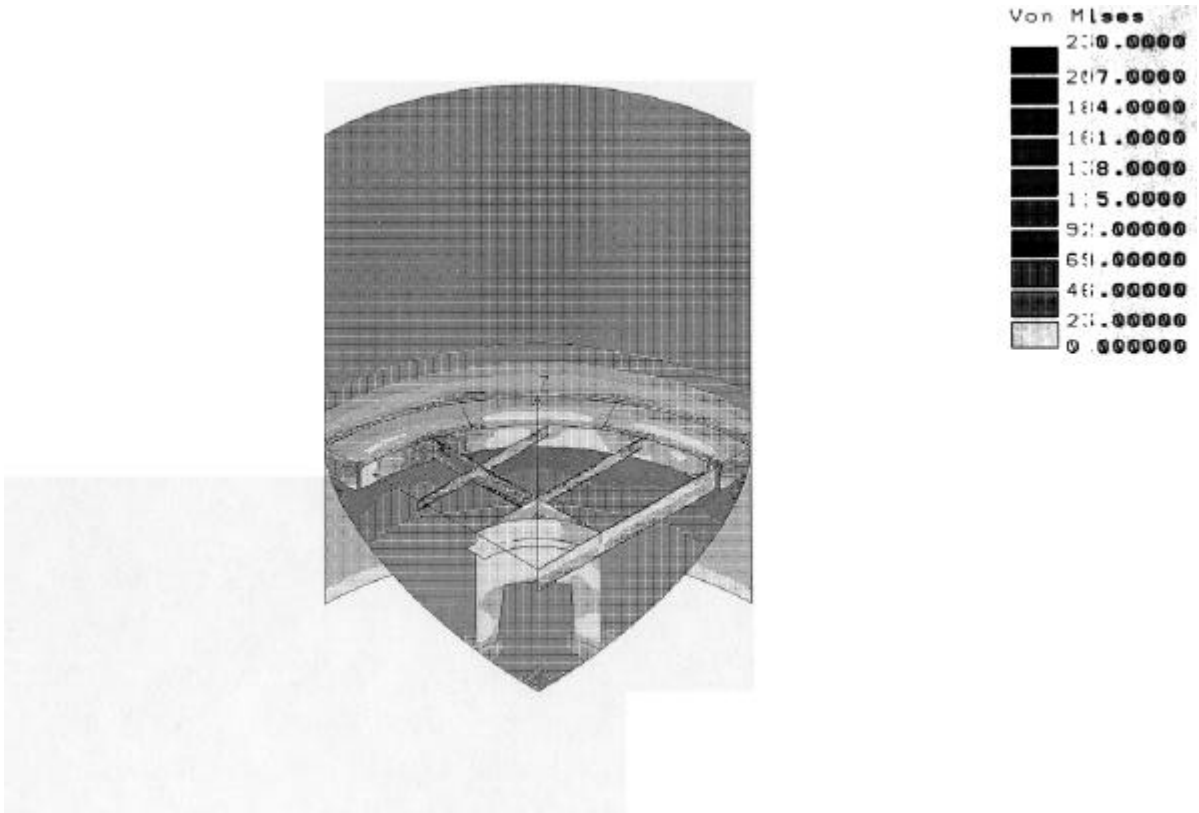


Figura 3: Estado tensional de Von Mises [N/mm²]

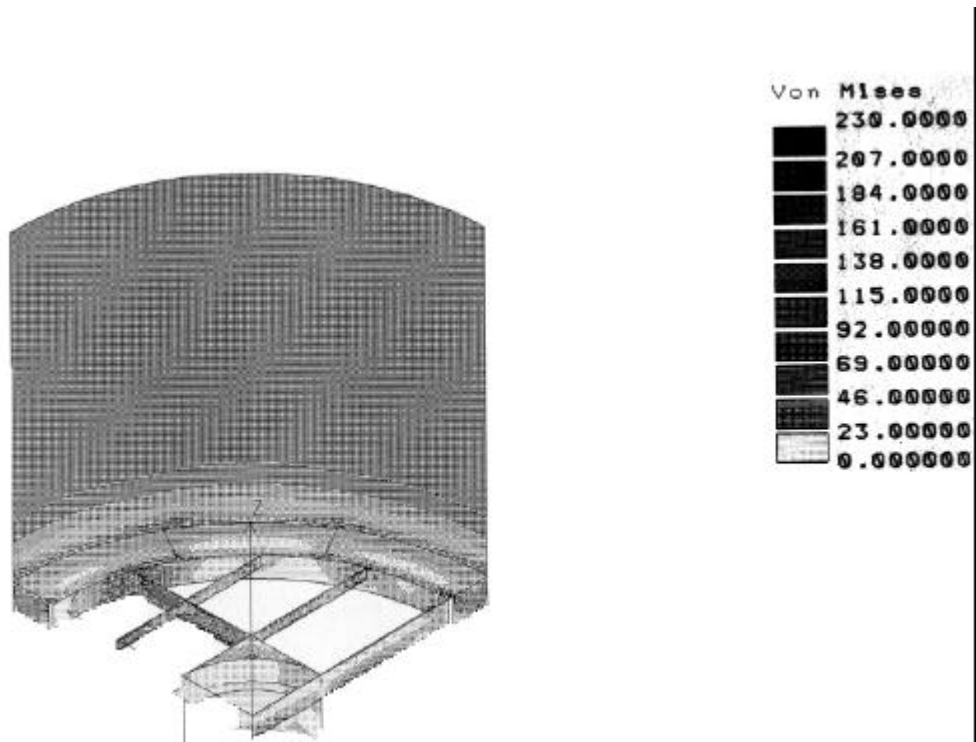


Figura 3: Estado tensional de Von Mises [N/mm²] (Continuación)

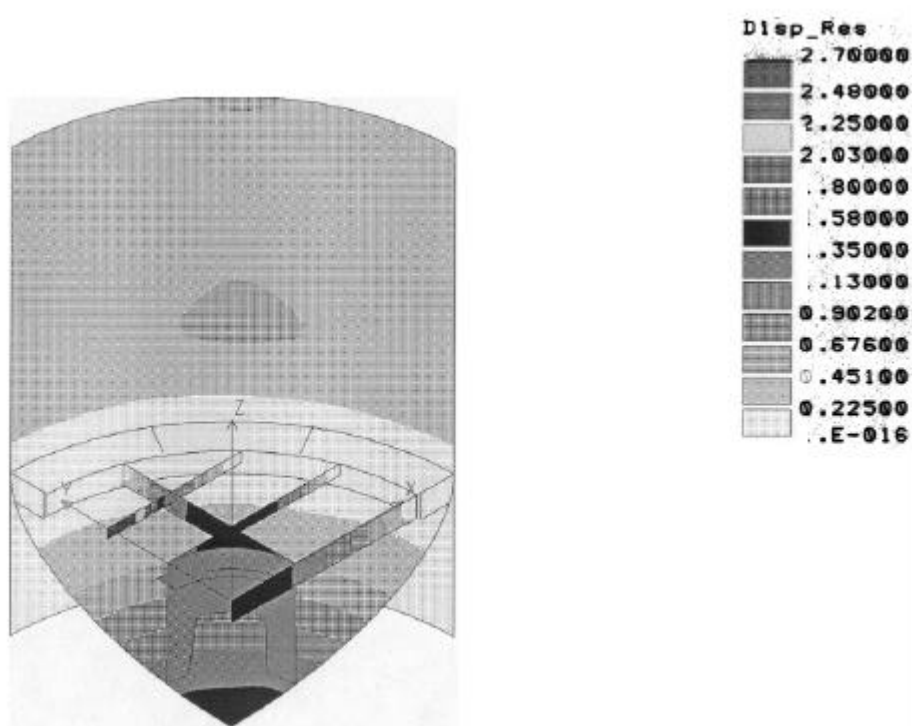


Figura 4: Desplazamientos del recipiente y del sistema de soportación [mm]

