

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CAJA REDUCTORA DE UNA LAMINADORA INDUSTRIAL

César M. Saravia^{†*}, Franco E. Dotti^{†*}
Marcelo T. Piován[†] y Víctor H. Cortínez[†]

* Estudiantes de Ingeniería Mecánica, UTN FRBB

† Grupo Análisis de Sistemas Mecánicos

Facultad Regional Bahía Blanca, Universidad Tecnológica Nacional

11 de abril 461, B8000LMI Bahía Blanca, Argentina. TE: 54-0291-4555220 FAX: 0291 4555311

e-mail: fdotti@frbb.utn.edu.ar, web page: <http://www.frbb.utn.edu.ar/gasm>

Palabras clave: Análisis de tensiones, estudio estructural, mecánica computacional.

Resumen: *En el presente trabajo, se analiza el impacto estructural de una caja reductora de una laminadora industrial generado por estados de carga no contemplados en el diseño. Para ello, se ha realizado un estudio estructural computacional de la caja de engranajes con el fin de determinar las secciones de la misma en las que se generan las mayores tensiones y deformaciones. Dicho estudio computacional incluye el trabajo realizado en una herramienta de CAD en tres dimensiones como así también el análisis de tensiones y deformaciones realizado mediante un software que utiliza el Método de Elementos Finitos (MEF).*

1 INTRODUCCIÓN

La modelación computacional de los problemas que entorpecen el funcionamiento de las actividades industriales, es en nuestros días una herramienta cuya utilización va en franco crecimiento. Esto se debe a lo ventajoso que es para las empresas, desde un punto de vista económico, realizar modelos para predecir comportamientos de estructuras sin necesidad de detener el proceso de producción. Por ello, fundamentalmente, la Mecánica Computacional es una parte intrínseca de la vida diaria en las naciones industrializadas y uno de los factores que ha facilitado el elevado nivel de vida en las mismas. El principal interés de este artículo radica en mostrar cómo la Mecánica Computacional puede contribuir a la solución de un problema tecnológico complejo, como los que afectan normalmente a la industria.

El presente trabajo fue motivado por la necesidad de una empresa nacional que, mientras mantenía el equipo en producción, necesitaba hacer un estudio del mismo para poder tomar decisiones acerca de este con considerable rapidez. Este estudio consistía en un análisis de tensiones y desplazamientos generados en la caja reductora ante una condición de izado de la misma y nuevos estados de cargas provocados por un cambio en la condición de trabajo.

Para el desarrollo de este estudio se ha recurrido a la herramienta de CAD en tres dimensiones “*SolidWorks*” a fin de introducir el modelo a la PC, luego, para el análisis de la estructura, se utilizó el software “*Cosmos DesignStar*” cuyo funcionamiento se basa en el Método de Elementos Finitos. El trabajo consta fundamentalmente de dos partes; una primera etapa en la que se estudia el comportamiento de la caja reductora al ser izada y una segunda etapa en donde se calculan los desplazamientos en lugares cercanos a los cojinetes de los ejes de laminación, generados por fuerzas de engrane.

2 MODELACIÓN DEL CONJUNTO ENSAMBLADO

Como se mencionó inicialmente, el software empleado para la modelación de la geometría fue el programa *SolidWorks*.

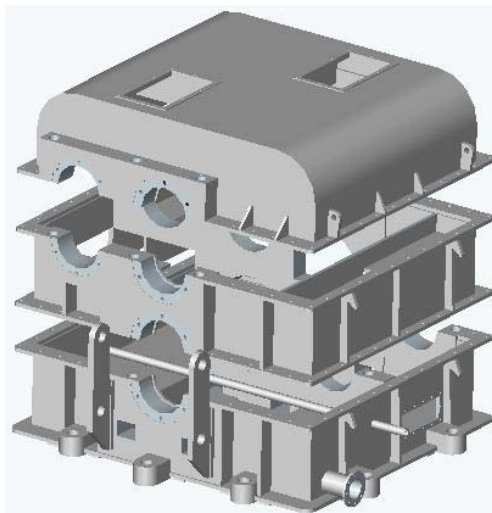


Figura 1. Ensamblaje de la caja reductora

Esta última se realizó a partir de los planos originales de las tres partes componentes (figura 1) de la carcasa que aloja los engranajes reductores. Se han reproducido exactamente la geometría original de la caja, teniendo en cuenta todos sus conexiones para dispositivos externos, por ejemplo, tanto el sistema de refrigeración como el de lubricación. Se han suavizado todos los cambios bruscos de sección para evitar zonas de concentración de tensiones, se han modificado algunas secciones con respecto a la estructura original, con el fin de simplificar el proceso de asignación de condiciones de contorno.

3 ASIGNACIÓN DE MATERIALES.

Luego de la modelación de las partes y del posterior ensamblaje en el software de CAD, se procedió a importar la geometría al software de MEF. Es allí donde se realizó el análisis completo del problema.

Teniendo en cuenta los datos de materiales brindados por los fabricantes en los planos originales, se especificó en el programa cada una de las características del material de las partes. Este material es acero al carbono (chapa laminada en caliente) F-22 (equivalente IRAM 1020) y sus propiedades, tal cual fueron indicadas en *DesignStar*, son:

Property	Description	Value	Units
EX	Elasticity modulus (1st dir)	2.06e+011	N/m ²
NUXY	Poisson's ratio in XY dir	0.3	NA
GXY	Shear modulus in XY dir	7.92e+010	N/m ²
DENS	Mass Density	7950	kg/m ³
SIGXT	Tensile strength (X dir)		N/m ²
SIGXC	Compressive strength (X dir)		N/m ²
SIGYLD	Yield stress	2.16e+008	N/m ²

4. CONDICIONES DE CONTORNO

Una vez establecidas las propiedades del material, se asignaron al modelo las condiciones de contorno que representan en forma más precisa las solicitaciones reales para cada uno de los modelos que se detallan a continuación.

4.1 Modelo 1: Condición de izado

Teniendo en cuenta que el izado de la caja ensamblada se realiza por medio de cuatro eslingas ancladas en los cáncamos ubicados en la parte central (ver figura 1), se colocó en ellos una restricción vertical, permitiendo de esta manera el desplazamiento axial, transversal y la rotación de los cáncamos (ver detalle en la figura 2).

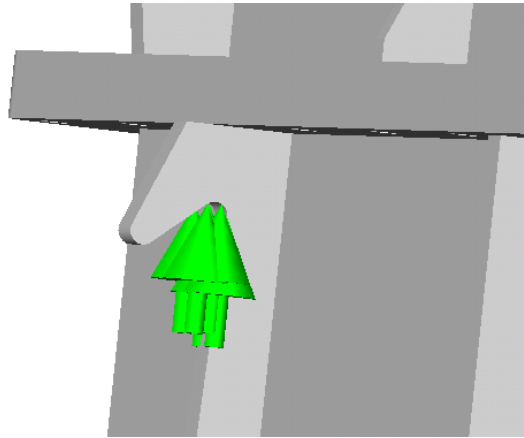


Figura 2: Restricciones del modelo 1.

Teniendo en cuenta que este modelo tiene como objetivo predecir las tensiones y deformaciones originadas durante el izado, y no las debidas a condiciones de trabajo, las cargas a considerar son: cargas de peso propio, carga generada por la precarga de los espárragos que unen los tres cuerpos, y por último, las cargas generadas en las bancadas debido al peso propio de los ejes y engranajes. Todas estas cargas fueron consideradas como cargas distribuidas aplicadas sobre sus respectivas superficies. La distribución de carga en los cojinetes, originada por el peso de los ejes y engranajes, se adoptó en forma sinusoidal, como se ve en la figura 3.

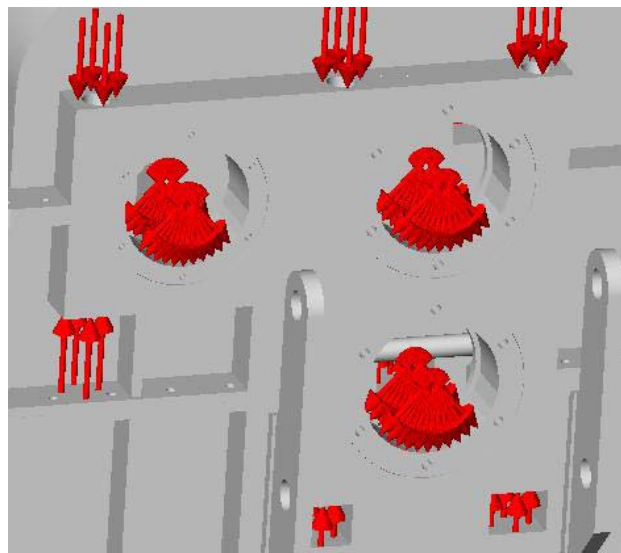


Figura 3: Distribución de cargas del Modelo 1.

4.2 Modelo 2: Solicitación por fuerzas de engrane

En este caso, la restricción debe hacerse teniendo en cuenta las condiciones de trabajo. Por ello, la estructura se ha supuesto empotrada en los anclajes de la base (como se encuentra en

su estado de servicio normal). En este caso, la condición de carga es un tanto más exigente que el caso anterior debido a la dirección de la carga en los cojinetes. En la condición de trabajo se originan reacciones en los cojinetes debido al engrane (las cuales fueron calculadas mediante consideraciones básicas del cálculo de engranajes); estas reacciones tienen dos componentes en el plano de las bancadas y por lo tanto una resultante con una dirección determinada. Esta resultante es la utilizada para cargar el modelo. Es preciso aclarar que esta carga actúa en la superficie del cojinete, en la dirección circunferencial, abarcando un ángulo de 90° de sector circular.

5. PROCESO DE MALLADO DEL MEF

Las características de la malla de MEF son casi idénticas para ambos modelos. El elemento finito utilizado para la discretización es un elemento tetraédrico 3D de 10 nodos. Cada nodo en estos elementos sólidos tienen seis grados de libertad: tres traslaciones y tres rotaciones. La generación de la malla es automática, pero previamente deben seleccionarse las características que gobiernan la discretización. Las utilizadas en ambos modelos se muestran a continuación:



Figura 4: Características seleccionadas para la malla.

Luego de un tiempo computacional de aproximadamente doce minutos, utilizando una PC AMD Athlon 2600+ con 512 Mb de memoria RAM, se obtuvo la discretización final del modelo, como se observa en la figura 5.

En regiones donde hay cambios de sección con radios muy pequeños, se han aplicado controles de malla manuales (*Mesh Control*), con el fin de establecer el tamaño del elemento y así poder tener una correcta representación de los gradientes de tensión. Además, se ha desactivado el control *Automatic Transition* (ver Figura 4) para evitar remallados excesivamente finos y evitar así, excesivo costo computacional. Este control aplica automáticamente *Mesh Control* a sectores de la geometría que poseen cambios de dirección con radios pequeños. En ambos casos se realizaron pruebas con diferentes mallas, teniendo en cuenta una condición de contacto entre los tres cuerpos (*node to node*) y considerando la

totalidad de los componentes como una estructura única (*bonded*). Debido al excesivo tiempo computacional insumido para resolver el análisis de contacto y, teniendo en cuenta la mínima diferencia entre los resultados obtenidos de ambas pruebas, concluimos que con el análisis del ensamblaje como una estructura continua, se obtiene un grado de aproximación suficiente para modelar lo que acontece en la realidad.

Teniendo en cuenta todos estos factores, la malla obtenida se observa en la figura 5.

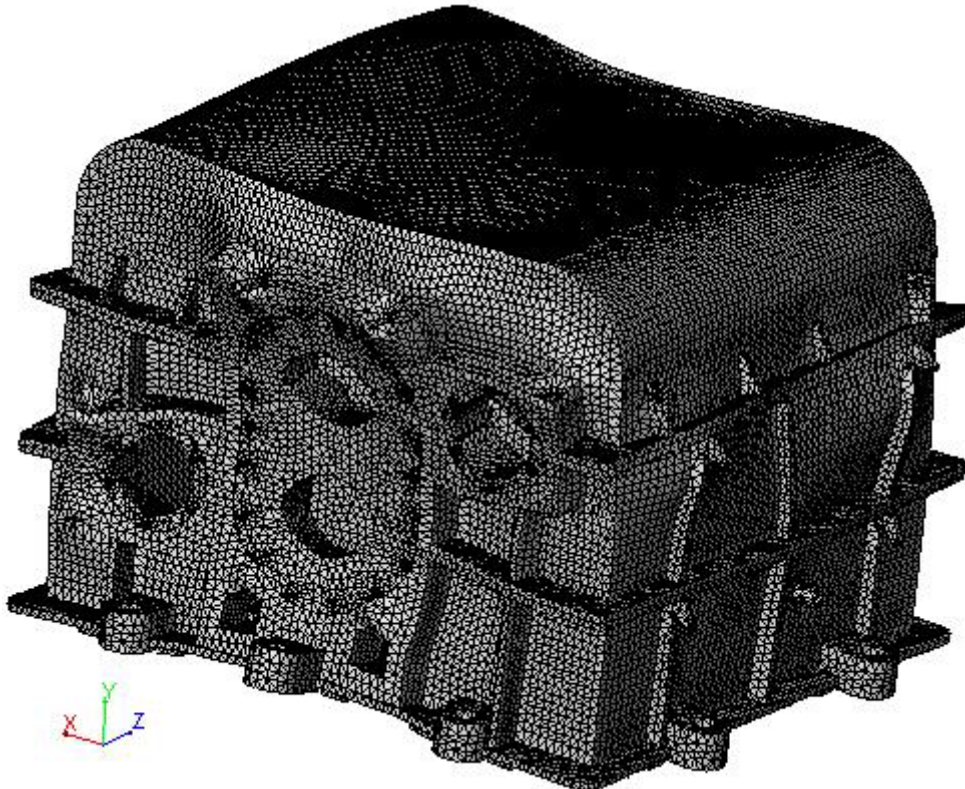


Figura 5: Mallado del programa *DesignStar*, obtenido luego del análisis.

Notar que la imagen de la malla de la figura 5 fue obtenida luego del análisis, por lo que muestra la estructura ya deformada.

6. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Una vez mallada la estructura y habiendo especificado las condiciones de borde, se procede con el último paso del estudio: la solución de las ecuaciones de FEM y el post proceso. Para ambos estudios, el *solver* utilizado es el *FFEPlus* que resuelve las ecuaciones del MEF usando técnicas aproximadas, es decir: en cada iteración asume una solución, evalúa los errores y continúa iterando hasta que el error se vuelve aceptable.

6.1 Modelo 1: Condición de izado

Una vez resuelto el modelo para esta condición, habiendo insumido un tiempo

computacional de aproximadamente sesenta minutos, se realizó el post proceso para lograr una correcta visualización de los resultados. Las siguientes dos figuras (figuras 6 y 7) muestran los mapas de tensiones utilizando el criterio de Von Mises.

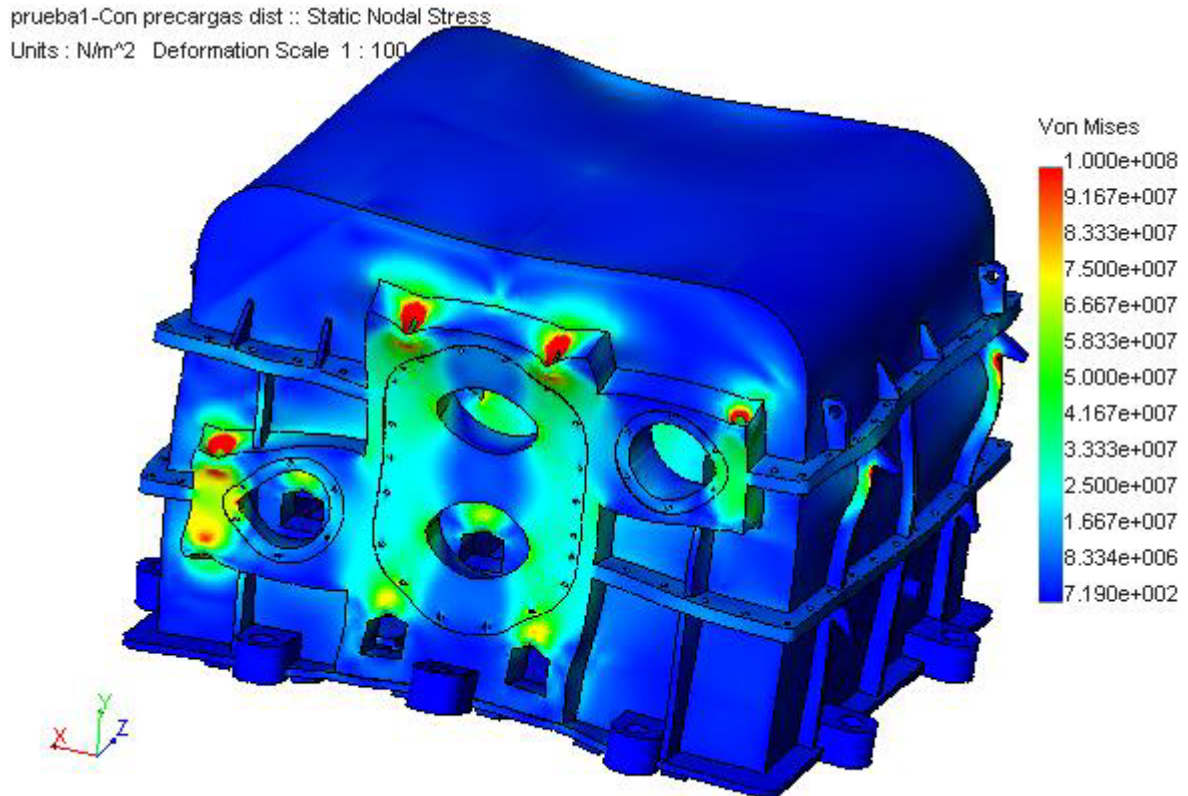


Figura 6: Tensiones de Von Mises del modelo 1.

Como puede observarse, los valores de tensiones obtenidos no alcanzan a un 50% del límite elástico del material (216 MPa) en la sección de mayor sollicitación, es decir, en la zona de los cáncamos. Esto indica que la caja reductora puede izarse sin problemas.

Puede verse claramente que las máximas tensiones se localizan en la zona de precarga de los espárragos y, lógicamente, en la zona de cáncamos desde donde se soporta la estructura durante el izado.

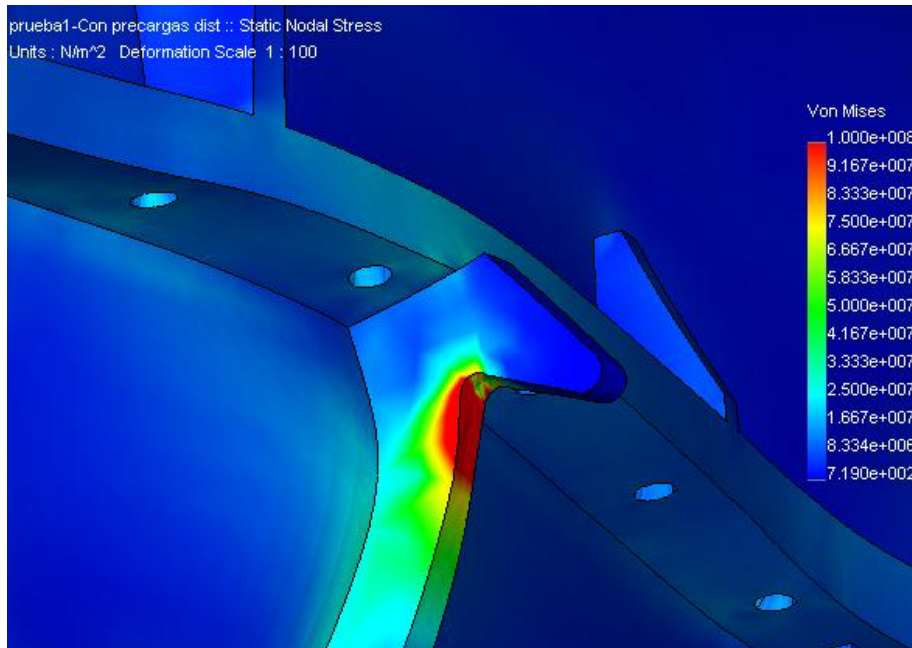


Figura 7: Tensiones de Von Mises en la zona de cáncamos.

Se presenta también el mapa de desplazamientos absolutos de la estructura deformada (figura 8). Pueden apreciarse los desplazamientos máximos en la zona donde actúan las precargas.

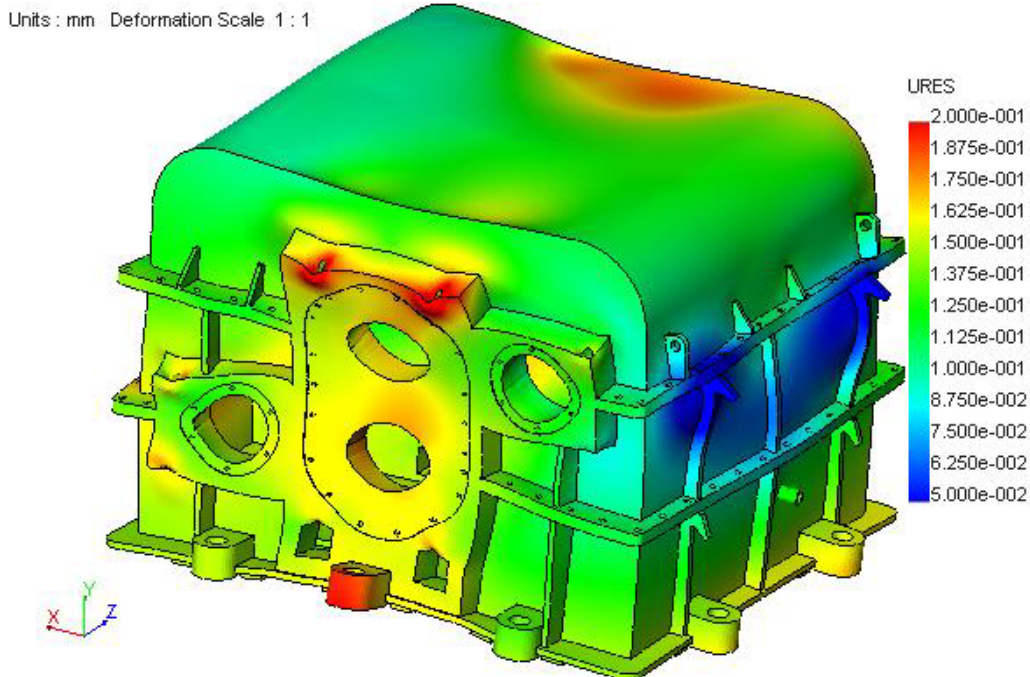


Figura 8: Desplazamientos absolutos para el modelo 1.

Como estudio adicional se realizó el análisis de deslizamiento entre las partes componentes. Para ello, se ha cuantificado la relación entre la tensión normal y la tensión de corte máxima en el plano de contacto. Es decir, cuantificamos un coeficiente de rozamiento efectivo (para predecir el potencial deslizamiento entre las partes).

Se encontró que los valores del coeficiente efectivo no exceden del valor 0.2, que representa el coeficiente de rozamiento real entre las partes para el material utilizado. En esta condición se asegura que no se produzca un desplazamiento relativo entre las partes.

6.2 Modelo 2: Solicitación por fuerzas de engrane

De igual manera que en el inciso anterior, en esta segunda modelación se obtuvieron también los valores de tensiones de Von Mises y de desplazamientos generados por las fuerzas de engrane. Debido a que el motivo de este análisis fue calcular los valores de desplazamientos en la zona de cojinetes, en la figura 9 se muestran las tensiones y desplazamientos en las zonas más solicitadas (cojinetes inferiores de la bancada frontal).

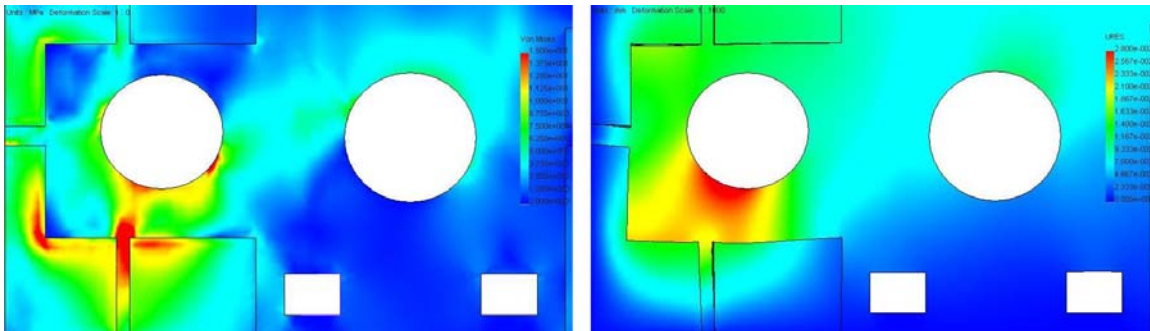


Figura 9: Tensiones de Von Mises

Es preciso aclarar que, a los efectos del cálculo de los desplazamientos, no se ha cargado la estructura con las precargas de los espárragos ya que el alojamiento de los cojinetes es rectificado luego de ensamblar los cuerpos. Por lo tanto, estas cargas no introducen deformaciones que puedan afectar a los huelgos de los cojinetes. Se ha encontrado que el orden de magnitud de los desplazamientos máximos es la centésima de milímetro, lo cual es aceptable para las condiciones de trabajo normales.

7 - CONCLUSIONES

En este trabajo se ha mostrado la aplicación del método de elementos finitos para analizar una situación real de la industria. Los resultados de dicho estudio fueron de importancia como una herramienta para la toma de decisiones sobre procesos de operación en planta. En el caso particular analizado se ha encontrado que el equipo estudiado puede comportarse adecuadamente para las nuevas condiciones de carga previstas.

7 - AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado gracias a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la

Facultad Regional Bahía Blanca de la Universidad Tecnológica Nacional. V.H. Cortínez agradece también a CONICET. Se agradece también al estudio J.L. Piña de Bahía Blanca con quienes se ha realizado el trabajo a partir del cual fue realizado este informe.

8 - REFERENCIAS

- [1] O.C. Zienkiewicz y R.L. Taylor, *The finite element method*, McGraw Hill, Vol. I., 1989, Vol. II, (1991).
- [2] J.M. Reddy, *An Introduction to the finite element method*, McGraw Hill, 1993.
- [3] T.R. Chandrupatla y A.D. Belegundu, *Introducción al estudio del elemento finito en ingeniería*, Prentice may, 1999.
- [4] *Cosmos DesignStar manuals and applications*, Structural Research and Analysis Corporation.
- [5] J.E. Shigley y C.R. Mischke, *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Quinta Edición, McGraw Hill, 1990.
- [6] R.L. Mott, *Diseño de Elementos de Máquinas*, Segunda Edición, Prentice Hall, 1992.
- [7] V.H. Cortínez, M.T Piován, S.P. Machado, C.M. Saravia y F.E.Dotti, *Informe Técnico 903*, Grupo de Análisis de Sistemas Mecánicos, 2003.
- [8] V.H. Cortínez, M.T Piován, S.P. Machado, C.M. Saravia y F.E.Dotti, *Informe Técnico 7B03*, Grupo de Análisis de Sistemas Mecánicos, 2003.