

EVALUACIÓN DE ADECUACIÓN AL SERVICIO PARA UNA TORRE FRACCIONADORA EN UNA UNIDAD DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO (FCC)

Eduardo Rincón, PDVSA Intevep, rinconej@pdvsa.com
Juancarlos Uzcátegui, PDVSA Intevep, uzcateguijs@pdvsa.com
Egler Araque, PDVSA Intevep, araqueee@pdvsa.com

Sinopsis

Este trabajo presenta un estudio de evaluación de adecuación al servicio e integridad mecánica para una Torre Fraccionadora de una Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (Fluidized Catalytic Cracking – FCC), ubicada en una refinería de Venezuela. Esta torre, presentaba deformación en una sección cilíndrica, ocasionada por la exposición a altas temperaturas, producto de un incendio. El objetivo del estudio consistió en determinar si las deformaciones presentes en la torre cumplían con los criterios de aceptación mecánica para la continuidad en servicio establecidos en la norma API 579-1/ASME FFS-1 (Fitness For Service) en sus niveles I, II ó III, y validar varias opciones de reparación, en caso de ser necesarias, que garantizaran la confiabilidad e integridad mecánica de la torre durante la operación de la planta hasta la próxima parada programada de la unidad; para ello, se realizó la evaluación de las propiedades mecánicas del material, mediante la ejecución de ensayos destructivos, sobre una muestra obtenida en campo; se efectuó un análisis de la microestructura y ensayos no destructivos en sitio; se determinó el estado de esfuerzos de la estructura deformada, mediante un análisis por el método de elementos finitos; se analizaron las posibles opciones de reparación, que contemplaron el uso de 12 ó 18 elementos de refuerzo (costillas), cada una a partir de perfiles HEA 220, soldados a 2 aros de 10 cm de ancho y de 1” de espesor. Como resultado de la aplicación de esta metodología, se determinó la integridad estructural del equipo, lo cual permitió la toma de decisiones oportuna, a fin de evitar días de retrasos adicionales que significaban pérdida de oportunidades a la Corporación.

1. Introducción

Durante los trabajos de inspección realizados por el personal de la refinería, en una torre fraccionadora de una unidad FCC, se detectaron deformaciones en las virolas ubicadas entre las elevaciones 21 y 23,5 metros respecto al nivel del suelo. Estas deformaciones fueron ocasionadas debido a que el equipo estuvo expuesto a altas temperaturas producto de un incendio.

Con la finalidad de garantizar la confiabilidad operacional e integridad mecánica del activo durante la operación normal de la planta, se realizó un estudio para determinar el estado actual de esfuerzos de la estructura. Para ello, se caracterizó el material expuesto a las altas temperatura, mediante la ejecución de ensayos destructivos, análisis de la microestructura y ensayos no destructivos en sitio en función de evaluar las propiedades del material. Paralelamente, se determinó mediante un análisis mecánico el estado de esfuerzos actual de la estructura, para ello, se utilizó los criterios establecidos en la norma internacional API 579-1/ASME FFS-1 (Fitness for Service).

2. Desarrollo

Para evaluar las deformaciones en el casco de la torre fraccionadora, fue empleada la parte VIII (Assessment of Weld Misalignment and Shell Distortions) y parte XI (Assessment of Fire Damage) [i]. La parte VIII, parágrafo 8.2.1.2 de la norma API 579 Fitness for Service, recomienda utilizar una evaluación mediante análisis por métodos numéricos (elementos finitos) en los casos donde se

observen distorsiones generales en las paredes del recipiente (curvaturas múltiples en una zona definida), tal como se evidenció en la inspección visual realizada en la torre, así como la evaluación de las propiedades mecánicas del material.

Igualmente, se realizó un análisis metalográfico y evaluación de las propiedades del material mediante la toma de réplicas in situ y ensayo destructivo en una zona de la sección a evaluar.

2.1 Evaluación Metalúrgica

En la Figura A-1 se muestra un esquema de la torre fraccionadora, donde se resalta la zona de interés a evaluar, cuyo material de construcción, según plano [ii], es acero al carbono de acuerdo a la norma ASTM A 516 Gr 70 [iii].

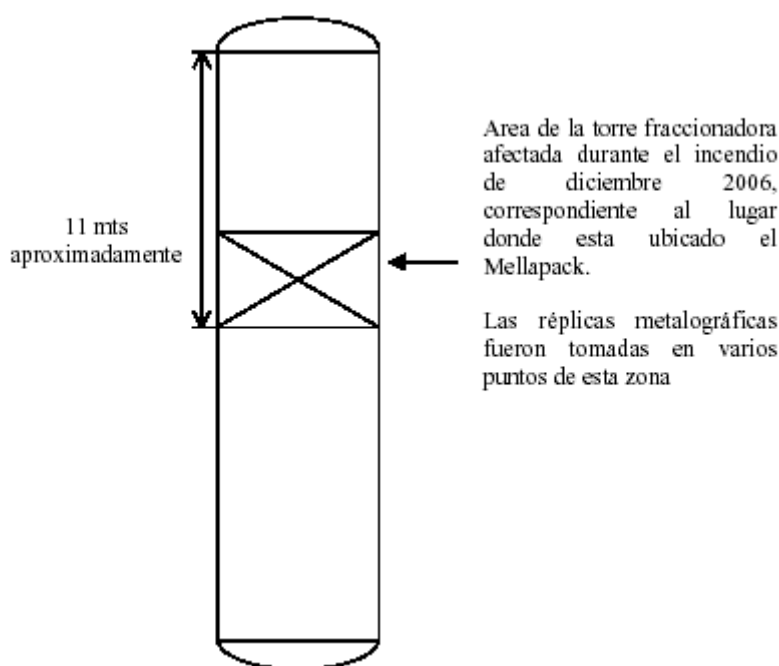


Fig. A-1. Esquema de la torre fraccionadora

El criterio de evaluación empleado fue realizar las réplicas in situ, con el fin de comparar los resultados obtenidos. Estas zonas fueron seleccionadas basándose en la severidad de la deformación alrededor de toda la virola afectada. Los daños más significativos se encontraron en el lado Sur.

Las réplicas realizadas revelaron cambio microestructural en el material, lo cual afecta las propiedades mecánicas del mismo. Debido a esto, se tomó una muestra del material en la zona afectada por el incendio cercana al área de mayor deformación y se realizaron ensayos mecánicos de tracción, dureza y doblado en un taller externo. Los resultados arrojados por la evaluación indicaron que las propiedades mecánicas del material no habían sido afectadas significativamente por la exposición al fuego [iv], a pesar de observarse una transformación microestructural en las superficies evaluadas. Lo cual, permitió utilizar los valores de las propiedades mecánicas del material obtenidas del Código ASME Sección II, parte D, durante la simulación numérica, para la evaluación mecánica de la torre.

2.2 Evaluación Mecánica

La evaluación de integridad mecánica de la zona deformada de la torre fraccionadora se realizó mediante un modelo computacional, donde se determinó la distribución de esfuerzos con el uso del método del elemento finito.

Para ello, se realizó una inspección en sitio, donde se midieron las deformaciones en la sección (virola) afectada a fin de representar la condición actual de la zona en estudio, a través del procedimiento que se describe a continuación:

Partiendo de dos reglas graduadas de 3 m de longitud cada una y apoyadas en un aro de 12,7 mm (0.5 pulg.) de espesor y 80 mm (3,15 pulg.) de ancho existente en la parte interna de la torre, se midieron las distancias horizontales entre la regla y la superficie interna de la sección deformada. Las distancias horizontales se registraron cada 100 mm (3,92 pulg.) a partir del punto de referencia de la regla guía hasta alcanzar 2000 mm (78,74 pulg.). Estas mediciones se realizaron barriendo el perímetro interno cada 10° hasta completar los 360°. El punto de referencia 0° se ubicó al norte de la torre y las mediciones se realizaron a partir de este punto en sentido horario. En la Figura 2 se observa un esquema del procedimiento empleado.

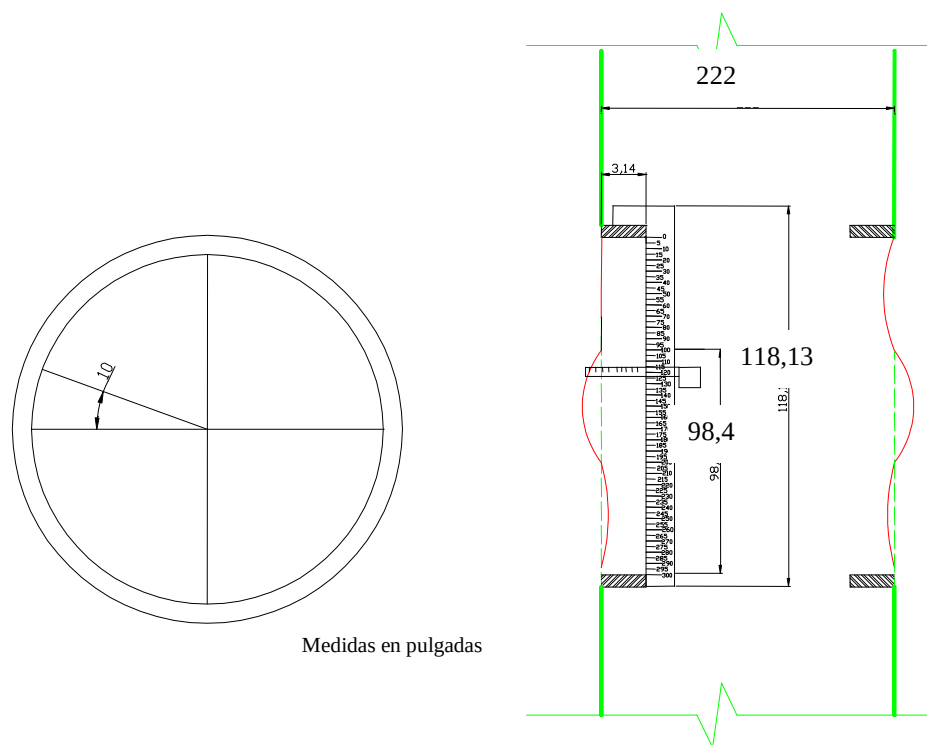


Fig. A-2. Esquema de medición

Para determinar el estado de esfuerzo de la sección deformada de la torre se construyó un modelo geométrico utilizando el programa comercial para el pre-procesamiento, como se observa en la Figura A-3, y un modelo analítico mediante un programa comercial de elementos finitos.

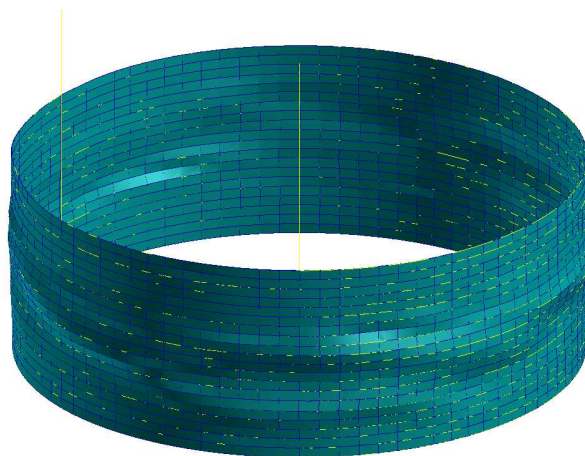


Fig. A-3. Modelo geométrico

Se evaluó mecánicamente el componente deformado y las opciones de reparación. Dichas opciones contemplaron el uso de 12 y 18 costillas cada una a partir de perfiles HEA 220, así como 2 aros de 1" de espesor (Ver Figura A-4).

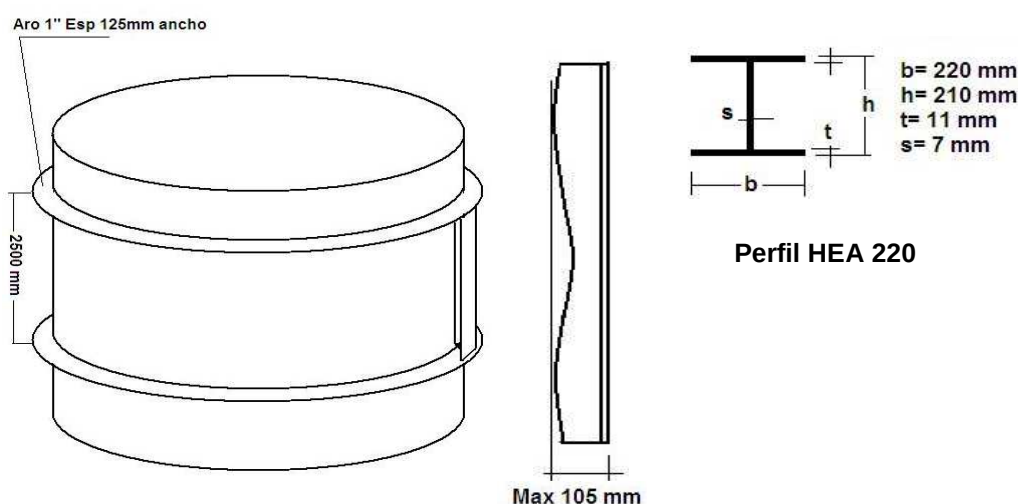


Fig. A-4. Detalles del arreglo y tipo de refuerzo a instalar

Los resultados obtenidos de las evaluaciones mecánicas se comparan con los criterios de aceptación para la operatividad de equipos establecido en el apéndice B, párrafo B.2 de la norma API 579-1 / ASME FFS-1

2.3 Evaluación mediante Elementos Finitos

2.3.1 Modelo computacional

La evaluación de la sección deformada de la torre se realizó mediante un modelo geométrico 3D. El modelo analítico se elaboró con elementos “shell” tipo cuadriláteros de cuatro nodos. La malla fue refinada hasta alcanzar la convergencia (Ver Figura 5). Las propiedades mecánicas del material se obtuvieron del Código ASME Sección II, parte D [v]. En la Figura A-6 se presenta un esquema de las condiciones de borde del modelo mecánico establecidas a partir del efecto ejercido por la presión interna. Adicionalmente, se tomaron las siguientes consideraciones:

- Material: acero ASTM SA 516 Gr. 70
- Presión de diseño de la torre: 45 psig
- Temperatura en la zona evaluada: 415-465 °F
- Tipo de análisis: lineal elástico

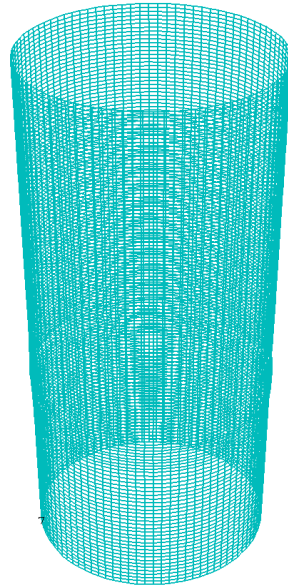


Fig. A-5. Idealización del modelo computacional (detalle de la malla utilizada)

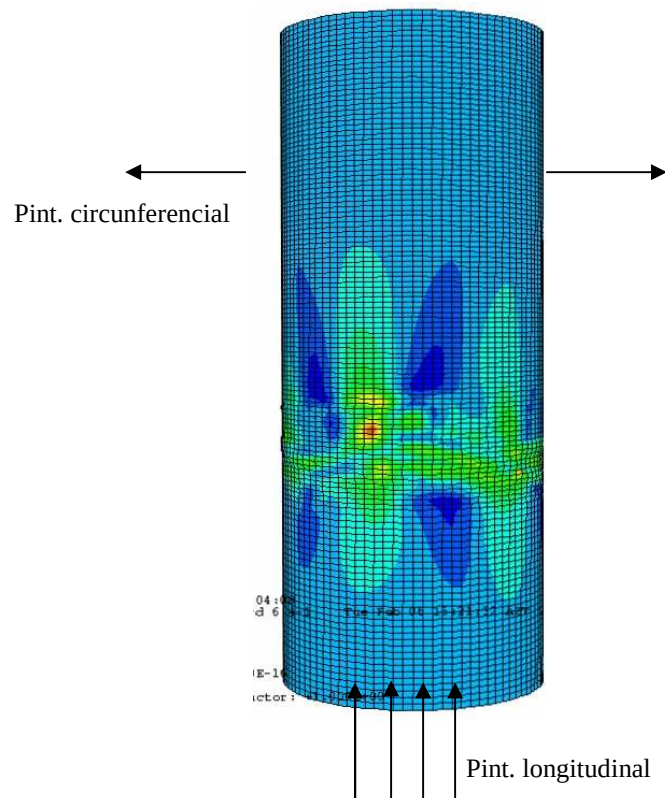


Fig. A-6. Condiciones de borde

2.3.2 Resultados

En la Figura A-7 y Figura A-8 se muestra la distribución de esfuerzo correspondientes a las caras interna y externa de la pared deformada de la torre. Para la carga establecida, el valor del esfuerzo máximo corresponde a 33.760 psi y 32.700 psi, respectivamente.

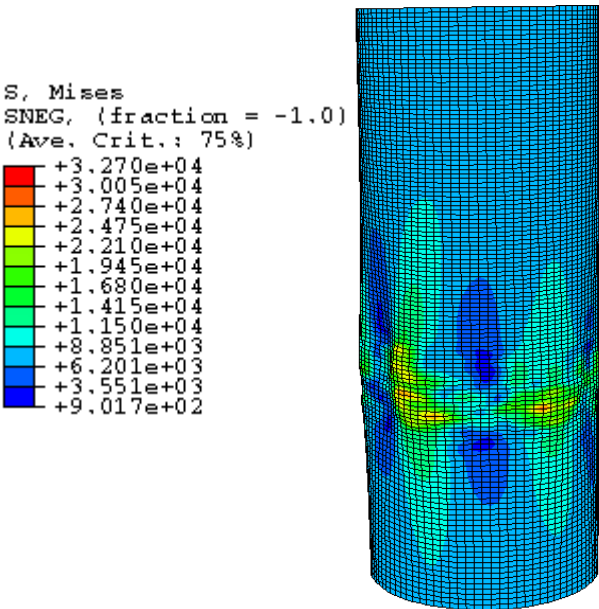


Fig. A-7. Distribución de esfuerzos Von Mises en la cara externa

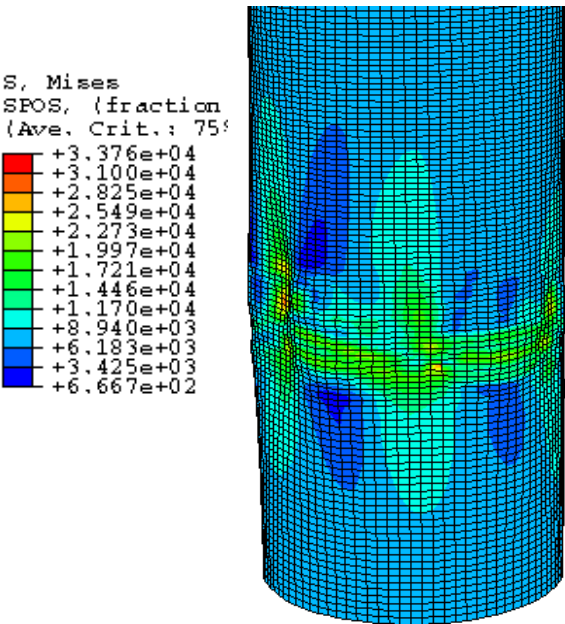


Fig. A-8. Distribución de esfuerzos Von Mises en la cara interna

En la Figura A-9 se observan los elementos que se encuentran sometidos a los máximos esfuerzos. En la Tabla 1 se indican los valores de esfuerzo en la cara externa, interna y el promedio obtenido para estos elementos.

S, Mises
SPOS, (fraction
(Ave. Crit.: 75%)

	+2.816e+04
	+2.581e+04
	+2.347e+04
	+2.112e+04
	+1.878e+04
	+1.644e+04
	+1.409e+04
	+1.175e+04
	+9.404e+03
	+7.060e+03
	+4.716e+03
	+2.372e+03
	+2.773e+01

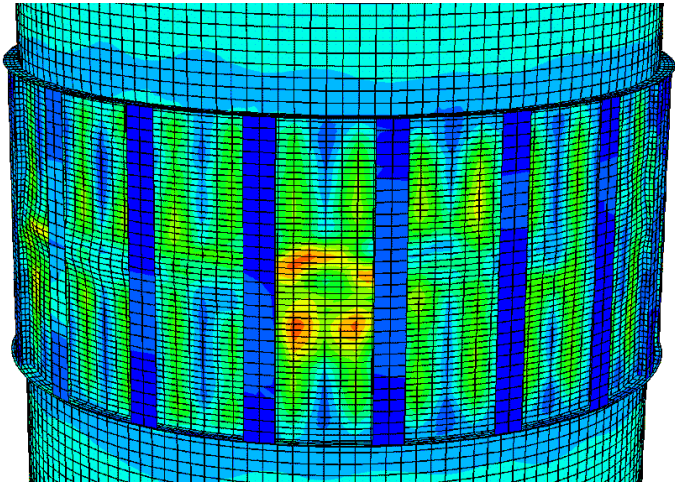


Fig. A-11. Distribución de esfuerzos Von Mises modelo de 18 costillas

S, Mises
SPOS, (fraction
(Ave. Crit.: 75%)

	+2.845e+04
	+2.611e+04
	+2.377e+04
	+2.142e+04
	+1.908e+04
	+1.674e+04
	+1.439e+04
	+1.205e+04
	+9.707e+03
	+7.364e+03
	+5.021e+03
	+2.678e+03
	+3.346e+02

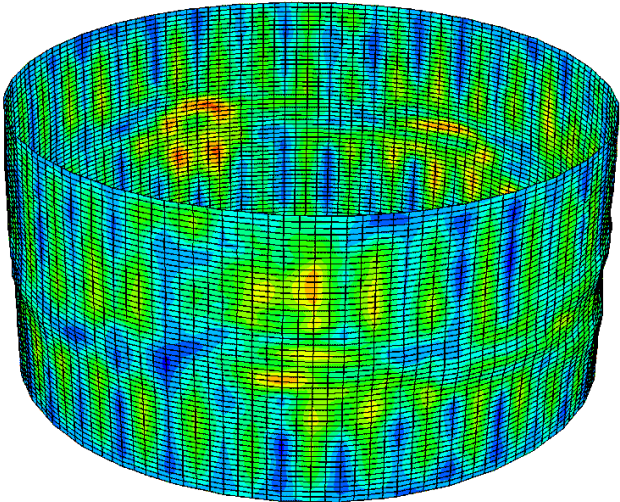


Fig. A-12. Distribución de esfuerzos Von Mises en la sección deformada modelo de 12 costillas

S, Mises
SPOS, (fraction
(Ave. Crit.: 75%)

	+2.816e+04
	+2.583e+04
	+2.350e+04
	+2.117e+04
	+1.884e+04
	+1.651e+04
	+1.418e+04
	+1.186e+04
	+9.528e+03
	+7.199e+03
	+4.871e+03
	+2.542e+03
	+2.140e+02

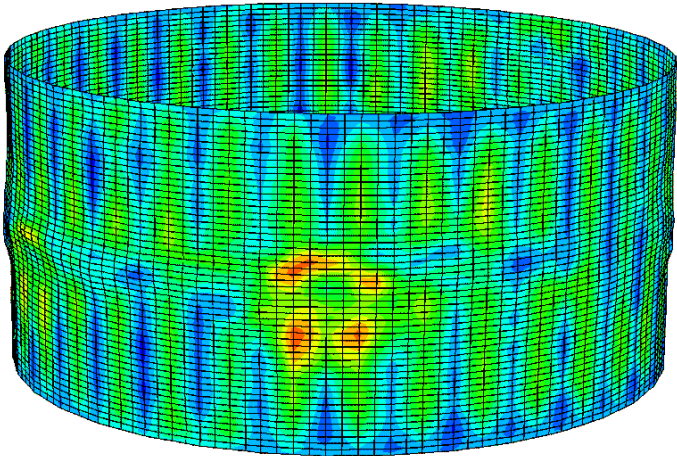


Fig. A-13. Distribución de esfuerzos Von Mises en la sección deformada modelo de 18 costillas

Tabla 2. Esfuerzos Von Mises Propuesta 12 costillas

Elemento	Esfuerzo cara interna (psi)	Esfuerzo cara externa (psi)	Esfuerzo promedio (psi)
4,654	27,778	26,348	27,063
4,706	28,763	24,815	26,789
1,740	26,174	22,998	24,586
4,653	23,934	23,795	23,865

Tabla 3. Esfuerzos Von Mises Propuesta 18 costillas

Elemento	Esfuerzo cara interna (psi)	Esfuerzo cara externa (psi)	Esfuerzo promedio (psi)
6,061	32,926	12,802	22,864
6,062	31,985	13,542	22,763
6,008	29,137	15,699	22,418
5,641	25,121	19,165	22,143

En la Tabla 4 se comparan los valores de esfuerzos maximos alcanzados en la sección deformada para cada uno de los modelos evaluados.

Tabla 4. Esfuerzos máximos obtenidos para los modelos analizados

Modelo	Esfuerzo Von Mises promedio máximo (psi)
Sin Costillas	30,233
12 Costillas	27,063
18 Costillas	22,864

2.4 Discusión de resultados

Se determinó la distribución de esfuerzos a lo largo de la zona evaluada. Los esfuerzos obtenidos para una presión interna de 45 psi (Tabla 1), corresponden a la categoría de membrana local + flexión [1,2]. Para este caso, el criterio que establece el Código ASME Sección VIII División II, como valor admisible es: el menor valor entre $1,5 S_m$ ó $0,9 S_y$, donde el valor de S_m (Intensidad del esfuerzo de diseño para el material) a 450 °F es 21.100 psi, según la tabla 2A del Código ASME Sección II Parte D. Al comparar los resultados con el valor del esfuerzo permisible $S = 31.650$ psi, se verifica que los valores de esfuerzos en el modelo (Tabla 1) se encuentran dentro del límite establecido.

Al analizar la opciones de reparación, se observó que el esfuerzo Von Mises máximo disminuye 11% para la opción de 12 elementos de refuerzo (costillas) y 25% para de 18 costillas (Tabla 4). Sin embargo, para ninguna condición se restituye la confiabilidad operacional de la zona afectada al mismo nivel del resto de la torre.

3. Conclusiones y recomendaciones

3.1 Conclusiones

- Los esfuerzos calculados mediante análisis por elementos finitos, a partir del modelo y de las condiciones de diseño de 45 psig y 450 °F, indican que la zona afectada no representa una condición de riesgo inminente si no se excede el rango de presión y temperatura; por encontrarse los valores de esfuerzo máximo dentro del límite establecido en la norma ASME FFS-1/API 579-1 y el Código ASME Sección VIII.
- Las opciones de instalar refuerzo consistente de 12 y 18 elementos de refuerzo fabricados a partir de perfiles HEA-220 y dos aros de 1" de espesor, disminuyen el esfuerzo en la zona afectada en un 11% y 25%, respectivamente, pero no restituyen la confiabilidad operacional de la zona afectada al mismo nivel del resto de la torre, por lo que los mismos sólo deben considerarse como una reparación provisional que debe ser reemplazada en la próxima parada de la Unidad de FCC.

3.2 Recomendaciones

- Operar la torre en la condición actual, sin instalar refuerzo, y mantener un seguimiento y control estricto de las condiciones operacionales.
- Programar el reemplazo de la zona deformada en la primera ventana operacional, con el fin de restituir la condición de diseño del equipo

4. Referencias Bibliográficas

-
- [1] API 579-1/ASME FFS-1 "Fitness for Services", June 2007
 - [3] Plano de construcción de la torre, suministrado por personal de la Superintendencia de Ing. De Plantas de Refinería
 - [4] ASTM International. A -516, "Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower-Temperature Service", 2004
 - [8] ASMECA. Reporte de ensayos mecánicos a muestra extraída de la zona deformada de la torre fraccionadora perteneciente a la unidad FCC.
 - [6] ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section II Part D, Materials Properties. 2007