

ANÁLISIS DE FALLA DE HERRAMIENTA PARA MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD MEDIANTE PROGRAMA DE ELEMENTO FINITO (NUEVO DISEÑO)

FAILURE ANALYSIS TOOL FOR RESISTIVITY MEASUREMENTS THROUGH A FINITE ELEMENT PROGRAM (NEW DESIGN)

Wadi Elim Sosa-González, José Alfredo Rodríguez-Ramírez, Gilberto Guerra- Santiago, Elda Griselda Flores-Padilla.

Fecha de recepción 5 de Enero 2009

Fecha de aceptación 8 de Junio de 2009

RESUMEN

La evaluación de la saturación de hidrocarburos en un pozo entubado sólo era posible con herramientas nucleares. Las investigaciones no han profundizado lo suficiente y su aplicación efectiva está limitada a porosidades y salinidades altas. La herramienta de resistividad de la formación en pozo entubado es un dispositivo con electrodos que mide las diferencias en los campos eléctricos de voltaje emitidos cuando una corriente fluye hacia la formación alrededor del pozo. Se presenta el análisis de la falla por el Método de Elemento Finito (MEF) de la herramienta petrolera de medición de resistividad que se usa en una compañía de perforación con sede en Ciudad del Carmen, Campeche, México. Existen dos factores que determinan este tipo de falla: el primero de ellos se atribuye al ambiente donde se realizan trabajos en presencia de ácido sulfhídrico contenido en el lodo de perforación y el segundo al diseño del pistón compensador diferencial que es parte de la herramienta y fundamental en el análisis.

PALABRAS CLAVE: Rediseño, lodo de perforación, ácido sulfhídrico.

ABSTRACT

The evaluation of the hydrocarbon saturation in a cased hole was recently possible with nuclear tools. Investigations have not deepened enough and its effective application is limited to high porosities and salinities. The tool of resistivity in a cased hole formation is a device with electrodes that measure the electrical field of voltages generated when an emitted current flows towards the formation around the oil well. The analysis of failure was carried out by Finite Element Method (FEM) of resistivity measurement oil tool from a Perforation Company settled in Ciudad del Carmen, Campeche, Mexico. There were two factors that determined the failure, the environment where the work is done with the hydrogen sulfide contained in the resultant perforation mud and the design of the compensating differential piston that is a part of the tool and essential for this analysis.

KEYS WORDS: Redesign, perforation mud, hydrogen sulfide.

DES-DAIT-Área Ingeniería. Universidad Autónoma del Carmen. Calle 56, N° 4, esquina Av. Concordia. Col. Benito Juárez. C.P. 24180
Ciudad del Carmen, Campeche, México

Autor para correspondencia: wsosa@pampano.unacar.mx

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la revisión documental sobre la problemática referente a los daños causados por herramientas petroleras en la Sonda de Campeche, se encontró que en los años 2004 y 2005, cinco herramientas colapsaron con un perjuicio del 75% al 100%, lo que representan pérdidas de \$750,000.00 a \$1,000,000.00 USD.

La herramienta petrolera en torno a la cual girará este trabajo, está integrada básicamente por un tubo con dimensiones específicas aunque desconocidas, que internamente contiene un pistón para compensar la presión diferencial, como se muestra en el recuadro de color azul en el esquema conceptual de la herramienta (figura 1) y que es la zona de interés de este trabajo.

De acuerdo con el personal técnico de inspección de las herramientas de resistividad, al supervisar dichos aparatos que trabajaron durante 4 operaciones consecutivas, se encontraron daños de diversa índole, tales como:

Presión prácticamente nula de aceite y una cantidad muy por debajo del rango esperado para la naturaleza de este trabajo

Pérdida de aceite durante el proceso del registro

Tres O-rings rotos, cruciales en la retención de aceite

Visible degradación a causa de la presencia de ácido sulfhídrico

Se excedió el límite de ácido sulfhídrico recomendado por el fabricante del O-ring

Las propiedades físicas de los pozos de México, difieren de manera significativa con las de pozos de otros países. Las variables de mayor influencia son la temperatura, que

puede ser de 150 °C, y el ambiente corrosivo y abrasivo que generan las condiciones para el desgaste de las herramientas petroleras entre otros factores. La presencia de ácido sulfhídrico tiene un límite máximo permisible de 20 ppm, para la maquinaria. Este límite, ocasiona un desgaste excesivo en las zonas de contacto ocasionando mecanismos que favorecen este proceso tales como el desgaste corrosivo y abrasivo (Herrera *et al.*, 2007).

El ácido sulfhídrico, se encuentra de manera natural en el petróleo crudo, gas natural, gases volcánicos y manantiales de aguas termales (Aguirre, 2000).

Durante el proceso de extracción de crudo es necesario realizar perforaciones en el manto terrestre para insertar tubería y acceder a la instalación de dispositivos que permitan la extracción del crudo.

Una de las pruebas para la tubería dentro del manto consiste en insertar fluidos de perforación hechos a base de agua, aceite y lodo de perforación que, como ya se indicó, contienen ácido sulfhídrico, por lo que es necesario inhibirlo. Uno de los inhibidores del ácido sulfhídrico es el cobre, que actualmente se utiliza en filtros y en suavizadores de aguas para instalaciones comerciales y domésticas, al estar en contacto ambos, se genera una reacción química que resulta en sulfuro de cobre + agua (Global water technologies, 1999).

Por otro lado, el desalineamiento del eje de centros en condiciones de trabajo de operación, es una de las razones por las que el diseño original falló, esto por la acumulación de sedimentos que a su vez ocasiona que se generen y desarrollen mecanismos de desgaste por adhesión y abrasión (Rabinowicz, 1995; Bhushan, 1999).

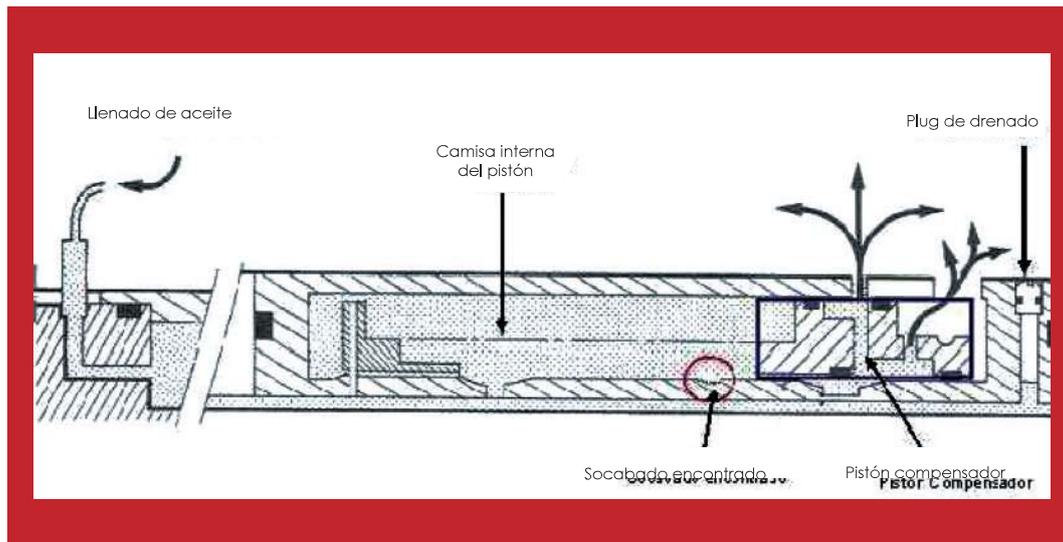


Figura 1. Esquema de la herramienta petrolera (Montoya y Heredia, 2007).

El material del que se encuentra hecho el anillo (O-ring) cumple con la función de realizar un barrido en la superficie de la camisa del pistón (Aguilar, 2000). Existe desgaste entre O-ring y la camisa del pistón en la superficie de contacto, cediendo el material de menor módulo de elasticidad y disminuyendo las dimensiones de dicho elemento para este caso. Al existir desgaste de los anillos (O-rings), se ocasiona desbalance e incremento del claro en relación con la cabeza del pistón (Seto, 1971), por lo que se ocasiona el desalineamiento del pistón y como consecuencia, la incrustación en la camisa del mismo.

El nuevo diseño eliminará los problemas del pistón, es decir, se anula la posibilidad de desalineamiento con respecto a su eje de centros y se desarrolló de acuerdo con normas aplicadas en ingeniería y en el diseño mecánico, lo que permitió la corrección de errores del diseño original. Además, faci-

litará los mantenimientos del mismo por su fácil ensamble y desensamble; permitiendo el reemplazo de piezas cuando presenten desgaste.

En este trabajo se presenta el análisis que se realizó a una sección de una herramienta de resistividad de la formación en pozo entubado, mediante el Método del Elemento Finito (MEF) y con los datos obtenidos se propuso un nuevo diseño con la variación de algunos parámetros. También se consideraron los problemas que ocasiona el ácido sulfhídrico en la superficie del pistón compensador, esto se solucionó al utilizar un material inhibidor evitando cualquier daño por corrosión.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada para la simulación de los dos modelos numéricos, consistió en lo siguiente:

- Obtener las dimensiones de la zona de interés de la herramienta original
- Obtener la geometría del modelo en un programa comercial
- Generar el modelo numérico de las dos geometrías en el programa de elemento finito
- Analizar solamente una cuarta parte de cada elemento
- Obtener el mallado de los modelos numéricos con elementos SOLID92
- Determinar condiciones de frontera y propiedades mecánicas del material en los modelos numéricos

MODELADO NUMÉRICO DE LA HERRAMIENTA ORIGINAL

Parámetros:

- a). Pistón hecho de Titanio. Módulo de Elasticidad $E_1=116,000.0 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$
- b). Carcaza. Módulo de Elasticidad $E_2=100,000.0 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$
- c). Presión. $P=35 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$

Esta herramienta contiene un pistón con dos secciones rectangulares alrededor de la cara circular, en donde se alojan los anillos. Se construyó un modelo numérico para simular, por el método de elemento finito, tomando las dimensiones del pistón, de los anillos y la carcaza (camisa). La sección de interés de la herramienta petrolera, se observa la parte superior del pistón que tiene la función de mantener la presión diferencial dentro de la herramienta (figura 2).

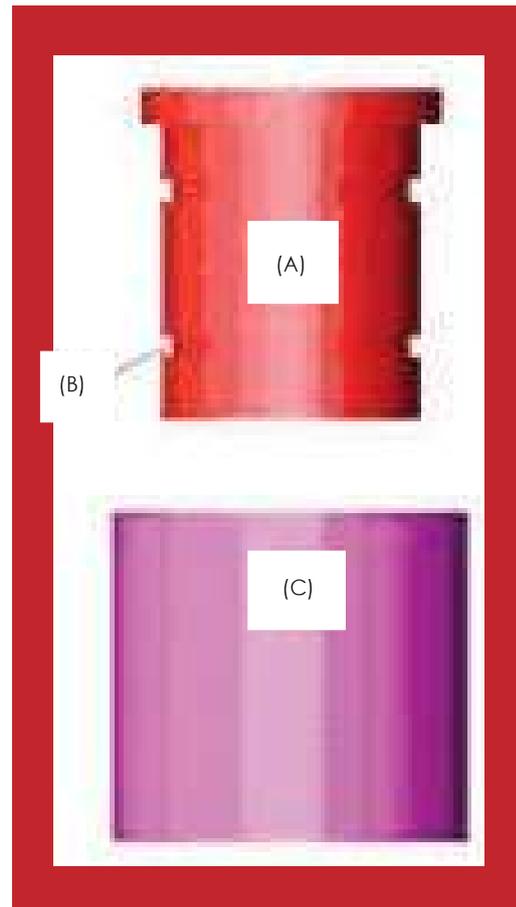


Figura 2. A) Pistón. B) Cavidad para alojar anillo. C) Camisa.

El modelo numérico para el análisis del pistón se realizó con tan solo la cuarta parte del mismo ya que al ser una figura simétrica sobre su eje vertical, no es necesario el análisis de todo el modelo (figura 3). Asimismo se declararon los parámetros que rigieron al modelo.

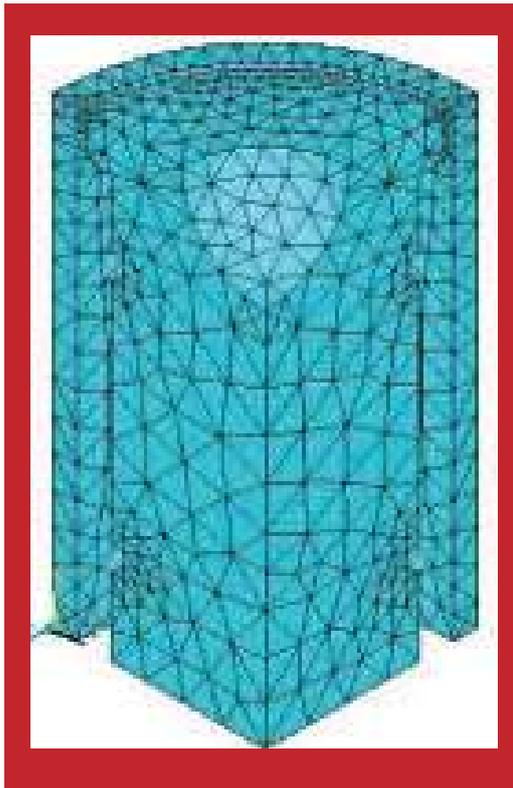


Figura 3. Modelo numérico del pistón en 3D

MODELADO NUMÉRICO DEL NUEVO DISEÑO DEL PISTÓN DE LA HERRAMIENTA (figura 4)

Parámetros:

- a). Tornillos de inoxidable AISI316-L (Hibner and Tassen, 2000).
- b y d). Cobre.
- c). Camisa actual.
- e). Anillo de Polietileno de ultra alta densidad UHMWPE. (Seis millones de gramos mol⁻¹)
- f). Anillo de Titanio (Kwon *et al.*, 1997).
- g). Buje de inoxidable AISI316-L.
- h). Cavidad.

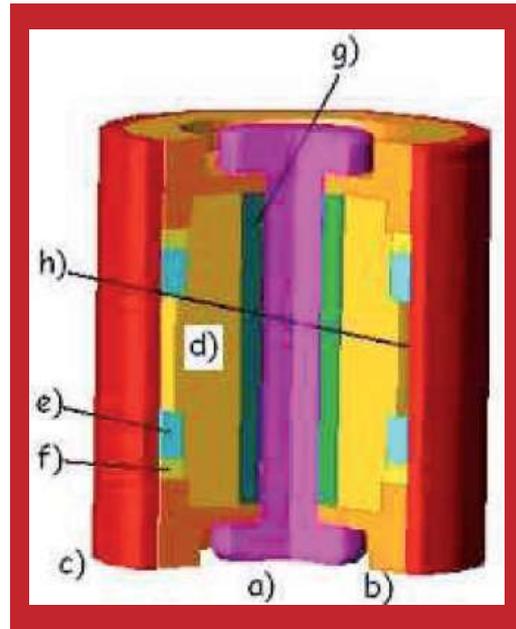


Figura 4. Nuevo diseño del pistón con sus componentes.

Para realizar el modelo numérico, fue necesario obtener la dimensión en CAD y elaborar un corte, en el cual se tomaron las coordenadas de los vértices (Figura 5). Posteriormente se introdujeron en el programa, para así generar líneas mediante los puntos que se crearon (Figura 2). Además, se generaron superficies de las secciones transversales de los elementos (Figuras 2 y 3). A la izquierda, la sección del tubo o camisa donde se desplaza el pistón. A la derecha, la sección del pistón.

Una vez generadas las superficies que definen la sección de cada elemento, se desarrolló una extrusión de su área mediante un eje en común para finalmente obtener el modelo del pistón y camisa (Figura 6). Los parámetros a los que se sometió este diseño son iguales a los que se somete la herramienta en campo real.



Figura 5. De izquierda a derecha, generación de puntos y líneas, formación del área transversal de la herramienta así como de la camisa.

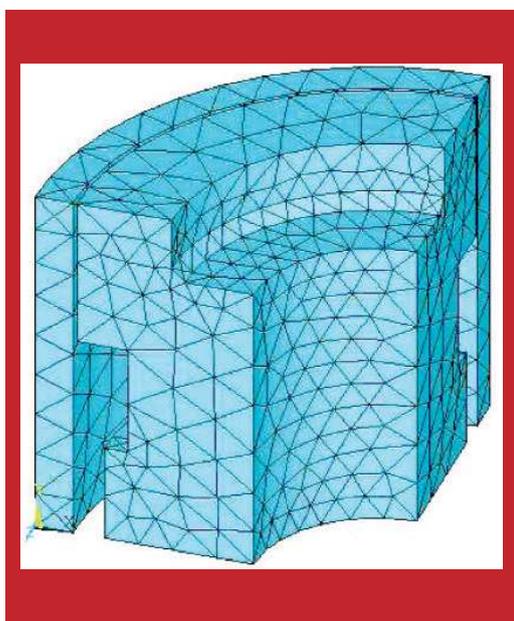


Figura 6. Dibujo en sólido en tercera dimensión con la malla.

RESULTADOS

HERRAMIENTA ORIGINAL

El desplazamiento que presenta la herramienta mediante las condiciones de trabajo real son datos importantes a tomar en cuenta. Para interpretar estos desplazamientos se debe conocer la posición que tiene el pistón en los ejes coordenados del sistema, X, Y y Z. Es decir, la deformación en el eje "Y" corresponde al desplazamiento vertical de los elementos del pistón. De igual manera para los ejes "X" y "Z" corresponden a los desplazamientos laterales horizontales del mismo.

DESPLAZAMIENTO VERTICAL HERRAMIENTA ORIGINAL Eje Y

Los desplazamientos verticales sirven para asumir un criterio sobre el funcionamiento de la herramienta que literalmente se anali-

zó en compresión. Los resultados no son significativos ya que se obtuvo un valor máximo: 0.037968 mm y mínimo: 0.004219 mm, ambos en sentido negativo; lo que significa que se sometió a compresión (Figura 7).

Los cuales son: máximo: 0.010764 mm y mínimo: 0.001176 mm, lo que significa que el pistón durante su operación presenta una expansión del desplazamiento máximo que genera una oscilación con valor de esa amplitud (Figura 8).



Figura 7. Desplazamientos verticales máximos y mínimos.

DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL HERRAMIENTA ORIGINAL Eje X

El registro de los desplazamientos horizontales dará la pauta para conocer el desplazamiento que tiene el pistón bajo las condiciones reales durante su funcionamiento.

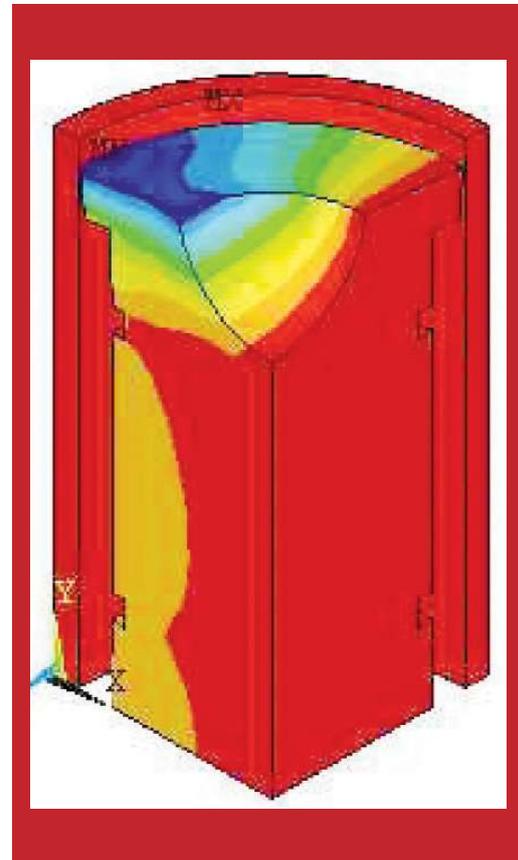


Figura 8. Desplazamientos horizontales máximos y mínimos.

Eje Z

Los desplazamientos que corresponden a este eje son iguales a los que se mencionaron para el eje "x". Esto es por la razón de que la figura es geoméricamente simétrica desde el punto de vista vertical (Figura 9).

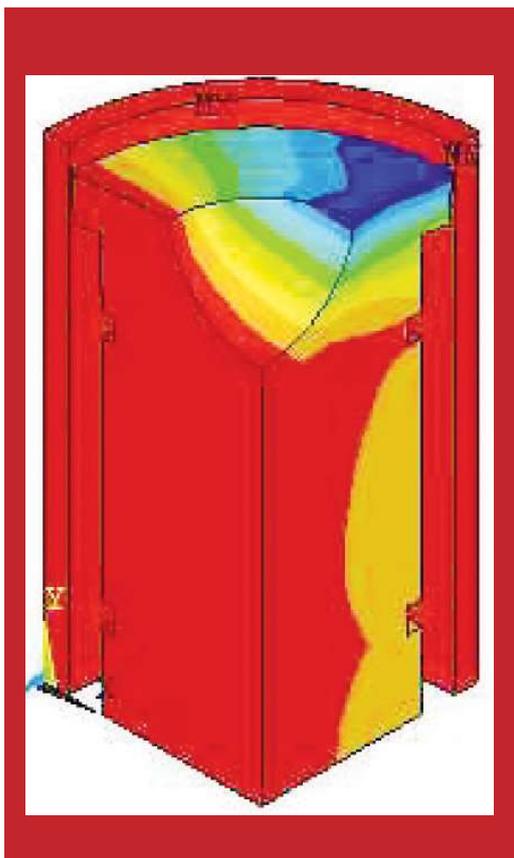


Figura 9. Desplazamientos horizontales máximos y mínimos.

NUEVO DISEÑO DE HERRAMIENTA

Una vez que se encontraron los desplazamientos correspondientes a los ejes de la herramienta, fue necesario desarrollar un nuevo pistón que estuviera sometido a los mismos parámetros de trabajo. Para ello se consideró utilizar un material que reaccione de manera natural con el ácido sulfhídrico, ya que este genera depósitos en la superficie de contacto, además de ser corrosivo. El inhibidor del ácido en mención es el cobre. Como se mencionó anteriormente, al

reaccionar se convierte en *sulfuro de cobre + agua*, por ello se decidió utilizar sus propiedades mecánicas para el análisis en el programa de elemento finito.

De acuerdo con la tabla de deformaciones 1, el nuevo diseño debe tener menor deformación que el anterior. Para el nuevo diseño se obtuvieron los siguientes datos: deformación total max: -0.004419 mm y min: $-0.491E-03$ mm. (Figura 10). Deformación en el "eje x" max: -0.002115 mm y min: $-0.235E-3$ mm. (Figura 11). Deformación en el "eje y" max: -0.004419 mm y min: $-0.491E-03$ mm. (Figura 12). Deformación en el "eje z" max: -0.002052 mm y min: $0.541 E-4$ mm. (Figura 13).

DEFORMACIÓN TOTAL (HERRAMIENTA NUEVO DISEÑO)

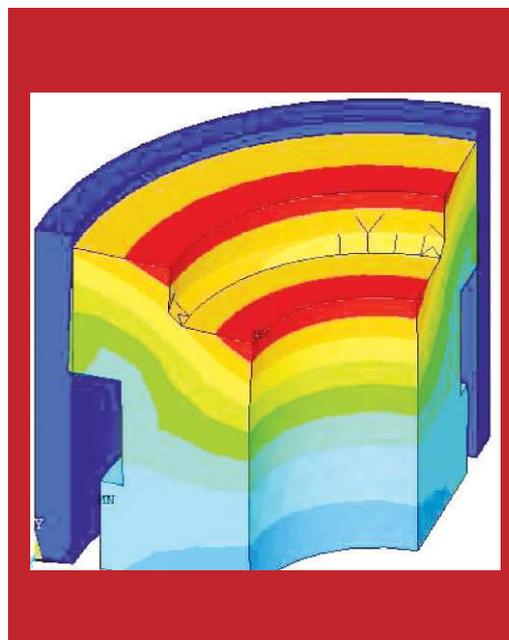


Figura 10. Introducción de los puntos del nuevo diseño.

DESPLAZAMIENTO EN X EN NUEVO DISEÑO DE HERRAMIENTA

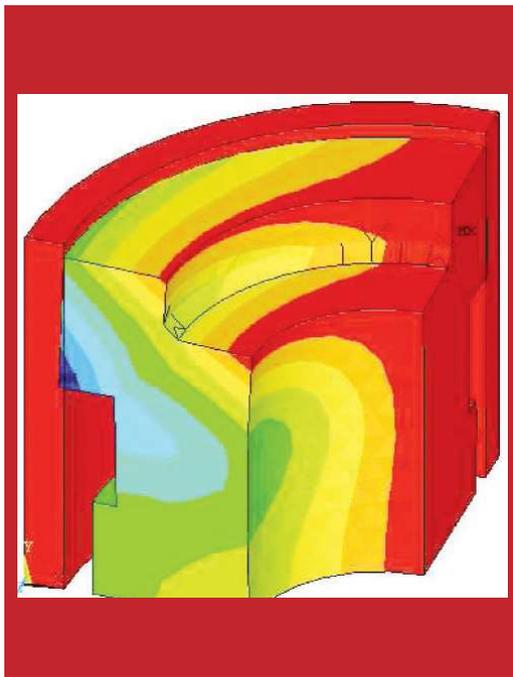


Figura 11. Introducción de los puntos del nuevo diseño.

DESPLAZAMIENTO EN Y EN NUEVO DISEÑO DE HERRAMIENTA

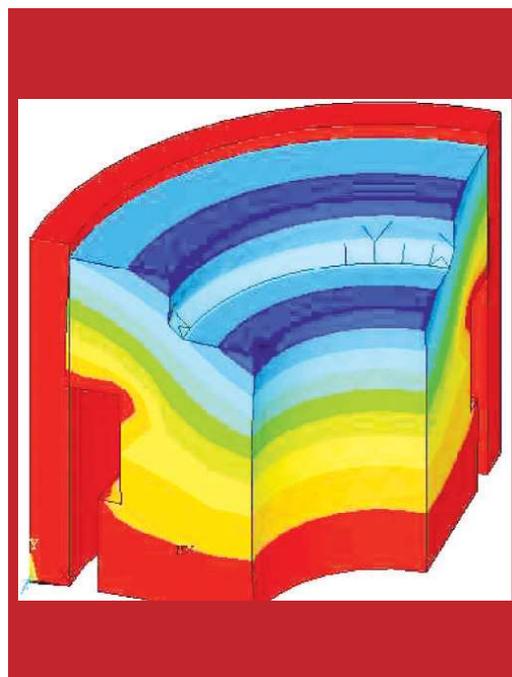


Figura 12. Introducción de los puntos del nuevo diseño.

ESFUERZOS DE VON MISSES, NUEVO DISEÑO DE HERRAMIENTA

Tomando en cuenta la teoría de la energía máxima de distorsión (Popov, 2000), se extrajeron los resultados correspondientes a la intensidad del esfuerzo bajo el criterio de Von Mises: max: $104.56 N \cdot mm^{-2}$ y min=0 (Figura 12). Sin embargo, es notorio que el esfuerzo que predomina es el que corresponde al $34.853 N \cdot mm^{-2}$ y en casos aislados de $46.471 N \cdot mm^{-2}$

Se observa que el "eje x", presenta un desplazamiento del nuevo diseño del 19.97% con respecto al pistón actual. El pistón ori-

ginal se deforma en el "eje x" cuatro veces más que el que corresponde al nuevo diseño. Para el caso de los desplazamientos en el "eje y", la deformación del nuevo pistón es de 11.63% en relación con pistón actual. Como resultado el pistón original se deforma 8.8 veces más que el del nuevo diseño. La deformación del "eje z" son iguales a los del "eje x", lo que se justifica por la simetría de la figura del modelo y que la presión es uniforme en toda la superficie de contacto con el nuevo pistón (Cuadros 1 y 2).

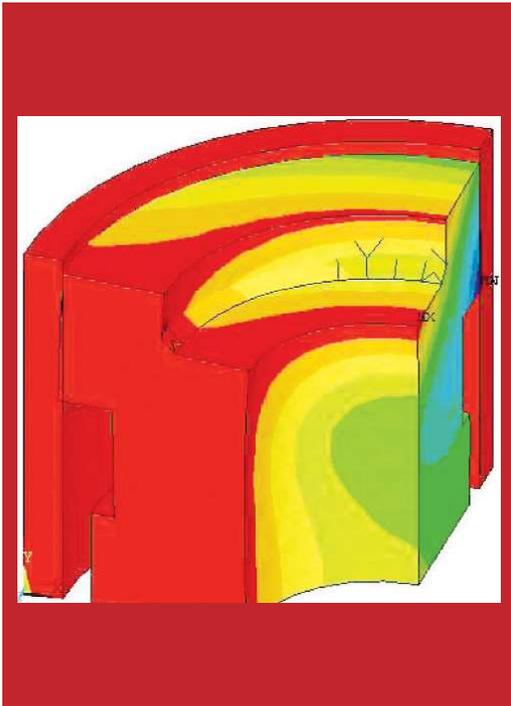


Figura 13. Introducción de los puntos del nuevo diseño.

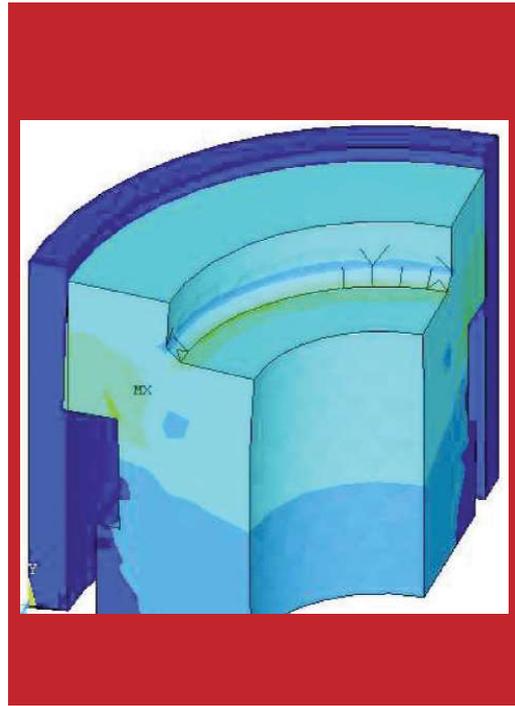


Figura 14. Intensidad de esfuerzos de Von Mises.

Cuadro 1. Desplazamientos del pistón de la (herramienta actual)

	X	Y	Z
NODO	165	742	451
VALOR	-0.10764E-01 mm	-0.37968E-01 mm	-0.10729E-01 mm

Cuadro 2. Desplazamientos del pistón (nuevo diseño)

	X	Y	Z
NODO	2	8	18
VALOR	-0.2115E-2 mm	-0.44191E-2 mm	-0.20516E-2 mm

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos del pistón nuevo presentaron una deformación 8.8 veces menor que el pistón actual. Con base en esto, se propone utilizar dicho pistón con materiales inhibidores del ácido sulfhídrico. La aplicación de las modificaciones y las consecuentes ventajas que ofrece este nuevo diseño, permitirá disminuir costos y facilitar su mantenimiento correctivo. El nuevo diseño se puede usar para mantener su alineación en el eje de centros, por lo que se disminuye la probabilidad de falla por incrustación en la camisa (tubo) y se obtuvo como material inhibidor al cobre permitiendo disminución en la corrosión.

La descomposición del ácido sulfhídrico en sulfuro de cobre y agua, permitirá una menor corrosión, debido a que el diseño presenta una cavidad para alojar residuos sólidos.

A diferencia del pistón original, el pistón rediseñado tiene la ventaja de ser desarmable para facilitar el mantenimiento correctivo y su costo de manufactura es significativamente menor, por la diferencia de costos entre el titanio contra el cobre.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar J., 2000, Curiosidades de la ciencia, Reporte técnico, Teflon.
- Aguirre E., 2000, Acido sulfhídrico, reporte técnico, Estructplan consultora S. A.
- Bhushan, B., 1999, Principles and applications of tribology. John Wiley and Sons, Inc.
- Global water Technologies, 1999, Filters, Technical report. Serie 400, Viena, Austria.
- Herrera A. y Hernández J, 2007, Proceso y sistema para la producción de ácido sulfhídrico por reducción biotecnológica de azufre elemental, Departamento de ingeniería química y biotecnológica, Universidad de Chile, patente.
- Hibner E. y Tassen C., 2000, Corrosion resistant OCTG's and matching age-hardenable bar products for a range of sour gas service conditions, Special metals corporation, London UK.
- Kwon K., Crowe E. and Gangwal S., 1997, Reactivity of Metal Oxide Sorbents for Removal of H₂S, Chemical engineering department.
- Montoya E. y Heredia J., 2007, Colapso en herramientas de resistividad en la sonda de Campeche, Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Carmen. 103 p.
- Popov E., 2000, Mecánica de materiales, Ed. Limusa S.A. de C.V.
- Rabinowicz, E., 1995, Friction and wear of materials, John Wiley and Sons, 2ª Edition Inc., 92 y 129.
- Seto W., 1971, Vibraciones mecánicas. Mc. Graw Hill, p 4

Forma correcta de citar este trabajo:

Sosa-González, W. E.; Rodríguez-Ramírez, J. A.; Guerra- Santiago, G. y Flores-Padilla, E. G. 2009. Análisis de falla de herramienta para medición de resistividad mediante programa de elemento finito (nuevo diseño). U. Tecnociencia 3 (1) 35 - 46.