

# MEDICIÓN DE ESFUERZOS RESIDUALES POR RUIDO DE BARKHAUSEN Y POR BARRENO CIEGO

Ismael Vázquez Pérez (1), Dr. Héctor Plascencia Mora (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [i.vazquezperez@ugto.mx]

2 [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [hplascencia@ugto.mx]

## Resumen

El trabajo propuesto plantea un procedimiento experimental para medición de esfuerzos residuales usando las técnicas de Ruido de Barkhausen e Interferometría Láser. Probetas de acero DP780 fueron fabricadas y cargadas en tres puntos bajo la norma ASTM E290, cuidando que provinieran del mismo lote de material. Una vez fabricadas las probetas, se les aplicó la técnica del Ruido Magnético de Barkhausen, para obtener el tipo de esfuerzo residual presente antes de la prueba. Posteriormente se les aplicó la prueba de flexión, una vez deformadas las probetas se analizaron nuevamente mediante la técnica del Ruido Magnético de Barkhausen. La finalidad de este nuevo análisis fue determinar el tipo de esfuerzo inducido en esa zona, para lo cual se presentan las curvas de histéresis de cada probeta. Adicionalmente se utilizó el método de Barreno Ciego usando Interferometría Laser, con el equipo PRISM para medición de esfuerzos residuales, con el cual se pudo cuantificar la magnitud de los esfuerzos residuales presentes en las probetas después de la prueba de flexión.

## Abstract

The work presented shows an experimental procedure for measure residual stresses, it uses the techniques of Barkhausen Noise and Laser Interferometry. Specimens of steel DP780 has been fabricated and loaded in three points under the norm ASTM E290, making sure that they came from the same batch of material. When were fabricated the specimens, the technique of Magnetic Noise of Barkhausen were applied on them in order to obtain the kind of residual stress before the proof. Subsequently, were applied the flexural test on them, when were deformed the specimens, they were analyzed again by the technique of Magnetic Noise of Barkhausen. The purpose of this new analysis was determine the kind of stress induced in this zone, for that are presented the hysteresis curves of each specimen. Additionally was used the method of Blind Hole, using Laser Interferometry, with the PRISM machine for measure of residual stresses, with which it was possible quantify the magnitude of residual stresses presents in the specimens before flexural test.

## Palabras Clave

Flexión; Interferometría; Ferromagnético; Plasticidad; Experimental

## INTRODUCCIÓN

La técnica de medición del ruido magnético de Barkhausen en aceros es un método mediante el cual se puede estimar desde defectos hasta la presencia de esfuerzos residuales en materiales ferromagnéticos [1].

Cabe mencionar que muchas fallas en las estructuras de soporte o en máquinas no son causadas solo por esfuerzos que son provocados por cargas, sino también comúnmente son resultado de esfuerzos residuales. El tiempo necesario para la reparación de equipo y la pérdida de producción son factores importantes, pero aún más importantes son las posibilidades de accidentes o muertes de personas. Los esfuerzos residuales se presentan también en estructuras sin carga y se presentan la mayoría de las veces debido a procesos tecnológicos como: rolado, soldado, forjado, etc. [2]

“Método del ruido de Barkhausen”. Cuando un material ferromagnético se somete a la presencia de un campo magnético éste se magnetiza en una rápida serie de pequeños pasos o saltos. Las señales medidas, llamadas “ruido de Barkhausen”, son influenciadas por los esfuerzos residuales en el material. Alternando el campo magnético, se pueden obtener repetitivos patrones de ruido. Para lo cual se tiene que establecer una relación teórica entre el ruido de Barkhausen y esfuerzos residuales y el uso es limitado para materiales ferromagnéticos [3].

El método del barreno ciego data de los primeros trabajos de Mathar en 1934. Él usó un extensómetro mecánico para medir desplazamientos alrededor de un agujero circular perforado a través de una superficie con esfuerzos. En 1950 Soete y Vancrombrugge mejoraron notablemente la precisión de las mediciones utilizando galgas extensométricas en lugar de extensómetros mecánicos [4]. En la actualidad existen tecnologías modernas acopladas a este método, que permiten obtener

mediciones más precisas, como lo es la interferometría láser.

El trabajo propuesto establece una metodología para la evaluación y determinación de esfuerzos residuales empleando simultáneamente las dos técnicas descritas anteriormente, desarrollando así un análisis integral de la zona afectada por esfuerzos residuales debidos a flexión pura.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo propuesto plantea un desarrollo experimental de las pruebas de tres puntos empleando un acero del tipo HSS (High Strength Steel). Dual Phase 780 ó DP780 para la fabricación de las probetas. Las pruebas de flexión se realizaron en una máquina universal INSTRON8872 de 25Ton, en la cual se efectuó el montaje de la probeta y herramental (fixture), así como, el procedimiento de flexión en la prueba de tres puntos. Un equipo para medición de esfuerzos residuales por el método del ruido magnético de Barkhausen llamado ROLLSCAN300 y un equipo para medición de esfuerzos residuales por el método del barreno ciego llamado PRISM el cual emplea un interferómetro láser y una cámara de alta definición como principio de funcionamiento fueron utilizados.

Para el diseño del fixture, se obtienen las dimensiones calculadas mediante el procedimiento descrito por la norma ASTM E290, la cual regula las mismas en función de las dimensiones de la probeta a flexión. El diseño de la probeta a flexión basa algunas de sus condiciones de frontera en las capacidades de la máquina universal INSTRON, las cuales son consideradas para la elección del material ferromagnético, así como, dimensiones de la misma.

La Figura 1 muestra la geometría necesaria para efectuar una prueba de flexión de tres puntos recomendados de acuerdo a la norma ASTM E290.

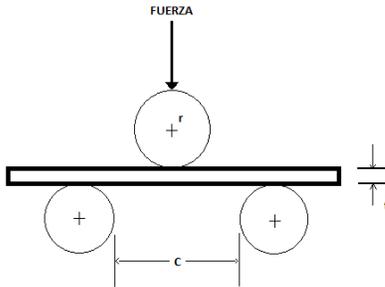


FIGURA 1. Esquema presentado por la norma ASTM E290

Donde de acuerdo a la norma:

$$C = 2r + 3t \pm \frac{t}{2}$$

$C$  = Distancia entre los soportes

$r$  = Radio del indentador

$t$  = Espesor de la probeta

Decidió emplearse un perfil rectangular de 1.4mm x 20mm con un largo de 140mm, para la fabricación de la probeta. Para la obtención de resultados más adecuados, las pruebas se efectuaron para 10 probetas con una dirección de rolado de 0°.

Fue simulado el fenómeno a efectuar experimentalmente mediante un paquete de elemento finito. En la Figura 2 se muestra la simulación por elemento finito del fenómeno de flexión inelástica, el cual permitió observar el comportamiento de la probeta de este material bajo diversas cargas.

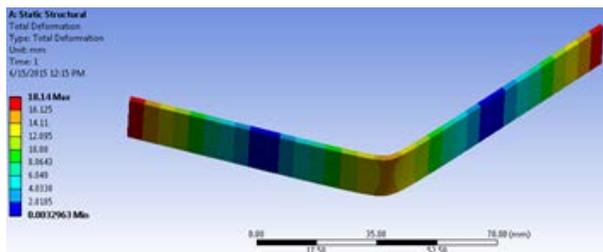


FIGURA 2. Simulación por elemento finito del fenómeno de flexión inelástica.

La finalidad de emplear un paquete de elemento finito fue obtener una carga para la cual la probeta fuese deformada plásticamente para posteriormente introducir esa carga a la máquina universal INSTRON8872 y efectuar esa deformación en las probetas manufacturadas.

Las probetas fueron fabricadas mediante corte por láser como se muestra en la Figura 3. También se muestran, los puntos de quiebre de las probetas con respecto a la hoja de material del que se decidieron cortar con la finalidad de no generar mayor esfuerzo residual en el centro de la probeta que fue la zona bajo análisis.

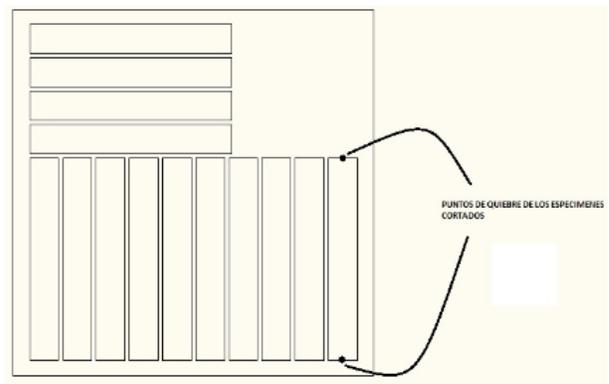


FIGURA 3. Diagrama para corte de probetas

Los “puntos de quiebre” mencionados con anterioridad son los dos posibles puntos de inicio de corte para el actuador láser.

Una vez obtenidas las probetas, se procedió con la prueba de flexión, las 10 probetas fueron sometidas bajo una deformación plástica de 14.30mm en la parte central de las mismas, tal y como se muestra en la Figura 4.



FIGURA 4. Probetas sometidas a flexión pura

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la prueba de flexión, el desplazamiento fue aplicado a manera de rampa conforme el paso del tiempo, hasta lograr que el indentador flexionara 14.30mm.

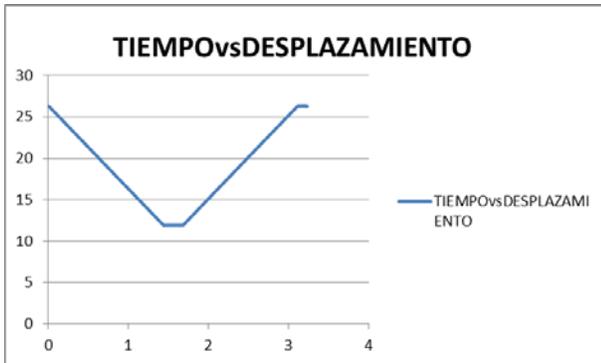


FIGURA 5. Curva del desplazamiento del punzón de la máquina INSTRON.

Al lograr el desplazamiento deseado, se obtuvo también una curva que muestra el cambio en la carga aplicada a la probeta a través del tiempo Figura 6.



FIGURA 6. Curva desplazamiento (mm) vs carga (N)

La curva anterior fue obtenida con los datos arrojados por la Máquina Universal INSTRON, obteniendo que la carga aplicada en la probeta fue de 580N al alcanzar un desplazamiento de 14.30mm en el centro de la misma.

## Ruido de Barkhausen

Estableciendo un promedio entre las probetas analizadas antes y después de la deformación plástica, se obtuvieron las curvas que se muestra en Figura 7 y Figura 8:

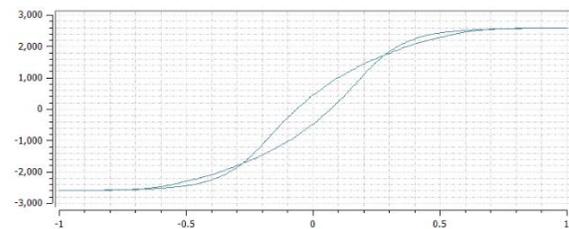


FIGURA 7. Curva de histéresis antes de la deformación plástica

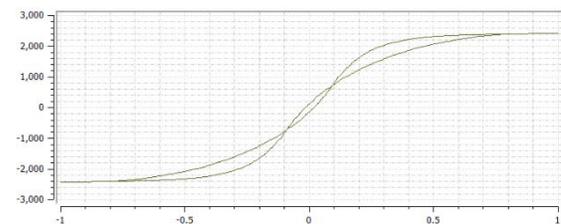


FIGURA 8. Curva de histéresis después de la deformación inelástica

En ambos casos fue utilizado un sensor para superficies planas pues el radio inducido en las probetas después de la deformación aun permitía un análisis de ese tipo.

La interpretación de las curvas anteriores denota claramente una inducción de esfuerzos residuales en el material, donde dominan esfuerzos de tensión para esta zona, la parte exterior del doblez.

### Barreno Ciego Con Interferometría Láser

La técnica de barreno ciego empleada, fue elaborada para tres profundidades de barrenado, a 0.1, 0.2 y 0.3mm de la superficie del lado exterior del doblez.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1:

TABLA 1. Esfuerzos en las direcciones  $x$ ,  $y$ ,  $xy$ ,  $xy$ , para las diferentes profundidades de barrenado

PROFUNDIDAD(m m)	$\sigma_{xx}$ (MPa )	$\sigma_{yy}$ (MPa )	$\tau_{xy}$ (Mpa )
0.1	19	3.2	5
0.2	53.2	-47.7	-2
0.3	136	123	-8.7

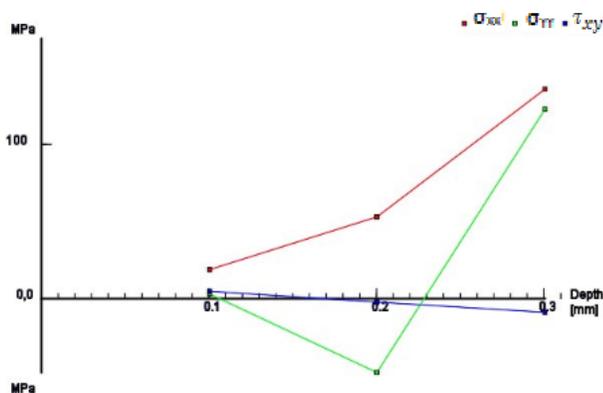


FIGURA 9. Curvas de esfuerzos residuales

## CONCLUSIONES

La deformación plástica en el material DP780 efectivamente genera esfuerzos residuales en la zona de afectación.

Aunque teóricamente los esfuerzos en las direcciones  $x$ ,  $y$ , deberían ser ambos de tensión, se observa que se genera un poco de compresión en la dirección  $y$ , esto es algo que se predijo en la simulación y que es corroborado de manera experimental.

## AGRADECIMIENTOS

A la División de Ingenierías del Campus Irapuato-Salamanca de la UG por las facilidades prestadas mediante el apoyo del Laboratorio de Análisis Experimental de Esfuerzos, por darme la oportunidad de desarrollar nuevas habilidades y a todas las personas que me apoyaron en la elaboración de este proyecto, especialmente a mis asesores, el Dr. Ángel Diosdado De La Peña y el Dr. Héctor Plascencia Mora.

## REFERENCIAS

- [1] "Medición de Esfuerzos Residuales por el Método del Barreno Ciego Utilizando una Máquina de CNC", JhonatanIndael Correa-Lara, Febrero de 2010. Universidad de Guanajuato.
- [2] "Sistema de medición de ruido magnético de Barkhausen en aceros", Pedro Martínez-Ortíz, Julio de 2010. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.
- [3] R.C. Thakur, R. Topno, B. Krishna, B. Roy and G.M.D. Murty, "Residual Stress Measurement in Rails", Proc. National Seminar on Non-Destructive Evaluation, Dec. 7 - 9, 2006, Hyderabad.
- [4] J. I.-Lu. 1996. Handbook of measurement of residual stresses. Society for Experimental Mechanics.
- [5] M. Blaow, J.T Evans, B. Shaw. 2004. Effect of deformation in bending on magnetic Barkhausen noise in low alloy steel. Materials Science and Engineering A 386: 74-80.
- [6] E.S. Palma, T.R. Mansur, S. Ferreira Silva Jr, A. Alvarenga Jr. 2005. Fatigue damage assessment in AISI 8620 steel using Barkhausen noise. International Journal of Fatigue 27: 659-665.