

**RESISTANCE FATIGUE VARIATION OF THE AISI SAE 1045 STEEL
SUBJECT TO CORROSION PROCESS BY CHLORIDE****VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA DEL ACERO AISI SAE 1045
SOMETIDO A PROCESO DE CORROSIÓN POR CLORUROS**

**MSc. Carlos Cárdenas, MSc. Camilo Leonardo Sandoval Rodriguez, M.Sc. Brayan
Eduardo Tarazona Romero, M.Sc. Javier Gonzalo Ascanio Villabona.**

Unidades Tecnológicas de Santander

Ingeniería Electromecánica

Ciudadela Real de Minas. Bucaramanga, Santander, Colombia.

Tel.: 57-7-6917700 ext. 1103, Fax: 57-7- 6917691

E-mail: ccardenas@correo.uts.edu.co , csandoval@correo.uts.edu.co ,
btarazona@correo.uts.edu.co , jascanio@correo.uts.edu.co

Abstract: The AISI SAE 1045 steel behavior corroded in brine by the immersion method and salt spray cabin, according to the ASTM G-31 standard, and under the effect of repeated load by rotary flexion, with tests developed according to the standard ASTM E-606, is presented in this paper. Thirty-five specimens were used, which were exposed to different times of corrosion in two saline environments and were then subjected to flexion fatigue tests on the Moore device. Variation in the behavior of fatigue resistance by rotary bending was found. It is differentiated by the exposure time and by the way the specimens are subjected to corrosion, as shown in the attached graphics in the document.

Keywords: Design, structure, vibrating table, pneumatic system, control system.

Resumen: El comportamiento del acero AISI SAE 1045 corroído en salmuera por el método de inmersión y el método de niebla salina, según la norma ASTM G-31, y bajo el efecto de carga repetida por flexión rotatoria, con ensayos desarrollados según la norma ASTM E-606, se presenta en este documento. Se utilizaron treinta y cinco especímenes, que fueron expuestos a diferentes tiempos de corrosión en dos ambientes salinos y luego fueron sometidos a pruebas de fatiga por flexión en el equipo de Moore. Se encontró variación en el comportamiento de la resistencia a la fatiga por flexión rotativa. La diferencia en los especímenes se da por el tiempo de exposición y por la forma en que las probetas están sometidas a corrosión, como se muestra en los gráficos adjuntos en el documento.

Palabras clave: Diseño, estructura, mesa vibratoria, sistema neumático, sistema de control.

1. INTRODUCCION

Actualmente la mayoría de las industrias emplean montajes estructurales o piezas y componentes mecánicos como cigüeñales, aletas de turbinas, engranajes, partes de aviones, ejes en acero AISI 1045, entre otras aplicaciones que se someten a la variación de cargas cíclicas en condiciones ambientales corrosivos (Mayugo Majó, 2003). La rotura por fatiga es una de las causas más comunes debido a que la variación de esfuerzos genera en

las partículas que constituyen el elemento la tendencia a moverse ligeramente con respecto una de la otra, a tal grado que se fractura (Avilés, 2005). En consecuencia, estos fallos inesperados causan pérdidas económicas, humanas y materiales, incremento en los costos de mantenimiento, baja confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad; por ello dicho material es usado en la elaboración de productos que requieren de su dureza y tenacidad. (Cárdenas Arias et al., 2020).

El hierro se encuentra en estado natural como óxido metálico, por lo tanto, es normal que sufra del ataque de la corrosión como un fenómeno que altera las propiedades físico-mecánicas de los materiales ferrosos, que deja como consecuencia la degradación del material, conllevándolo a su estado natural (Cardenas et al., 2016). Esto motiva la realización del presente proyecto para estudiar la conducta que genera la corrosión de los metales como el acero; se determina así seleccionar para el estudio de la variación de la resistencia a la fatiga el acero AISI SAE 1045, por ser uno de los más utilizados en la industria.

El estudio es de tipo experimental, donde se sometieron las probetas a corrosión por tiempos definidos y posteriormente se expusieron a carga cíclica hasta fallar en una máquina de fatiga por flexión rotativa. Se tomaron los valores de carga y el número de ciclos para graficar la pendiente del diagrama de Wohler.

2. METODOLOGIA

El objetivo del trabajo es determinar como varía la resistencia a la fatiga de un acero cuando se genera el proceso de corrosión, que es un proceso natural del material. Para agilizar este proceso, se utilizaron dos métodos, uno el de cabina de niebla salina y el otro el de inmersión.

El material seleccionado se dio por el uso cotidiano que se le da en la industria. La fabricación de las probetas se fundamentó en la norma ASTM E-606 en su numeral 7.1 (Specimens Design), la cual indica la forma y las medidas de los especímenes, para lo cual se tuvo en cuenta el agarre y el diámetro de sujeción de la máquina de ensayos. El tamaño seleccionado para las probetas definió un diámetro de sección de 6,35 mm cumpliendo los estándares establecidos en la norma. La probeta inicialmente se diseñó con ayuda del software SolidWorks en escala milimétrica y con las medidas mostradas en la Figura 1.

Figura 1. Probeta para ensayo según Norma ASTM E-606

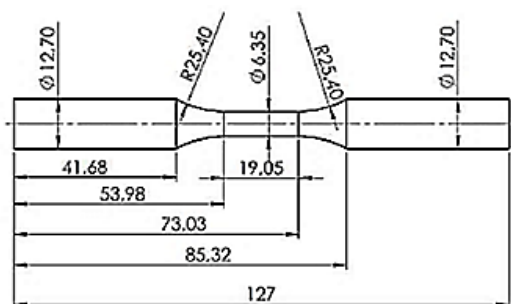


Figura 2. Probetas maquinadas para el ensayo



Siguiendo los parámetros según la norma, se maquinó el material en el torno para conseguir la simetría y posteriormente se realizó un acabado al espejo, requerido para evitar la aparición de poros como principales generadores de concentradores de esfuerzos que propician fisuras iniciales indeseadas alterando la lectura de las pruebas; en total se desarrollaron 35 probetas.

Después se sometieron las probetas al fenómeno de corrosión. Esta etapa se basó en la norma ASTM G-1 (ASTM, 2013), ASTM G-31 (ASTM, 2004) y ASTM B-117, donde se describe el tratamiento y la preparación de las probetas para este proceso. Se utilizaron dos procedimientos para corroer las probetas de acero, corrosión por inmersión y corrosión en banco de niebla.

Para el proceso de corrosión por inmersión Fig. 2, se emplearon 500 ml de hipoclorito de sodio con una concentración del 5% y un galón de agua desmineralizada disolviendo dicha sustancia en un balde plástico donde posteriormente se sumergieron 15 probetas separadas por 3 lotes de a 5 especímenes L1, L2, L3

Figura 3. Corrosión de probetas por inmersión



Figura 4. Especímen corroído por inmersión durante 15, 30 y 45 días



Para el proceso de corrosión por el método del banco de niebla por sistema de sifón se utilizó cloruro de sodio con una concentración del 5% y dos galones de agua desmineralizada, disolviendo esta sustancia y posteriormente vaciándola al tanque de almacenamiento de la cámara para la generación de niebla con una humedad entre el 95% y 98% a una temperatura de 25°C con una presión de 24 psi libre de impurezas y grasa como lo exige la norma ASTM B-117. Se alojaron en total 15 probetas separadas por 3 lotes de a 5 especímenes L4, L5, L6 Figura 5. El tiempo de exposición a la inmersión se muestra en la Tabla 1

Figura 5. Probetas instaladas en el banco de niebla



Figura 6. Especimen corroído en cabina de niebla salina durante 15, 30 y 45 días

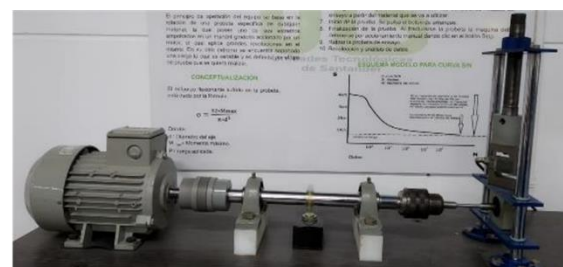


Tabla 1. Descripción ensayo y tiempo de exposición de las probetas

ENSAYO	PROBETA N°	N° de probetas	Tiempo Exposición (días)
Inmersión salina (hipoclorito de sodio + agua desmineralizada)	L1	5	15
	L2	5	30
	L3	5	45
Cámara de niebla salina (cloruro de sodio + agua desmineralizada)	L4	5	15
	L5	5	30
	L6	5	45

Una vez corroídas las probetas, se procedió con los ensayos de fatiga. En esta etapa se realizaron los cálculos matemáticos para determinar la carga máxima a aplicar con la ecuación de deflexión y el momento polar de inercia, además se recurrió a la estática de viga empotrada con carga aplicada en voladizo para determinar los parámetros de las pruebas de fatiga del acero AISI SAE 1045 como lo es el momento y el esfuerzo máximo.

Figura 7. Máquina de ensayo de fatiga por flexión rotativa



Lo anterior se realizó cumpliendo con la norma ASTM E-606 numeral 6.1 donde anuncia que “La capacidad de la fuerza de la máquina utilizada para estos ensayos no tendría que superar los 110 KN (aproximadamente 25 kips)”;

además cumple con la capacidad de la celda de carga de rango 0-200 Kg de la máquina.

Los resultados de los cálculos obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos calculados para parametrización de la prueba

Momento de inercia de la sección circular de prueba del espécimen 6,35mm.	$I = 79.81mm^4$
Fuerza aplicada a la probeta (asumiendo deflexión máxima de 10mm)	$F = 37Kg$
Momento máximo aplicado al espécimen	$MA = 39.575 KN.mm$
Esfuerzo flexionante máximo sufrido en la probeta	$\sigma = 1574.37 N/mm^2$

Para el ensayo de las pruebas de fatiga en la máquina rotativa se toma como base de estudio la norma ASTM E-606 y ASTM E-739, las cuales presentan información sobre la forma de realizar la prueba, así como parámetros específicos para obtener la curva de esfuerzo-vida o curva S-N.

Una vez verificado el correcto funcionamiento de la maquina rotativa de ensayo, se realizaron los procedimientos según la norma a las 35 probetas en estudio

Figura 8. Fractura del espécimen sometido a ensayo fatiga



Al ejecutar el ensayo destructivo de fatiga en la máquina se obtuvo de cada lote de probetas las características físicas típicas de la rotura por cargas cíclicas. En la Tabla 3 y Tabla 4, se presenta un ejemplar de cada lote mostrando tal particularidad en las probetas expuestas a inmersión y banco de niebla respectivamente.

Tabla 3. Fractura de probetas expuestas a inmersión salina (se muestra un ejemplar por cada lote)

		
Probeta fracturada (corrosión por inmersión 15 días)	Probeta fracturada (corrosión por inmersión 30 días)	Probeta fracturada (corrosión por inmersión 30 días)

Tabla 4. Fractura de probetas expuestas en banco de niebla (se muestra un ejemplar por cada lote)

		
Probeta fracturada (corrosión en banco de niebla 15 días)	Probeta fracturada (corrosión en banco de niebla 30 días)	Probeta fracturada (corrosión en banco de niebla 45 días)

A partir del ensayo de fatiga se obtuvo además de las características físicas, los datos cuantitativos necesarios para determinar la curva S-N que proviene del análisis estadístico donde es posible relacionar la fuerza aplicada con el número de ciclos a la falla mediante regresión lineal utilizada para predecir o estimar un comportamiento de la variable (Esfuerzo) en función de otra variable (Número de ciclos), a partir de los lineamientos de la norma ASTM E-739 se obtuvo la variación de la resistencia a la fatiga en las probetas sometidas a corrosión en diferentes tiempos y métodos, la Figura 9; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Figura 10; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** resumen los resultados obtenidos de todas las probetas expuestas a inmersión salina y banco de niebla respectivamente.

Figura 9. Variación de la resistencia a la fatiga de las probetas corroídas en solución salina a diferentes tiempos del acero AISI SAE 1045

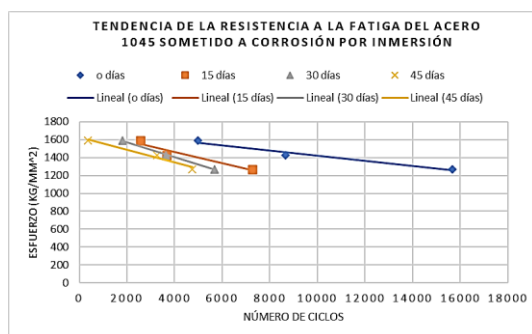
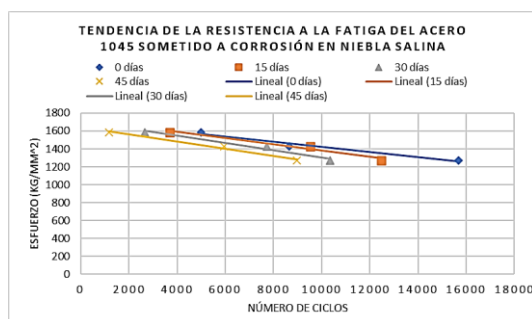


Figura 10. Variación de la resistencia a la fatiga de las probetas corroídas en cabina de niebla a diferentes tiempos del acero AISI SAE 1045



3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Probetas expuestas a inmersión salina

Los resultados obtenidos vistos en la Figura 9; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestran la afección del material referente a la resistencia a la fatiga, pues esta resistencia disminuye a causa de la corrosión,

demonstrando que por mínima que sea la variación del esfuerzo, el tiempo de vida útil del material disminuye, teniendo en cuenta además el tiempo de exposición.

El comportamiento del lote de probetas L3 (45 días) Figura 9, inicia la curva de tendencia en la fase de fatiga de bajo ciclaje (10^3), lo que indica una mayor afección del material a causa de la corrosión por el tiempo de exposición.

La tendencia del esfuerzo es a incrementar por lo cual es una condición crítica ya que como se muestra en la figura 31 afecta directamente el número de ciclos de vida a falla del material en estudio.

El ensayo que presentó el efecto más perjudicial de la resistencia a la fatiga considerando las condiciones de agresividad por el tiempo de exposición a la corrosión fue en el lote de probetas L3 (45 días). Dicho material acero 1045 con alta resistencia mecánica resisten la nucleación de grietas por fatiga, pero después de formadas crecen de manera rápida.

Probetas expuestas en cabina de niebla

Se puede apreciar de la Figura 10 la variación de la resistencia a la fatiga respecto al tiempo de exposición, siendo más crítica las probetas en cámara por 45 días respectivamente.

La tendencia de esfuerzo es ascendente para lo cual influye directamente en la vida útil del espécimen, incluyendo también que por mínima que sea la variación de dicho esfuerzo el número de ciclos decrece cuantitativamente.

Se puede afirmar que la tendencia del número de ciclos a falla de las probetas corroídas es mantenerse entre 10^4 y 10^5 ciclos, no se aprecia una variación considerable de vida a falla del material del lote de probetas en cámara por 45 días.

De resultados obtenidos y de investigaciones realizadas, la tendencia a la corrosión de un material se puede reducir con la existencia de capas que protejan su superficie. Estas capas pueden ser aplicadas artificialmente, en forma de recubrimientos; o pueden aparecer a través del fenómeno de pasividad, formándose capas de óxidos metálicos que impiden el avance del proceso corrosivo (Charnng, 1982)

4. CONCLUSIONES

La corrosión afecta al material de forma progresiva y ascendente a lo largo del tiempo, observándose una mínima variación en la tensión,

pero es suficiente para disminuir significativamente la resistencia a la fatiga del material AISI SAE 1045 sometido a inmersión y cámara de niebla en diferentes tiempos de exposición, como se muestra en la Figura 9 y Figura 10, donde los diferentes comportamientos de cada lote de muestras se superponen.

La mayor concentración de cloruros que ataca el material implica una mayor disminución de la resistencia a la fatiga, evidenciada en los dos métodos de trabajo aplicados, donde las probetas sometidas a inmersión presentaron mayor disminución en la resistencia a la fatiga que a la niebla salina.

Se verifica la teoría de que la fractura ocurre cerca del concentrador de esfuerzos, porque todos los especímenes se rompieron en esa sección.

REFERENCIAS

- ASTM, I. (2004). Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. In *ASTM International*.
<https://es.scribd.com/document/341249782/ASTM-G31-72-Laboratory-Immersion-Corrosion-Testing-of-Metals>
- ASTM, I. (2013). Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion Test Specimens. In *ASTM International*.
https://www.researchgate.net/profile/Mohamed_Gobara2/post/What_are_the_best_ways_to_remove_a_corrosion_product_from_a_steel_brass_samples_in_contact/attachment/5c2fb7323843b006754ea83e/AS%3A711435973824517%401546630962784/download/G+1+-+03+-+RZE_
- Avilés, R. (2005). *Análisis de fatiga de máquinas* (Thomson (ed.)). Thomson.
- Cárdenas Arias, C. G., Rincón Quintero, A. D., Santos Jaimes, A., & Sandoval Rodriguez, C. L. (2020). *Elasticity modulus variation of the AISI SAE 1045 steel subjected to corrosion process by chloride using tension test destructive*.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/844/1/012059>
- Cardenas, C., Pardo, O., Barajas, E., & Santos, A. (2016). Incidence of Corrosion on Electric Power Losses in ACSR Cables. *Tecciencia*, 11(20), 27–33.
<https://doi.org/10.18180/tecciencia.2016.20.4>
- Charnig, & L. (1982). *Review of Corrosion causes and corrosion control in a technical facility*. 145–156.
- Mayugo Majó, J. (2003). *Estudio constitutivo de materiales compuestos laminados a veces a cargas cíclicas*. [Universidad Politécnica

de Cataluña].

<http://hdl.handle.net/2117/94171>