

“Análisis del Comportamiento a Fatiga en Flexión Rotativa de un Acero AISI SAE 1018 en Ambientes Corrosivos”

Reina Paguay Alvarado
Julián Peña Estrella
Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
reispag@espol.edu.ec
jpena@espol.edu.ec

Resumen

El presente trabajo estudió la sinergia de la fatiga en flexión rotativa y la corrosión de un acero de transmisión, AISI 1018, empleando probetas normalizadas de fatiga. El objetivo de esta tesis fue determinar la influencia del medio corrosivo en la vida del acero ensayado actuando bajo las condiciones de carga señaladas, para lo cual se realizó comparaciones entre las pruebas a fatiga en seco y las sometidas al ambiente corrosivo, obtenidas en este trabajo. Los ensayos se realizaron en una solución salina al 5% de NaCl a 60 Hz (1650 rpm). La salmuera se aplicó desde el inicio del movimiento de rotación de la probeta hasta que la misma se fracturara, la forma de exposición fue pulverización del fluido. Antes de la experimentación se hicieron ensayos para la caracterización del material y para obtener la máxima resistencia a la tracción experimental, dato que se usó en los respectivos cálculos. Se obtuvo una disminución del 10% en el límite de resistencia a fatiga, mientras que la resistencia a fatiga en vida finita no se vio afectada por el corto tiempo de exposición de la probeta en el medio.

Palabras Claves: Fatiga, flexión rotativa, corrosión, solución salina, límite de resistencia a fatiga, vida finita.

Abstract

Rotating bending fatigue and corrosion synergy for AISI 1018 steel was considered using standard rotating fatigue specimens. The objective was to determine the influence of the corrosive environment on the life of the steel tested under the specified conditions of loads. Therefore, comparisons are made between the fatigue tests in dry and subjected to the corrosive environment, obtained in this work. The testing was made on a saline solution (5% NaCl) and 60 Hz (1650rpm). The brine was applied since the beginning of the test until the sample was broken. The type of exposure was pulverization of the fluid. Before the experimental, trials were made to characterize the material and to obtain the maximum tensile experimental data that was used in the respective calculations. Comparisons between a dry test and the adapted experiment showed a reduction of 10% in the fatigue strength limit, while resistance to fatigue in finite life was not affected by short exposure time of the specimen in the environment.

Keywords: Fatigue, rotating bending, corrosion, saline solution, fatigue strength limit, finite life.

1. Introducción

En este trabajo se va a incursionar en el ámbito de la Mecánica de la Fractura y por ende en el análisis de falla, aspectos que en la actualidad son poco estudiados en nuestro medio.

Mediante la experimentación que se propone, se llegará a un análisis para estimar el tiempo de servicio

de probetas de acero de transmisión, que serán sometidas a solicitaciones variables de flexión rotativa y a un medio salino como agente corrosivo, esperando que este último parámetro influya negativamente y reduzca la vida del acero ensayado.

Los procedimientos a seguir para la elaboración de este proyecto, tanto ensayos como el procesamiento de los datos, se remitirán en su mayoría a las normas ASTM.

2. Procedimiento experimental

2.1 Material y probetas

Los ensayos se realizaron con el acero de transmisión AISI SAE 1018.

Este acero de bajo-medio carbono es empleado con alta frecuencia en la industria para la elaboración de ejes de mediana resistencia. La facilidad de obtención en el mercado y su precio conveniente hacen que este material sea considerado en los diseños que impliquen componentes sometidos a esfuerzos ya sean estáticos o dinámicos.

La composición química se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados del análisis químico

Grado de designación	Porcentaje de composición (%)						
	C (%)	Mn (%)	P (%)	S(%)	Si	Ni	Mo
1018	0.153	0.603	0.045	0.030	0.309	0.056	0.041
	Cu	V	Al	Ti	Nb	Co	W
	0.108	0.004	0.004	0.006	0.008	0.007	0.01
	Sb	As	Sn	Zr	Cr	Fe	
	0.004	0.013	0.007	0.002	0.117	98.5	

Las principales propiedades de este acero son enlistadas en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados del ensayo de tensión

Esfuerzo de fluencia [MPa]	Esfuerzo máximo [MPa]	Esfuerzo de Rotura [MPa]	% de elongación [MPa]
698,173	729,037	477,410	13,5

La microestructura obtenida se muestra en la figura 1.

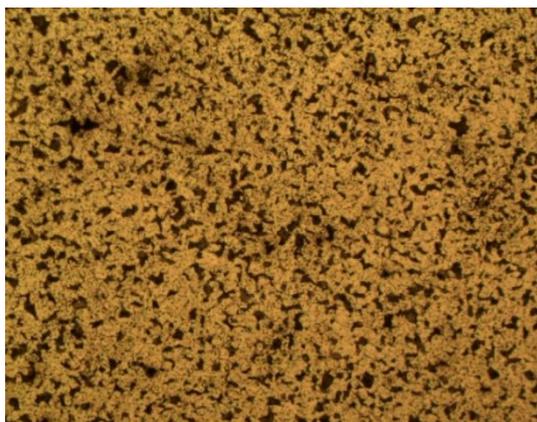


Figura 1. Microestructura sección transversal (100 x). nital 3%

Los ensayos de metalografía y composición química corroboran que el material especificado por el fabricante y por los estándares, corresponde al acero en cuestión, sin embargo los resultados de los ensayos de dureza (96,94 HRB) y de tensión muestran que el material adquirido sobrepasa las características especificadas.

Sin embargo, esto puede ocurrir en la vida real: Obtener un producto de una casa distribuidora y utilizarlo en la fabricación de un elemento sin conocer las propiedades del mismo, pudiendo tener baja resistencia o algún defecto interno que afecte la vida del elemento.

Después de los ensayos de caracterización, las probetas para el ensayo de fatiga fueron maquinadas de acuerdo a lo especificado por la norma ASTM E 606.

Las dimensiones de las probetas se muestran en la figura 2.

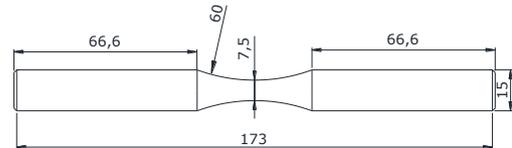


Figura 2. Esquema de la probeta a ensayar Dimensiones en mm

2.1 Procedimientos de los ensayos

La máquina de flexión rotativa, Moore, fue usada en el presente trabajo.

Todos los ensayos de fatiga fueron conducidos a una constante amplitud de esfuerzos, con una relación de esfuerzos $R=-1$. La velocidad de ensayo fue de 1650 rpm.

Los esfuerzos debido a la rotación del eje son cíclicos de inversión completa, mientras unas fibras del eje se encuentran en compresión otras se mantienen a tensión, esto varía a través del tiempo. (Ver figuras 3 y 4)

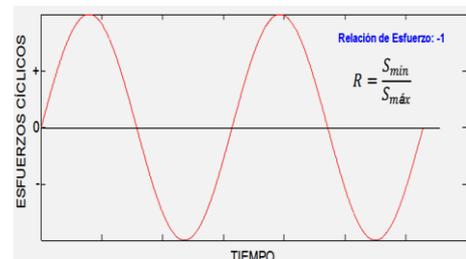


Figura 3. Esfuerzos cíclicos de inversión completa

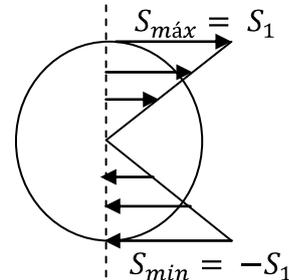


Figura 4. Distribución de esfuerzos en un eje.

Las pruebas de fatiga con corrosión se realizaron en una solución salina al 5% de NaCl a una temperatura ambiente

La cámara de corrosión desarrollada para conducir las pruebas en el medio agresivo seleccionado se muestra en la figura 5. El fluido de circulación se

encontraba en un sistema abierto, la solución pulverizada ingresaba en la cámara de corrosión y el condensado era desechado. El condensado del fluido en la cámara fue de 0.1 L/h.



Figura 5. Cámara usada en los ensayos de fatiga con corrosión

3. Ensayos de fatiga con corrosión

A continuación se presenta un esquema de la máquina usada.

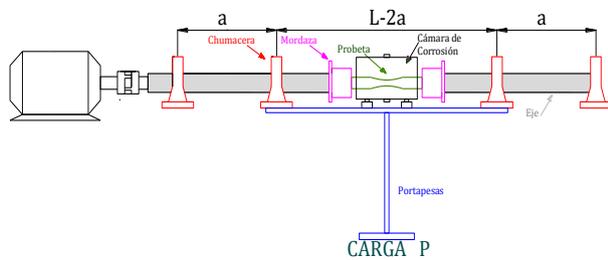


Figura 6. Esquema general de la máquina de ensayos

La distribución de fuerza cortante y momentos de flexión a lo largo del eje mostrado en el esquema anterior es:

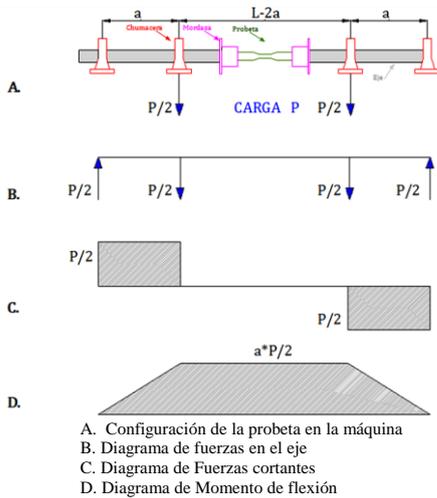


Figura 7. Diagrama general de esfuerzos de una probeta a fatiga en flexión rotativa

El momento crítico aplicado sobre la probeta se encuentra en su parte central debido a la magnitud del brazo de momento (Ver figura 7D.) y a la reducida sección transversal que magnifican los esfuerzos generados por la carga.

El esfuerzo en el material en función de la carga en el portapesas es:

$$\sigma = S_e = 1,6901 P \quad [\text{MPa}]$$

3.1. Ensayos curva Wöhler: zona de vida finita

Se realizará el ensayo para la zona de vida finita con los siguientes parámetros definidos:

No. de Niveles de esfuerzo: 3

Probetas por nivel de esfuerzo: 4

Los niveles de esfuerzo, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3. Niveles de esfuerzo para ensayos de fatiga a vida finita

No. de probeta	Sf/Sut	Esfuerzo [Mpa]
5	0,8	583,2
7		583,2
9		583,2
2		583,2
4	0,7	510,3
6		510,3
7		510,3
8		510,3
9	0,6	437,4
12		437,4
11		437,4
10		437,4

3.2. Límite de resistencia a la fatiga

El objetivo de esta prueba es encontrar el Límite de resistencia a fatiga (S_e'), en donde las probetas de acero sometidas a una determinada carga tengan una duración superior a los 10^6 ciclos; se emplearon para ello 6 especímenes.

La secuencia que se empleará será:

Se carga una probeta con cierto esfuerzo que se supone superior al límite de fatiga, se disminuye la carga en la cantidad d y se ensaya otra probeta. Se realiza este procedimiento siempre y cuando no se verifica la primera 'no ruptura'; en aquel punto, se procede a aumentar la carga en una cantidad d y se analiza el comportamiento de la probeta: si ésta se rompe, la probeta sucesiva es ensayada con un nivel inferior de carga, si en cambio no se rompe, el ensayo de la probeta posterior se lleva a cabo incrementando el esfuerzo. La cantidad d corresponde paso entre los niveles de esfuerzos, suele estar comprendida entre 10 y 20 MPa.

Los métodos que se usarán para el procesamiento de datos serán el método Dixon y el método Hodge-Rosenblat. Referencia [22].

4. Resultados

4.1. Curva Wöhler: zona de vida finita

Tabla 4. Resultado de pruebas en la zona de vida finita

RELACIÓN DE FATIGA: R=-1			
# de probeta	Sf/Sut	S Esfuerzo [Mpa]	N Ciclos
5	0,8	583,2	3619
7		583,2	5711
18		583,2	4244
2		583,2	9711
4	0,7	510,3	27408
6		510,3	11192
15		510,3	23100
8		510,3	18533
9	0,6	437,4	91058
10		437,4	129961
11		437,4	119482
12		437,4	117733

Los datos obtenidos se grafican en escala logarítmica obteniendo la curva S-N. Mediante respectivos cálculos estadísticos, referencia [10] se determinó la ecuación de la curva basada en la mediana de los datos (con probabilidad del 50%), además se grafica también las curvas hiperbólicas que representan bandas de probabilidad del 95% las cual garantizan que los datos se encuentran dentro de ese rango.

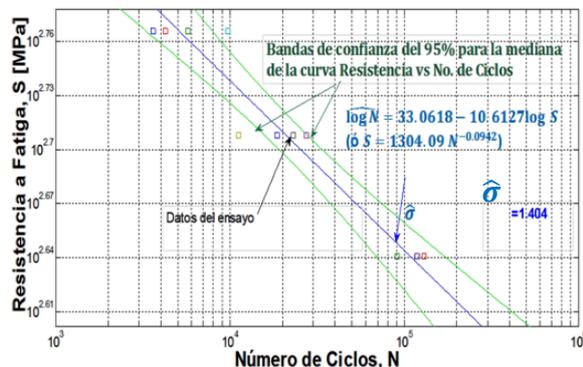


Figura 8. Curva S-N para ensayos de fatiga en medio salino (5% NaCl)

4.2. Límite de resistencia a la fatiga

Tabla 5. Resultados del ensayo en vida infinita

Relación Se'/Sut	Esfuerzo [MPa]	PROBETAS					
		1	2	3	4	5	6
0,393	286,1955					X	
0,365	266,1955		X		0		X
0,338	246,1955	0		0			
X	Muestra rota						
0	Muestra sin romper						

En donde,
 0: Corresponde a probetas que no se fracturaron en el ensayo.
 X: Representa probetas fracturada.

Se procesaron los datos, usando los métodos anteriormente mencionados obteniéndose que el límite de resistencia a fatiga corresponde a 262.82 MPa, que corresponde a 0.36 Sut.

Un anterior estudio (referencia [21]) determinó que el límite de resistencia para ensayos de fatiga en aire del acero AISI 1018 se encontraba en 0.40 Sut.

Por lo que se deduce que la corrosión disminuyó en un 10% la vida del acero.

Tabla 6. Resultados del ensayo en vida finita: Límite de resistencia a fatiga

METODO	FÓRMULA	PROBABILIDAD DE ROTURA					
		50%		10%		90%	
DIXON	$Se'_{(50\%)} = S_r + K \cdot d$	262,82	0,36	288,27	0,40	237,36	0,326
HODGE-ROSENBLAT	$Se'_{(50\%)} = \sum_{i=1}^{N/2} \frac{S_i + S_N}{N}$	262,86	0,36	288,31	0,40	237,41	0,326

4.3. Fractografía

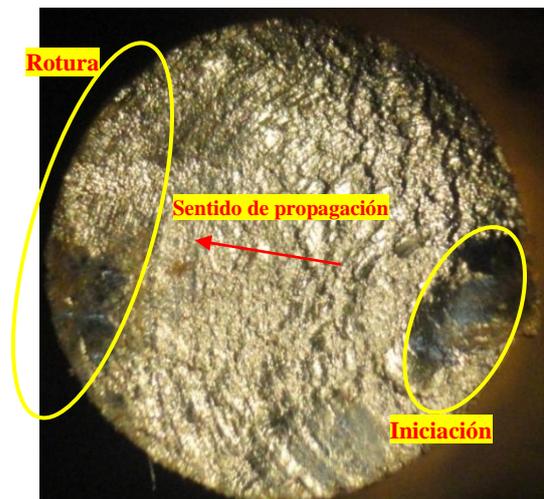


Figura 9. Superficie de una probeta fracturada debido a fatiga de alto ciclaje.

La superficie de la fractura presenta marcas de playa, características de la fatiga. Las marcas indican el sentido de propagación de la grieta inicial. Esta probeta tuvo una vida de 959040 ciclos.

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se concluye lo siguiente:

1. La infraestructura elaborada para la presente tesis, será de gran utilidad en las prácticas de laboratorio de los estudiantes de la facultad de Ingeniería Mecánica pues, se podrá realizar ensayos de fatiga en medios corrosivos para determinar el tiempo de vida útil de distintos materiales.

2. Se incursionó con éxito en el ámbito de la mecánica de la fractura, logrando evaluar el comportamiento mecánico del acero de transmisión AISI 1018, a través de ensayos de fatiga en medio salino, en donde se encontró que el límite de resistencia a fatiga se encuentra en 262 MPa (0,36 Sut).
3. En comparación con un trabajo anterior, en donde se estudió la fatiga en aire del mismo acero, se determinó que el entorno agresivo estudiado (solución al 5% de NaCl), causó una disminución del 10% en el límite de resistencia a la fatiga del acero AISI 1018, corroborando que, el medio salino degrada la vida de componentes metálicos actuando en condiciones agresivas.

5.1 Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente:

1. Extender el estudio de la fatiga en medios corrosivos experimentando:
 - i. Diferentes materiales diseñados para trabajar a esfuerzos fluctuantes.
 - ii. Medios corrosivos, como: ácidos, soluciones salinas con diversas concentraciones de NaCl, productos alimenticios, etc.
 - iii. Temperaturas y velocidades diferentes al de este trabajo.
2. En caso de estudiar materiales de alta resistencia, las probetas de ensayo deberán poseer diámetros menores al usado en esta tesis (7,5mm), con el fin de no sobrecargar la máquina, pues el valor máximo de carga que soporta la misma es de 40Kg.

6. Referencias

- [1] A. Ensin, "Method of Correllating Different Types of Fatigue Curves", International Journal of Fatigue, vol. 2, no. 4, pp. 153-158, 1980.
- [2] ASM Metals Handbook Volume 1 - Properties and Selection Irons, Steels, And High-Performance Alloy.
- [3] ASM Metals HandBook, Volumen 11 "Failure Analysis and Prevention" (1992).
- [4] ASM Metals HandBook, Volumen 12 "Fractography" (1992).
- [5] ASM INTERNATIONAL, "Handbook Volume 13 Corrosion", (1992).
- [6] ASM Metals HandBook, Volumen 19 "Fatigue and Fracture" (1996).
- [7] ASTM E8 / E8M Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.
- [8] ASTM E468 Practice for Presentation of Constant Amplitude Fatigue Test Results for Metallic Materials.
- [9] ASTM E606 Practice for Strain-Controlled Fatigue Testing.
- [10] ASTM E739 Standard Practice for Statistical Analysis of Linear or Linearized Stress-Life (S-N) and Strain-Life (ϵ -N) Fatigue Data.
- [11] ASTM E1823 - 10a Standard Terminology Relating to Fatigue and Fracture Testing.
- [12] ATLAS OF MICROSTRUCTURE ASM HANDBOOK
- [13] FAIRES, Virgil. Diseño de elementos de máquinas, México, Limusa Noriega, 2000, 802 págs.
- [14] Manual on Statistical Planning and Analysis for Fatigue Experiments, STP 588, ASTM, 1975.
- [15] JONES Denny A. Principles and prevention of corrosion, Upper Saddle River, NJ, USA, Pearson-Prentice Hall, 1992.
- [16] SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. Diseño en Ingeniería mecánica, carga variable. 5ed. México: Graw Hill, 1992, p. 312.
- [17] SHREIR L, JARMAN R, BURSTEIN, G. CORROSION, Metal/Environment Reactions. Volume 1. Tercera Edición. Butterworth-Heinemann, 1994.
- [18] MOLINA CESAR, "Adaptación Tecnológica de una Máquina de Ensayos Moore" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2008).
- [19] UNI 3964:1985 Prove meccaniche dei materiali metallici. Prove di fatica a temperatura ambiente. Principi generali
- [20] Manual on Fitting Straight Lines, STP 313, ASTM, 1962.
- [21] POLANCO, C. "Análisis del Comportamiento a Fatiga en Flexión Rotativa de un Acero AISI SAE 1018" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2011).
- [22] CASCELLA MARIA TERESA, "Fatica su componente simulazione e provesperimentali" (Ph.D Tesis, Universidad de estudios de Bologna, 2005)
- [23] Eurospray. Catalogo: Nozzles-Filters. 2007.
- [24] ECHEVERRIA, R. Fractura. Universidad Nacional de COMAHUE.

Ing. Julián Peña
Director de Tesis

Guayaquil, 19/09/2011