

Journal of Engineering Research

ISSN 2764-1317

vol. 6, n. 1, 2026

... ARTICLE 5

Acceptance date: 27/01/2026

ESTUDIO EXPLORATORIO DE LA FRACTURA POR FATIGA ROTACIONAL DE PROBETAS DE ACERO SAE 1018, BAJO CARGA AL CENTRO, ELABORACIÓN DE LA CURVA S-N Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Asur Cortes Gómez

<https://orcid.org/0009-0002-1068-846>

José Arturo Correa Arredondo

<https://orcid.org/0009-0005-5279-891X>

Jorge Sandoval Lezama

<https://orcid.org/0009-0001-8285-5509>

Alejandro Mejía Carmona

<https://orcid.org/0009-0009-0585-5335>

Tiburcio Fernández Roque

<https://orcid.org/0009-0001-4359-2099>

Víctor M. Sauce Rangel

<https://orcid.org/0000-0003-1333-9153>



All content published in this journal is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

Resumen : En este trabajo, se maquinaron 1 grupo de 5 probetas de acero SAE 1018 de acuerdo a la norma, el grupo se desbastó con lija 180-240 grit (0.38 micrómetros) en la zona de prueba, [ISO/FEPA]¹. Se probaron en fatiga rotacional en flexión con carga al centro a través del uso de una máquina para pruebas de fatiga y reportada brevemente en la descripción experimental. Las graficas de los resultados presentan una tendencia similar al comportamiento de fatiga del acero al inicio de las pruebas y lo cual está reportado en bibliografía², de 10 Kgf de carga (47 Ksi) con $N=10^4$ ciclos y de 30 Ksi con $N=10^6$ ciclos en el inicio del límite de fatiga, que comparados con los resultados de este estudio para este grupo con una amplitud de esfuerzo inicial de 46.7 Ksi con $N=10^{3.4}$ a 28.8 Ksi para $N=107204$, $10^{5.03}$ ciclos, en el límite de fatiga. Se asumió que estos valores corresponden al inicio del límite de fatiga de este acero, debido a que estas pruebas no fracturaron después de una hora y se apagó la máquina. Los resultados de amplitud de esfuerzo – número de ciclos promedio se analizaron estadísticamente con la aplicación del software GraphPad Prism.

Introducción

La determinación práctica de la curva S–N (esfuerzo–número de ciclos) para probetas de acero SAE 1018 sometidas a fatiga rotacional con carga aplicada al centro permite caracterizar el comportamiento del material frente a sollicitaciones cíclicas. Este tipo de ensayo es importante para establecer el límite de fatiga, así como para evaluar la vida útil de componentes mecánicos y comprender los mecanismos de falla por cargas cíclicas, periódicas o fluctuantes. Mediante pruebas controladas en laborato-

rio, donde las probetas se someten a esfuerzos alternantes hasta la falla, es posible obtener los datos para construir la curva S–N y a partir de ellos, analizar la resistencia del acero SAE 1018, un material ampliamente utilizado por su ductilidad, facilidad de maquinado y buenas propiedades mecánicas. La información resultante es esencial para el diseño de elementos que operan bajo condiciones dinámicas, asegurando la probable confiabilidad y la integridad estructural en aplicaciones industriales. En los laboratorios de ESIME UPT IPN se tiene una máquina para pruebas de fatiga rotacional con carga al centro, desarrollada y manufacturada para la realización de prácticas, tesis y desarrollo de proyectos en las carreras de Ingeniería aeronáutica y automotriz.

Marco teórico

Fatiga de materiales

La fatiga es un mecanismo de falla que ocurre cuando un material es sometido a cargas cíclicas o fluctuantes, incluso si estas están por debajo del límite elástico. A lo largo de los ciclos de esfuerzo, se generan microgrietas que progresan hasta provocar la fractura final del componente. La fatiga representa uno de los modos de falla más comunes en ingeniería mecánica, especialmente en elementos que trabajan bajo condiciones dinámicas como ejes, volantes, engranes y componentes estructurales (Suresh, 1998)³.

La falla por fatiga se desarrolla generalmente en tres etapas:

Iniciación de grietas, a partir de defectos superficiales, porosidades o inclusiones.

Propagación de grietas, donde el avance ocurre en forma estable bajo cargas repetidas.

Fractura final, cuando la sección remanente ya no puede soportar la carga.

Curva S-N o curva de Wöhler

La curva S-N (Stress–Number of cycles) representa gráficamente la relación entre la amplitud del esfuerzo aplicado y el número de ciclos que el material soporta antes de fallar. Fue introducida por Wöhler en el siglo XIX y constituye una de las herramientas fundamentales para el análisis de fatiga en materiales metálicos (Stephens et al., 2001)⁴.

En un ensayo típico, se registran los esfuerzos alternantes aplicados y el número de ciclos hasta la falla, permitiendo establecer dos regiones características:

Región de vida finita: existe una relación inversa entre la magnitud del esfuerzo y la vida a fatiga.

Región de vida infinita (o límite de fatiga): para algunos aceros existe un nivel de esfuerzo por debajo del cual el material puede soportar un número infinito de ciclos sin fallar. En la figura 1, se encuentran los datos del comportamiento S-N para el acero SAE 1018, Shigley, Ed. 8⁵

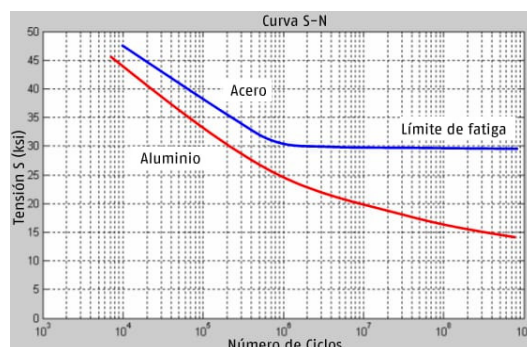


Figura 1. Gráficas S-N para el acero y el aluminio²

Para muchos aceros al carbono, como el SAE 1018, el límite de fatiga suele estar entre el 40–60 % de la resistencia a la tracción.

Ensayos de fatiga rotacional

El ensayo de fatiga rotacional es uno de los métodos más utilizados para obtener la curva S-N. En este procedimiento, la probeta gira alrededor de su eje mientras se le aplica una carga transversal constante, generando un esfuerzo completamente alternante ($R = -1$). Conforme la probeta gira, su superficie experimenta tensiones de flexión que cambian de tracción a compresión en cada revolución (Budynas & Nisbett, 2015)⁶.

El ensayo presenta ventajas:

Simplicidad en el montaje.

Alta repetitividad.

Generación de esfuerzos alternantes puros.

Generalmente se sigue la práctica estandarizada ASTM E466⁷, adaptada para configuraciones rotacionales y

para este estudio la zona normalizada se maquinó a 6.35 mm.

Acero SAE 1018 y sus propiedades mecánicas

El acero SAE 1018 es un acero al carbono de bajo contenido de carbono (0.18 % C), ampliamente utilizado en aplicaciones industriales debido a sus buenas propiedades mecánicas, su maquinabilidad y su comportamiento favorable bajo deformación. Presenta una microestructura de ferrítica y pequeñas porciones de perlita, lo que le confiere buena ductilidad y moderada resistencia, (Callister & Rethwisch, 2014)⁸.

Propiedades mecánicas típicas:

Resistencia a la tracción: 64 Ksi o 64000 Psi

Límite elástico: 45 Ksi o 45000 Psi

Buena soldabilidad y maquinabilidad

El límite de fatiga del SAE 1018, cuando no está endurecido, suele ubicarse alrededor de la mitad de su resistencia a la tracción., es decir, (32 - 34 Ksi)

Determinación práctica de la curva S-N

Procedimiento experimental para obtener la curva S-N del acero SAE 1018:

1. Manufactura de probetas normalizadas, con geometría definida para evitar concentraciones de esfuerzo, Fig. 1.
2. Aplicación de carga transversal al centro para establecer un esfuerzo

alternante de flexión durante la rotación, croquis Fig. 2.

3. Registro de los ciclos a la falla a través de un contador electromecánico, Fig. 2, registro de parámetros.
4. Repetición del ensayo a diferentes niveles de esfuerzo, para obtener los datos de amplitud de esfuerzos-número de ciclos (Curva o grafica S-N), Tablas 5-6 y gráfica 1.

La mayoría de normas acepta 5-10 pruebas

Normas como **ASTM E466** e **ISO 1099** suelen trabajar con **series pequeñas** (5 a 12 probetas) porque:

- fabricar y ensayar probetas es costoso,
- para un solo nivel de carga, la dispersión suele ser manejable con pocos datos,
- la media y la desviación estándar obtenidas son suficientes para caracterizar el material en ingeniería.

El promedio de 5 pruebas de fatiga se considera representativo porque:

- La fatiga tiene dispersión natural y se requiere más de una medición.
- Cinco pruebas suelen estabilizar la media.
- Las normas internacionales usan tamaños de muestra similares.
- El promedio permite comparar y caracterizar el material. (Dieter, G. E.)⁹

Materiales y equipo

- **El tipo de acero** utilizado es un acero SAE 1018 de fabricación nacional y con las siguientes características: (Sidney H. Avner)¹⁰
- La Geometría de las probetas, se presenta en el siguiente croquis (ASTM E466 o E739).
- **El equipo de fatiga rotacional se conceptualizo y desarrollo en la ESIME UPT IPN**, de acuerdo al croquis y fotografías de la figura 3.

Procedimiento experimental

Preparación de probetas

Las probetas se mecanizan siguiendo geometrías comunes para fatiga rotacional (con sección reducida cilíndrica).

Se controla la rugosidad superficial (generalmente $Ra \leq 0.8 \mu m$) para minimizar variaciones, por ser un estudio exploratorio y académico $Ra = 0.13 \mu m$.

Se verifica la ausencia de defectos mediante inspección visual y dimensional.

Etapas

1. Se coloca la probeta en la máquina y se aplica la carga transversal al centro.
2. Se inicia con una carga aproximada al 90% del esfuerzo de cedencia.
3. Velocidad de rotación 1800-2000 RPM.
4. Ejecutar el ensayo hasta la falla o si procede, hasta alcanzar un límite predefinido de ciclos (por ejemplo, 10^6 o 10^7 ciclos).

5. El proceso se repite con valores aproximados de amplitud de esfuerzo, para este trabajo de: 48.1, 43.3, 38.5, 33.7 y 28.8 Ksi, tablas 5-6.
6. Se registra el número de ciclos a la fractura para cada probeta y el promedio para el lote de probetas, tabla 6.
7. Se analiza la superficie de fractura para identificar características de inicio y propagación de grietas.

Construcción de la curva S-N, grafica1.

8. Se grafican los valores de la amplitud de esfuerzo (S) contra el número de ciclos a la falla (N). Se observa: Una pendiente pronunciada en la zona de vida finita ($N < 10^6$ ciclos). Una tendencia hacia la horizontal que indica el límite de fatiga para esfuerzos bajos (característico de aceros al carbono).

9. Estimación del límite de fatiga

Para el acero SAE 1018, se anticipa un límite de fatiga típico alrededor del 45–55 % de la resistencia a la tracción, es decir, aproximadamente 200–250 MPa, (29-36.2 Ksi) dependiendo del acabado superficial y del tratamiento previo.

10. Influencia de variables experimentales

Probetas con mayor rugosidad superficial tenderán a fallar a menor número de ciclos.

Pequeñas variaciones geométricas en la zona reducida afectan el momento aplicado.

Núm. AISI	%C	%Mn	%P máx.	%S máx.	Núm. AISI
1018-1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.04	0.05	1018-1020

Tabla No 1. Composición química del acero 1018

%C	Esfzo. de cedencia	Esfzo. de tensión	% Deform.	% red. área	Dureza BHN
0.20	45000 Psi	64000 Psi	35	60	120

Tabla No 2. Propiedades mecánicas del acero 1020 con tratamiento térmico de normalizado

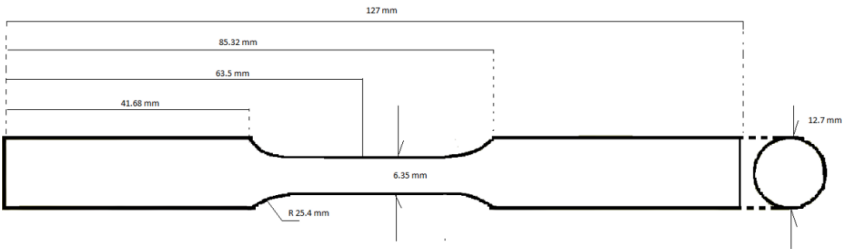


Figura 2. Croquis de la geometría utilizada en las probetas

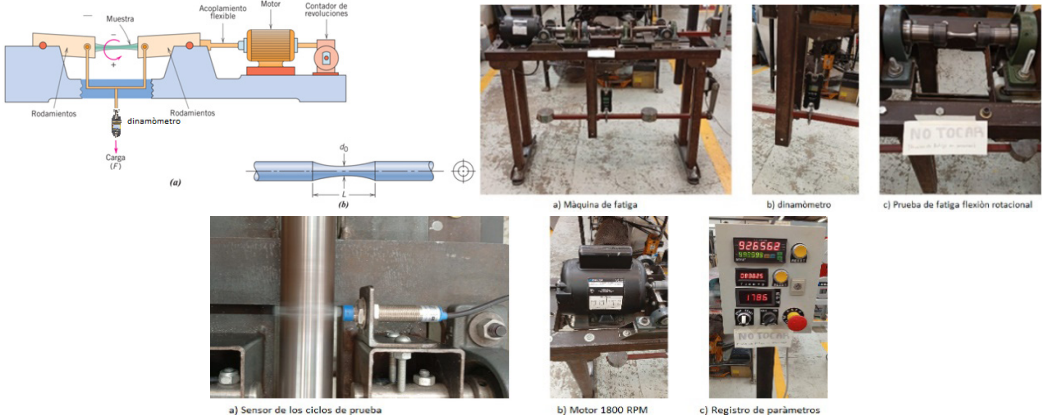


Figura 3. Máquina de fatiga rotacional capaz de aplicar flexión alternante pura ($R = -1$), contador digital/mecánico de revoluciones y sistema de paro automático cuando ocurre la fractura.

A mayor velocidad de rotación, aumenta ligeramente la temperatura local, pudiendo afectar resultados, aunque moderadamente.

Marcas de playa producto de la propagación de grietas por fatiga.

Zona final de ruptura frágil o dúctil dependiendo de la velocidad de fractura.

Iniciación de grieta en la superficie, donde el esfuerzo de flexión es máximo.

En la figura 4, se presentan las probetas y las que no fracturaron.



Figura 4. Serie de 5 probetas sin romper con las 4 series fracturadas.

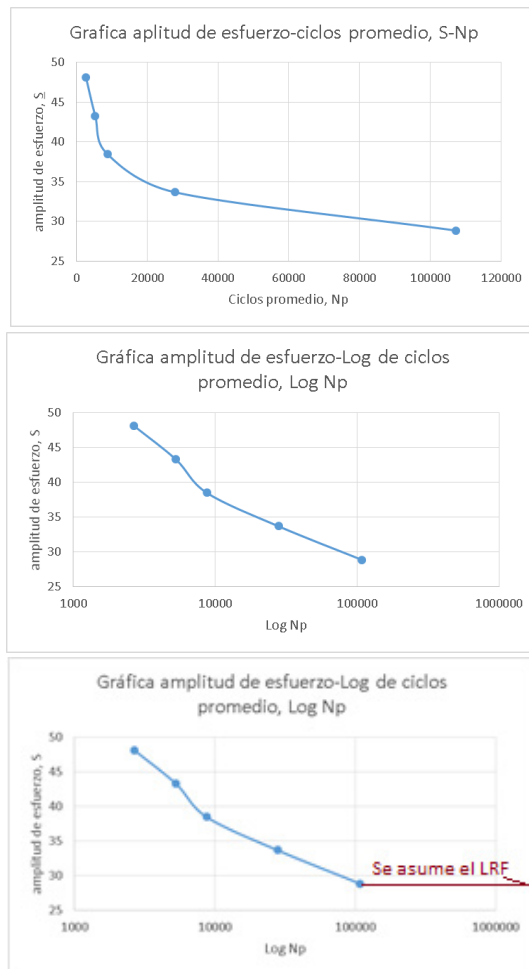
Condiciones para los cálculos y ecuaciones utilizadas

Registro de la amplitud de esfuerzo aplicado en las diferentes unidades, con el uso de las relaciones geométrica carga–momento–esfuerzo y condiciones realizadas para los cálculos, tabla 3, 4.

Resultados

Los resultados de las pruebas, se iniciaron con la aplicación de una amplitud de esfuerzo de 48.09 Ksi que corresponde al 89.6 % del esfuerzo de cedencia del material, acero SAE 1018, hasta 28.86 Ksi, en donde se

asume que se alcanzó el límite de fatiga del material, la medición de la zona de prueba depende de la percepción del cómo y quién la realiza, es importante que la medición se haga con la mayor precisión.



Grafica 1. Curvas S– Np, (amplitud del esfuerzo–número de ciclos promedio), Log Np y la suposición del límite resistencia a la fatiga.

En este grupo de pruebas, se apagó la maquina porque las muestras ya no fracturaron después de una hora y debido a la disponibilidad del laboratorio. Se asumió que a los 28.86 Ksi, se inició el límite de fatiga.

<i>Diametro normalizado, D, mm</i>	<i>momento de inercia, I, mm⁴</i>	<i>long.de prueba, L_p, mm</i>	<i>radio, r, mm</i>	<i>gravedad, G, $\frac{m}{s^2}$</i>
6.35	79.81137627	320	3.175	9.8066

Tabla 3. Condiciones realizadas para los cálculos

Momento de inercia	Momento flector	Esfuerzo $\frac{Kg}{mm^2}$	Esfuerzo $\frac{N}{m^2}$	Esfuerzo P_a	Esfuerzo Mpa	Esfuerzo Psi	Esfuerzo Ksi
$I = \frac{\pi}{64} D^4$	$M = \frac{F}{4} L_p$	$\sigma = \frac{Mr}{I}$	$\sigma = \frac{Mr}{I}$	$\sigma = \frac{Mr}{I} G * 10^6$	$\sigma = \frac{Mr}{I} G * 10^6$	$\sigma = \frac{Mr}{I} G * 145.0377$	$\sigma = \frac{Mr}{I} * G * 145.0377$ 1000

Tabla 4. Ecuaciones utilizadas¹¹

Carga (F) [Kgf]	Amplitud de esfuerzo [Ksi]	Amplitud de esfuerzo Pa	Amplitud de esfuerzo Mpa	Amplitud de esfuerzo Psi	ciclos promedio a la falla N _p
10	48.09470009	331601370.5	331.6013705	48094.70009	2679
9	43.28523008	298441233.4	298.4412334	43285.23008	5272
8	38.47576007	265281096.4	265.2810964	38475.76007	8720
7	33.66629006	232120959.3	232.1209593	33666.29006	27876
6	28.85682005	198960822.3	198.9608223	28856.82005	107204

Tabla 5. Carga-amplitud de esfuerzo en Ksi, Pa, Mpa, Psi y promedio de ciclos a la falla N_p.

Amplitud de esfuerzo Ksi	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	Promedio N _p	Log N _p
48.09470009	3051	2669	1850	3683	2143	2679.2	10 ^{3.428005135}
43.28523008	4258	6368	5284	4810	5371	5218.2	10 ^{3.71752072}
38.47576007	9148	9207	9356	7474	8417	8720.4	10 ^{3.940536406}
33.66629006	20248	53606	25661	34432	5432	27875.8	10 ^{4.44522734}
28.85682005	107203.5	107203.5	107203.5	107168	107239	85762.8	10 ^{4.933298952}

Tabla 6. Amplitud de esfuerzo Ksi – N (ciclos a la falla) para cada prueba

Superficie de fractura

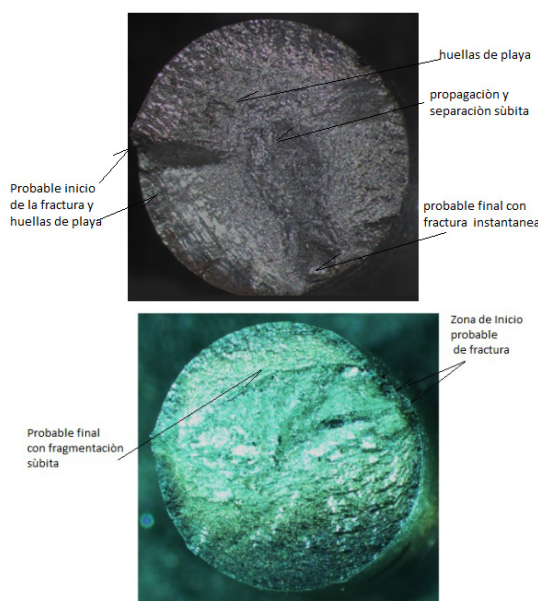


Figura 5. Fractura de altos ciclos y bajos ciclos.

Análisis, discusiones y conclusiones^{12, 13}

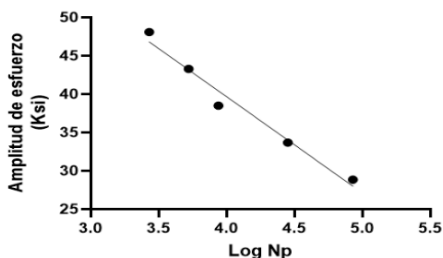
Identificación del límite de fatiga

En condiciones de esfuerzo completamente alterno, las pruebas se realizaron considerando cargas de 10 a 6 Kgf. El límite de fatiga para este grupo, se asumió a los 6 Kgf donde las muestras no fracturaron después de 1 hr y sobre la base de la figura 1. El límite de resistencia a la fatiga corresponde a una amplitud de esfuerzo de 28.8 Ksi, (28.85682005Ksi), Fig. 1.

En la figura 5, se presenta la morfología general de la superficie de fractura en altos ciclos y bajos ciclos que corresponden a baja

y alta carga respectivamente. El análisis fractográfico no se profundiza en este estudio.

Análisis estadístico y coherencia con la ley de Basquin con el uso del software GraphPad Prism^{12, 13}.



Gráfica 2.

En la gráfica 2, se muestra la relación entre la amplitud de esfuerzo (Ksi) y el logaritmo del número promedio de ciclos a la falla (Log Np) para las probetas de acero SAE 1018, obtenida a partir de los ensayos de fatiga rotacional con carga aplicada al centro.

La pendiente negativa indica el comportamiento típico de fatiga, mayor esfuerzo alternante, menor vida en fatiga, el intervalo incluye el cero, por lo que el efecto del esfuerzo es real y no aleatorio. Físicamente: Un aumento de **1 Ksi** en la amplitud de esfuerzo reduce el **log(N)** en aproximadamente **0.078**. Se valida que la relación amplitud de esfuerzo-N es fuerte y bien definida en el rango analizado.

- Intercepción (ordenada al origen): 7.078, Intervalo de confianza (95%), 6.151

software	Ecuación reportada	ley de Basquin	Pendiente
GraphPad Prism	$Y = -0.07755 X + 7.078$	$\log(N) = a - b \sigma$	-0.07755

-Modelo de regresión, intervalo de confianza al 95%, (-0.01013 a -0.05383)

a 8.005 Interpretación: Representa el valor teórico de $\log(N)$ cuando el esfuerzo tiende a cero. No tiene un significado físico directo (no existe $\sigma = 0$ en fatiga), pero sí es necesario matemáticamente para definir la recta de ajuste.

-Calidad del ajuste (Goodness of fit). Coeficiente de determinación $R^2=0.973$. Interpretación: El 97.3 % de la variabilidad de $\log(N)$ es explicada por el esfuerzo aplicado. Para ensayos de fatiga con solo 5 puntos experimentales, este valor es excelente. Indica baja dispersión y buena repetibilidad del grupo 1. Error estándar de la regresión $S_{y,x} = 0.1134$. La dispersión alrededor de la recta es pequeña. Es coherente con ensayos controlados y con promedio de probetas.

-Significado estadístico de la pendiente: Estadístico, $F=108.3$, Grados de libertad: (1,3), valor de $p = 0.0019$. Interpretación: Como $p < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula: “la pendiente es cero”. La relación entre amplitud de esfuerzo y N a fatiga es estadísticamente significativa.

-Intercepción en X (X -intercept), Intervalo: 78.77 a 114.7 Ksi. Interpretación: Es el valor teórico del esfuerzo donde $\log(N) = 0$ ($N \approx 1$ ciclo). No se usa físicamente en fatiga, pero Indica coherencia matemática del ajuste. Refuerza que el modelo solo es válido en el rango experimental.

-Relación con la curva $S-N$ y el límite de fatiga. La regresión corresponde a la zona de vida finita (pendiente pronunciada). Es coherente con la conclusión de que: El límite de fatiga del SAE 1018 ocurre alrededor de 28–29 Ksi. A partir de ese punto, la curva deja de ser lineal (región horizontal). Esto es lo esperado para aceros al carbono.

Conclusión técnica

Se puede afirmar con respaldo estadístico que: “La regresión lineal entre el logaritmo del número de ciclos a la falla y la amplitud de esfuerzo, presenta una pendiente negativa estadísticamente significativa ($p = 0.0019$), con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.973$, lo que confirma un comportamiento típico de fatiga del acero SAE 1018 en la región de vida finita y valida el uso del modelo lineal tipo Basquin para este rango de esfuerzos.”

Análisis y discusión

Los resultados experimentales obtenidos para las probetas de acero SAE 1018, sometidas a ensayos de fatiga rotacional con carga aplicada al centro, muestran un comportamiento típico de los aceros al carbono bajo esfuerzos alternantes completamente reversibles ($R = -1$). La relación entre la amplitud de esfuerzo aplicada y el número de ciclos a la falla evidencia una tendencia inversa bien definida, característica fundamental de la curva $S-N$ o curva de Wöhler.

Con el objetivo de cuantificar esta relación en la región de vida finita, se realizó un ajuste de regresión lineal simple utilizando el software GraphPad Prism, considerando como variable independiente la amplitud de esfuerzo (en Ksi) y como variable dependiente el logaritmo del número de ciclos a la falla ($\log N$). Esta transformación es consistente con la formulación clásica de la ley de Basquin, que describe el comportamiento a fatiga de los materiales metálicos en la región de altos esfuerzos y bajos números de ciclos. La ecuación obtenida del ajuste es:

$$\log(N) = -0.07755 \sigma + 7.078$$

donde σ representa la amplitud de esfuerzo en Ksi. La pendiente negativa de la recta indica que un incremento en el esfuerzo aplicado produce una disminución en la vida a fatiga, lo cual concuerda plenamente con la teoría de fatiga y con resultados reportados en la literatura para aceros de bajo contenido de carbono. Desde el punto de vista físico, la pendiente cuantifica la sensibilidad de la vida a fatiga frente a variaciones en el esfuerzo: un aumento de 1 Ksi en la amplitud de esfuerzo reduce el logaritmo del número de ciclos aproximadamente en 0.078 unidades.

El análisis estadístico del modelo muestra que la pendiente es estadísticamente significativa, con un valor de $p = 0.0019$, muy por debajo del nivel de significado convencional de 0.05. Además, el intervalo de confianza al 95 % para la pendiente (-0.1013 a -0.05383) no incluye el valor cero, lo que confirma que la relación entre el esfuerzo y la vida a fatiga no es producto del azar. Este resultado valida experimentalmente la existencia de una dependencia real y fuerte entre ambas variables para el grupo analizado.

La calidad del ajuste es elevada, como lo indica el coeficiente de determinación obtenido, $R^2 = 0.973$, lo que significa que el 97.3 % de la variabilidad observada en el logaritmo del número de ciclos a la falla es explicada por la amplitud de esfuerzo aplicada. Considerando que los ensayos de fatiga presentan de manera inherente dispersión experimental y que el número de puntos analizados es reducido (cinco niveles de esfuerzo), este valor de R^2 puede considerarse excelente y refleja una buena repetitividad en los resultados. Asimismo, el error estándar de la regresión ($S_{y,x} = 0.1134$) indica una dispersión relativamente baja de los datos alrededor de la recta ajustada.

La intercepción del modelo, con un valor de 7.078, representa el valor teórico del $\log(N)$ cuando el esfuerzo tiende a cero. Si bien este parámetro no tiene un significado físico directo —ya que no es posible alcanzar condiciones de fatiga con esfuerzo nulo—, su magnitud es consistente con el ajuste matemático y contribuye a la correcta definición de la recta dentro del rango experimental analizado. De manera similar, el intercepción en el eje de los esfuerzos (X -intercept) carece de interpretación física directa, pero refuerza la coherencia del modelo en el dominio de aplicación considerado.

Desde el punto de vista del comportamiento a fatiga, la regresión lineal obtenida es válida únicamente en la región de vida finita, donde la pendiente de la curva S-N es pronunciada. Conforme los resultados experimentales se aproximan a amplitudes de esfuerzo cercanas a 28–29 Ksi, se observa una desviación del comportamiento lineal, dando lugar a una tendencia casi horizontal asociada al límite de fatiga del material. En este estudio, dicho límite se identificó experimentalmente en torno a 28.8 Ksi, valor que concuerda con el intervalo típico reportado en la bibliografía para el acero SAE 1018, correspondiente aproximadamente al 45–50 % de su resistencia última a la tracción.

La comparación de estos resultados con datos teóricos y experimentales reportados por autores como Shigley, Budynas y Suresh muestra una buena concordancia tanto en la forma de la curva S-N como en la magnitud del límite de fatiga. Las ligeras diferencias observadas pueden atribuirse a factores experimentales como la rugosidad superficial, pequeñas variaciones geométricas en la zona reducida de las probetas, la alineación del sistema de carga y la dispersión inherente a los ensayos de fatiga.

En conjunto, el análisis estadístico y físico de los resultados confirma que el acero SAE 1018 presenta un comportamiento típico de fatiga para aceros al carbono de bajo contenido, con una relación esfuerzo (amplitud de esfuerzo)–vida (N) bien definida en la región de vida finita y un límite de fatiga claramente identificable. La regresión lineal obtenida valida el uso de modelos empíricos tipo Basquin para describir el comportamiento del material en este rango de esfuerzos y proporciona una base sólida para el diseño y la evaluación de componentes sometidos a cargas cíclicas.

Referencias

1. Federación Europea de Productores de Abrasivos (“Federation of European Producers of Abrasives”)
3. Suresh, S. (1998). *Fatigue of materials* (2nd ed.). Cambridge University Press.
4. Stephens, R. I., Fatemi, A., Stephens, R. R., & Fuchs, H. O. (2001). *Metal fatigue in engineering* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
5. Shigley, J. E., Mischke, C. R., & Budynas, R. G. (2008). *Mechanical Engineering Design* (8th ed.). McGraw-Hill.
6. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *Shigley’s Mechanical Engineering Design* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
7. ASTM International. (s. f.). *ASTM E466/E466M: Standard practice for conducting force controlled constant amplitude axial fatigue tests of metallic materials*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
8. Callister, W. D., Jr., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials science and engineering: An introduction* (10th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
9. Dieter, G. E. (1986). *Mechanical metallurgy* (3rd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
10. Avner, S. H. (1974). *Introduction to physical metallurgy* (2nd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
11. Hibbeler, R. C. (2017). *Mecánica de materiales* (10.^a ed.). Pearson Educación.
12. Analisis estadístico y coherencia con la ley de Basquin con el uso del software GraphPad Prism.
13. Asquin, O. H. (1910). The exponential law of endurance tests. *Proceedings of the American Society for Testing Materials*, 10, 625–630.