

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA PARA ENSAYOS DE FATIGA POR FLEXIÓN ROTATIVA

Bruno Dalmasso Visconti, Facundo Lástrico, Matías Rey
Tutor: Dr. Ing. Eldo José Lucioni

Departamento de Ingeniería Mecánica – Laboratorio de Metalurgia y Materiales
Facultad Regional Villa María – Universidad Tecnológica Nacional
Avda. Universidad 450 – (5900) Villa María (Córdoba)

Resumen

El fenómeno de fatiga está dado por la rotura lenta del material debido a esfuerzos dinámicos y cíclicos a los que está sometido. Estas rupturas son un daño estructural progresivo y localizado, que se dan por fisuras dentro del material, las cuales van avanzando conforme aumenta el número de ciclos.

En los diferentes ensayos de fatiga, se somete a una probeta a distintos tipos de esfuerzos, que pueden ser: flexión, flexión rotativa, torsión y tracción-compresión.

El trabajo realizado consistió en diseñar y construir una máquina de ensayo de fatiga por flexión rotativa en voladizo. Con ésta se realizaron pruebas permitiendo encontrar conclusiones sobre el rendimiento de la máquina.

Para el análisis de datos que se registran, se utilizan las curvas de Wöhler o comúnmente llamadas “curvas S – N”. Estas curvas representan la relación entre la amplitud del esfuerzo y el número de ciclos para su rotura.

A partir de pruebas experimentales, se validó el funcionamiento de la máquina y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Palabras clave: Flexión. Ensayo. Flexión rotativa.

1. INTRODUCCIÓN

La falla por fatiga, a diferencia de las estáticas, no presentan evidencia antes de suceder, sino que la fractura se produce repentinamente. El diseño de piezas que resistan a las tensiones dinámicas presenta cierta complejidad, lo que genera especial interés en el estudio del fenómeno. Una visión muy conservadora consiste en incrementar el coeficiente de seguridad que se emplean normalmente y evitar todo tipo de cálculo de la falla, pero esto no brinda ninguna seguridad sobre cómo se va a comportar la pieza ante las tensiones dinámicas. [1]

La máquina diseñada cumple con los requisitos suficientes y necesarios para un estudio certero del comportamiento de un material frente a la fatiga por flexión rotativa. Tomando datos de ciclos y carga mediante dispositivos electrónicos, pudiendo leerlos de forma digital y diseñar con estos las curvas S-N.

Las probetas utilizadas en las pruebas presentaron las mismas dimensiones y características de pulido. Éstas son sometidas a cargas alternas en el tiempo, contando la cantidad de ciclos hasta su fractura, variando entre pruebas la carga aplicada. [7]

Los ensayos se realizan siguiendo los lineamientos de las normas ASTM E466-96 y E739-91.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fatiga

La fatiga es una falla que puede suceder bajo condiciones la acción de esfuerzos muy inferiores al límite de resistencia del material. Es consecuencia de esfuerzos alternados que producen grietas, en general en la superficie debido a la concentración de tensiones. [6,7]

La ruptura del material ocurre debido a la fluctuación del estado de tensiones; se generan micro fisuras que avanzan infinitesimalmente en su interior, hasta que se forman grietas, las cuales continúan creciendo hasta alcanzar un tamaño crítico, suficiente para la ruptura final, en general de manera brusca. [1,8]

Una falla por fatiga sucede dentro de una amplia gama de ciclos de carga, desde 10 ciclos hasta más de 10^7 ciclos. Es evidente que la cantidad de ciclos que el material soporta antes de su falla, depende de la carga dinámica a la cual esté sometida, ya que con una carga mayor, se obtiene una vida útil mucho menor. [2]



Figura 1. Ruptura por fatiga

2.2 Curvas de Wöhler o curvas S-N

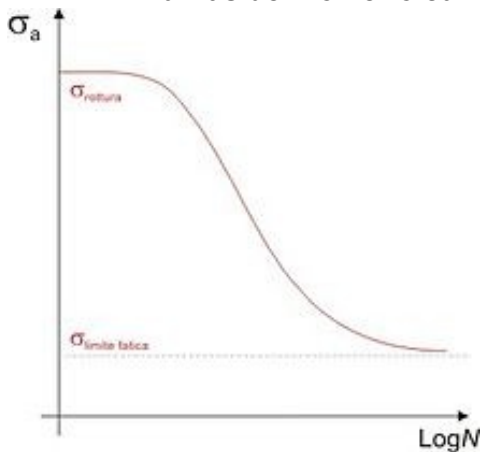


Figura 2. Curva S-N

Estas curvas se obtienen sometiendo a la probeta a grandes cargas y se cuenta la cantidad de ciclos a la cual se produjo la ruptura. Así se realizan numerosas pruebas disminuyendo las cargas entre ellas.

Los resultados se representan en un diagrama de tensión, en función del logaritmo del número de ciclos hasta la rotura.

En la Figura 2 se observa que a cierta tensión, el número de ciclos tiende al infinito (para las pruebas, 10^6 es suficiente). Éste valor de tensión se lo llama límite de fatiga, es la tensión a la cual el material no falla en un número de ciclos representativo para la vida del mismo. [2]

Los valores obtenidos de la curva S-N se emplean para calcular el esfuerzo total de una pieza a que estará sometida una pieza que soporta ciclos de esfuerzo. Sea S_n como el límite de fatiga real y a S'_n el límite de fatiga teórico de la probeta de ensayo, ambas están relacionadas por una constante de proporcionalidad k que depende de varios factores, tales como, el acabado superficial, el tamaño de la pieza, la temperatura y la sensibilidad a la entalla. [3,8]

$$S_n = k \cdot S'_n$$

2.3 Factores que intervienen [3,9,10]

Hay varios factores que pueden intervenir en el material, que hacen variar los resultados obtenidos.

2.3.1 Diseño

El diseño es fundamental en la rotura por fatiga, cualquier imperfección superficial o discontinuidad geométrica actúa como concentradores de tensiones

La rotura por fatiga en los materiales se puede reducir si se evitan estas imperfecciones, realizando modificaciones en los diseños. Ej: cambiar los cantos vivos por superficies redondeadas.

2.3.2 Tratamientos superficiales

En el mecanizado se pueden producir rayas o pequeños valles, produciendo una disminución en la vida útil del material, ya que son pequeñas grietas donde es más fácil que éstas avancen produciendo la fractura.

Estas imperfecciones se pueden solucionar puliendo la probeta, aumentando así la vida útil de la misma.

Otra forma de aumentar el rendimiento, es mediante granallado. Este proceso consiste en proyectar, a altas velocidades, partículas pequeñas y duras, deformando la superficie a tratar y así generando esfuerzos residuales de compresión.

2.3.3 Endurecimiento superficial

Es una técnica mediante la cual se aumenta la dureza superficial de los aceros aleados. Estos se llevan a cabo por carburación o nitruración, en donde se expone el material a una atmosfera rica en carbono o nitrógeno. Estos elementos, mediante difusión atómica, forman una pequeña capa aumentando con ésta la vida útil del material

2.3.4 Corrosión en la fatiga

La fatiga por corrosión ocurre cuando, además de las tensiones fluctuantes, se ataca químicamente al material. Esto ocurre cuando el medio es altamente corrosivo, generando picaduras que funcionan como concentradoras de tensiones, claramente disminuye la vida útil del material.

3. LA MAQUINA

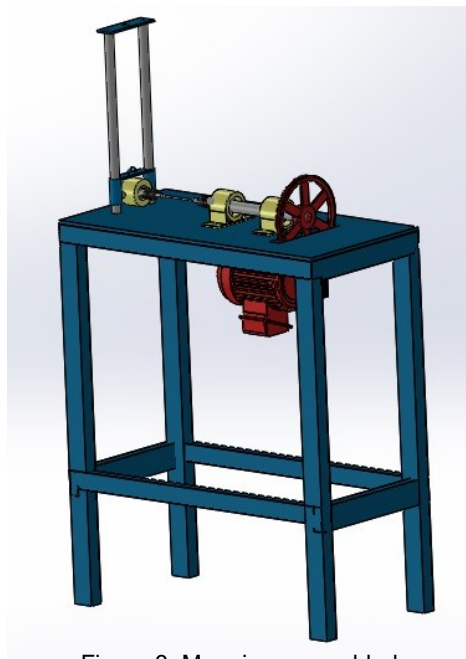


Figura 3. Máquina ensamblada

3.1 Funcionamiento

La máquina construida permite obtener los parámetros fundamentales para determinar la resistencia a la fatiga.

Una barra de prueba se sostiene en un extremo mediante un mandril fijo, anclado a un eje que conecta al motor, el otro extremo de la barra se agarra con otro mandril; pudiendo desplazarlo libremente sobre el eje vertical.

Mediante una guía roscada se eleva el mandril móvil, flexionando la probeta a compresión en la parte superior, y tracción en la inferior.

Al girar la probeta flexionada, las capas se someten a compresión y tracción alternativamente, produciendo la fatiga al material. [4]

Tras cierto número de ciclos de carga la probeta puede, o no, romperse. En caso de romperse el motor se para y mediante un controlador electrónico se obtienen las revoluciones realizadas y la carga sometida.

Se necesitan varios ensayos para obtener curvas S-N confiables que permitan determinar la vida útil de los materiales. [2]

Los ensayos de fatiga son pruebas destructivas recomendadas parte del conjunto de ensayos básicos para la elección de un material.

3.2 Construcción

3.2.1 Bancada

Se diseñó una bancada lo suficientemente robusta para soportar los esfuerzos ocasionados en los ensayos; los perfiles cajón empleados fueron de diferentes dimensiones (6 Perfiles 60x40 mm; 4 Perfiles 50x30 mm; 2 Perfiles 70x30 mm)

Los soportes, para los porta rodamientos y las bases de las guías, se construyeron con planchuelas de 148x60x3 mm suplementadas para lograr que el eje y la probeta estén sobre el mismo nivel y evitar aportarles esfuerzos no deseados.

Con perfiles T se construyeron dos guías con corredera, que soportan el motor, y le permiten desplazarse verticalmente para tensar la correa. Para el anclaje del motor con el soporte, se utilizan pernos con cuatro bujes de goma, que absorben las vibraciones.



Figura 4. Bancada

3.2.2 Guías y soporte de mandril móvil

Para el soporte móvil se utilizó un cilindro macizo de acero trefilado SAE1045, de diámetro 75mm y 50 de espesor, donde fue mecanizado un agujero de diámetro 40mm para introducirle un bolillero SKF 6205 que sostiene un eje con el mandril y la probeta.

Este soporte está unido, mediante dos bujes, a dos correderas que se trasladan verticalmente sobre dos guías. Sobre este soporte se efectúa la carga que flexiona la probeta, diseñado especialmente para permitirle al mandril, un movimiento de rotación solidario a la probeta.

La carga se efectúa mediante una varilla roscada, solidaria a una rosca ubicada en una planchuela sobre la parte superior de las guías, la cual está conectada mediante una celda de carga a las correderas. Al girar la varilla se ejerce una fuerza que eleva el mandril y flexiona la probeta.

Con la celda de carga podemos medir la tensión aplicada a la probeta.

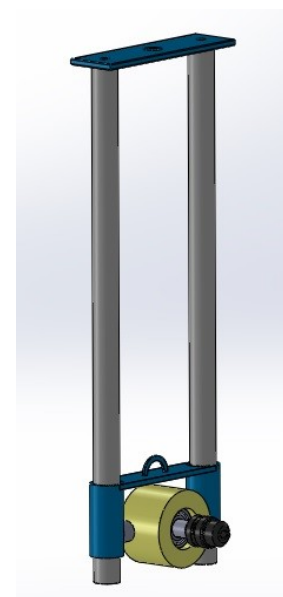


Figura 5. Guías y soporte de mandril móvil

3.2.3 Motor y sistema de transmisión

Se emplea un motor eléctrico monofásico a carbones, de $\frac{1}{2}$ HP con un máximo de 13000 RPM. Mediante un sistema de poleas, se logra transmitir el movimiento de giro al eje y reducir las RPM a un máximo de 3000, que son las necesarias para un correcto ensayo.

Las poleas, tipo V, están unidas mediante una correa de goma. La reducción, a la salida del eje del motor, se logra con una polea de 50 mm de diámetro y en el eje principal una polea de 220 mm.

3.2.4 Eje principal y porta bolillero

La función del eje principal es transmitir la rotación del motor a la probeta. Partiendo de un eje macizo de 40mm de diámetro y 340 mm de largo; el mismo fue mecanizado para lograr las dimensiones requeridas, en un extremo se acopla la polea y en el otro extremo, un mandril fijo.

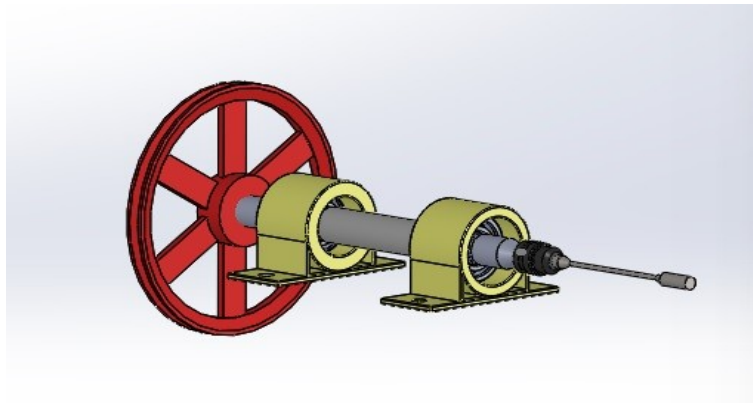


Figura 6. Eje principal, porta bolilleros y polea.

El eje está sostenido por dos rodamientos (SKF 6206) contenidos en porta rodamientos abullonados a la bancada, acompañando el giro del eje.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

Para verificar el correcto funcionamiento de la máquina fabricada, se procedió a ensayar probetas y graficar una curva S-N con los datos obtenidos, y compararla con los gráficos teóricos.

Con las pruebas realizadas en la máquina se pudo graficar una curva S-N, que, comparada con curvas teóricas, se observa una similitud notable. Así se estableció que la máquina está correctamente fabricada y calibrada para obtener curvas concluyentes.

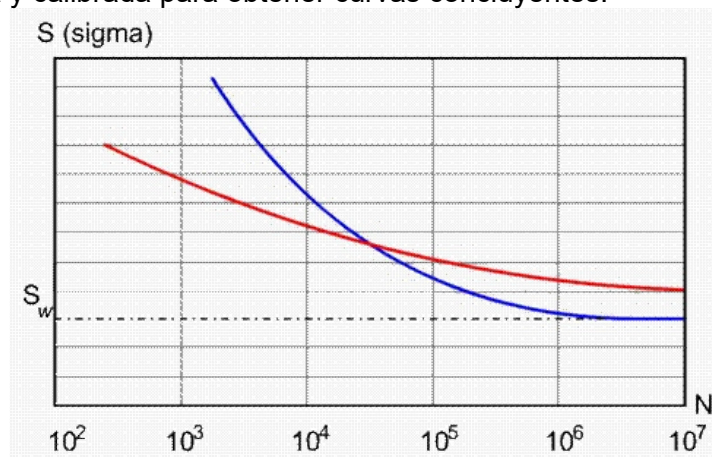


Figura 7. Comparación curva teórica-obtenida

En el gráfico, la curva azul representa una curva teórica y la curva roja es la realizada con los datos obtenidos en la máquina fabricada.

5. CONCLUSION

En este trabajo se procedió al diseño y construcción de una máquina para ensayos de fatiga por flexión rotativa.

El objetivo de este proyecto fue fabricar la máquina, analizar y comparar los datos obtenidos por los ensayos de distintos materiales o materiales con distintos tratamientos térmicos. Éstos objetivos se concluyeron satisfactoriamente.

La construcción de esta máquina contribuirá a la capacitación de alumnos y a establecer la posibilidad de realizar ensayos de fatiga de calidad profesional para ser utilizados en futuros proyectos de investigación dentro de nuestra institución, además se podrá estudiar el fenómeno de fatiga en orden a adquirir herramientas conceptuales para enfrentar situaciones típicas de la industria local y regional.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Ing. Eldo José Lucioni (UTN-FRVM), Ing. Eduardo Cerrutti (UTN-FRVM), Ing. Pedro Giraudo (UTN-FRVM), Rubén Gastaldi y Claudio Cavalchini por el apoyo prestado para la elaboración del trabajo.

REFERENCIAS

- [1] González, M. *Fatiga de Materiales*. Sitio Web (2016): www.fisica.laguia2000.com
- [2] Medina Bejarano, E. *Ensayo de fatiga*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Sitio Web (2016): www.udistrital.edu.co
- [3] *Fatiga en materiales*. Sitio Web (2016): www.en.wikipedia.org
- [4] *Fatigue Testing Machine*. Sitio Web (2016): www.gunt.de
- [5] González Arias, A. y Palazón, A.C.A. *Ensayos Industriales*. 6ta Edición. Litenia. Buenos Aires, 1967.
- [6] Apraiz Barreiro, J. *Tratamiento Térmicos de los Aceros*. 4ta Ed. Dossat. Madrid, 1961.
- [7] ASM Handbook. *Fatigue and Fracture*. Vol. 19. 1996.
- [8] Weibull, W. *Fatigue testing and analysis of results*. Pergamon. 1968.
- [9] Fuchs, H.O.; Stephens, R.I. *Metal Fatigue in Engineering*. Wiley. 1980.
- [10] Socie, D.F.; Mitchell, M.R.; Caulfield, E.M. *Fundamentals Of Modern Fatigue Analysis*. University of Illinois. 1977.