

Ensayo de fatiga en una sección de la estructura de un autobús



Colaboración

José Luis Ramírez Cruz, Universidad Autónoma Metropolitana / Unidad Azcapotzalco; José Emiliano Martínez Ordaz, Universidad Iberoamericana / Santa Fe

Fecha de recepción: 20 de agosto de 2021

Fecha de aceptación: 02 de diciembre del 2021

RESUMEN: El objetivo de este trabajo de investigación es reproducir en una probeta, la falla por fatiga que se produce en una sección dañada de una estructura. Se presenta un problema estructural, esto es, la presencia de una fractura en cierto punto de la estructura del autobús, iniciando en este punto y avanzando progresivamente, provocando un daño. Se aplicaron los pasos de una metodología para reproducir físicamente la falla por fatiga en una probeta representativa de una sección de la estructura del autobús, donde se localiza la falla y hasta la instrumentación de la máquina de ensayos y la realización del ensayo de fatiga. Posteriormente se analizan los resultados y se hacen las conclusiones en base a resultados obtenidos en el ensayo de laboratorio.

PALABRAS CLAVE: Falla, fatiga, fractura, esfuerzo, deformación.

ABSTRACT: The objective of this research work is to reproduce in a test specimen, the fatigue failure that occurs in a damaged section of a structure. There is a structural problem, that is, the presence of a fracture at a certain point in the structure of the bus, starting at this point and growing progressively, causing damage. The steps of a methodology were applied to physically reproduce the fatigue failure in a representative specimen of a section of the bus structure, where the failure is located and up to the instrumentation of the testing machine and performance of the fatigue test. Subsequently, the results are analyzed and conclusions are made based on the results obtained in the laboratory test.

KEYWORDS: Failure, fatigue, fracture, stress, deformation.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de los ensayos de fatiga es obtener información respecto al comportamiento a la fatiga de un material y/o una geometría en particular [1]. El ensayo de fatiga es necesario para obtener información básica sobre las propiedades del material, de la misma manera se obtiene información sobre la resistencia a la fluencia y el módulo de elasticidad de un material a partir de un ensayo de tensión. En cuanto sea posible, las condiciones del material, los intervalos del esfuerzo y el tipo de carga deben ser similares a las condiciones reales de servicio, con el fin de que los resultados sean útiles para el diseño. Son usados diversos tipos de cargas de

fatiga, de especímenes, de ambientes, y de equipo de prueba [2]. Los ensayos de fatiga requieren generalmente dedicación y tiempo de experimentación significativo, implicando que estos ensayos sean costosos con respecto a ensayos simples para determinar otras características mecánicas. Se requiere de inversiones grandes en programas experimentales de fatiga, de un planeamiento cuidadoso del programa de prueba, de los procedimientos experimentales, y la evaluación de los resultados. El planeamiento debe comenzar siempre con una definición explícita del problema que se investigará. En general se consideran, dos tipos de ensayos de fatiga [3]:

1. Ensayos de laboratorio en pequeña escala, para obtener información fundamental sobre el comportamiento del material, Figura 1.

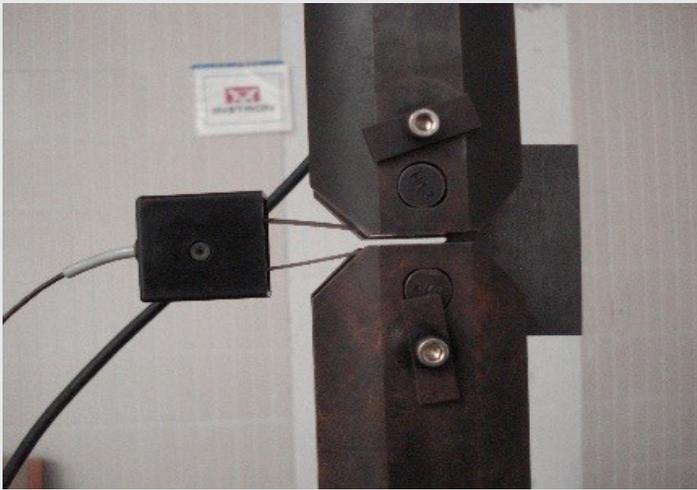


Figura 1. Ensayo de crecimiento de grieta.

2. Ensayos de elementos reales, como son componentes de máquinas o estructuras. Estos ensayos se efectúan en prototipos de componentes reales o se realizan simulaciones computacionales de componentes estructurales reales bajo condiciones que simulan las sollicitaciones y el ambiente real. Estos ensayos tendrán que llevarse a cabo sobre modelos a escala natural, con el objeto de reproducir de un modo más adecuado las condiciones reales de funcionamiento de la estructura y conocer así su conducta hasta estados límites de rotura. Por lo tanto, se ensayan probetas simples que simulan a los componentes estructurales. Generalmente, estas probetas se prueban hasta la falla para obtener la información sobre la vida total en fatiga de los componentes. Rara vez es posible utilizar cargas de servicio reales, por lo que los ingenieros requieren una especificación reducida, que aún así, sea representativa del entorno operativo. Sin embargo, estos ensayos son difíciles de realizar, consumen tiempo, y generalmente son muy costosas.

Generalmente, estos ensayos en componentes reales (o simulados) se llevan a cabo para obtener informa-

ción sobre su duración total. Para realizar estos ensayos de fatiga se construyen estructuras y dispositivos [4]. Puesto que se ensayan elementos reales, la información obtenida se puede utilizar directamente en el diseño. En la Figura 2 se observa un ensayo del chasis completo de un vehículo con 12 actuadores hidráulicos suministrando cargas verticales, laterales y longitudinales en las cuatro esquinas del vehículo de prueba.



Figura 2. Ensayo de vehículo.

Estructuras grandes, como por ejemplo un automóvil, un autobús o la estructura un avión, requieren equipo de prueba especializado. La estructura es cargada generalmente por actuadores hidráulicos, con sus sistemas electrohidráulicos controlados por una computadora.

En la industria automotriz se hace un tipo de ensayos en automóviles completos [5]. Una prueba en tamaños reales con una correcta selección de carga de servicio debe revelar cualquier debilidad de la estructura, para modificarla antes de que se inicie la producción en serie. De hecho, tal prueba se hace sobre todo, para considerar si todas las partes de la estructura están funcionando correctamente, sin el deterioro de cualquier parte de la estructura después de un tiempo de ensayo. En la industria aeronáutica, los ensayos también se realizan para probar la seguridad de los aviones y para cumplir con las normas de navegación.

En este trabajo se plantea el problema de reproducir una falla mecánica relacionada con una estructura, es la parte central y se tiene como objetivo mostrar el uso de una metodología.

MATERIAL Y MÉTODOS

El problema es una pregunta surgida de un tema o investigación. Una de las dificultades mayores del investigador es planear y delimitar el problema de estudio [6].

El motivo de la investigación

Lo que motiva a esta indagación o investigación se sintetiza de la manera siguiente:

“En una estructura de un autobús se ha observado una falla debido a un conjunto de sollicitaciones, Figura 3. De tal observación y haciendo un análisis de elementos finitos se detectó y ubicó el punto de inicio de la falla. Lo que motiva a esta investigación es reproducir dicha falla realizando ensayos en un laboratorio.”



Figura 3. Falla en la estructura del autobús.

Utilizando un análisis computacional en investigaciones recientes, se han identificado los detalles estructurales más cargados en carrocerías [7], que muestran coincidencia con los puntos críticos propensos a fallas estudiados en esta investigación.

Definición del problema y restricciones

Considere el siguiente problema:

“Se requiere reproducir en el laboratorio una falla que ocurre en una estructura de un autobús”.

Es importante conocer el comportamiento mecánico de la estructura del autobús con el estado de solicitaciones que están provocando la falla.

Las restricciones fundamentales son las siguientes:

- La zona de análisis es fija y conocida.
- El tiempo estimado del ensayo es de 24 horas.
- La carga de la máquina de ensayos que se puede aplicar es uniaxial.
- Se considera carga de torsión.
- El análisis es dinámico.
- La falla y sus características son fijas y conocidas.
- El ensayo realizado es por fatiga, en una máquina Instron servohidráulica.

Con el problema formulado anteriormente y sus restricciones encuéntrese:

- 1) Las solicitaciones que reproducen el estado de esfuerzos particular en una zona elegida de la estructura.
- 2) Utilizar los parámetros (solicitaciones) para diseñar una probeta.
- 3) Obtener un parámetro dinámico para someter la probeta a un ensayo bajo condiciones controladas.
- 4) Reproducir la falla.

Hipótesis y premisas básicas

Considerando la siguiente hipótesis:

“La falla en un punto crítico de la estructura del autobús puede ser reproducida en laboratorio bajo condiciones de carga controladas. La determinación de las causas y la reproducción de la falla dependen de:

1. Del principio de Saint Venant.

2. La carga de aplicación del ensayo es la resultante de las solicitaciones a las que se sujeta la estructura.
3. La fuerza actuante en el problema dinámico depende del tiempo estimado del ensayo y del número de ciclos de aplicación.
4. El problema de la falla satisface las Leyes de Newton.
5. Se propone una carga de torsión en un punto crítico como posible causa de la “falla”.

Las premisas básicas son las siguientes:

- 1) El principio de Saint Venant. Un sistema de cargas aplicadas a un medio puede ser sustituido por otro sistema estáticamente equivalente. El estado de esfuerzos y deformaciones del medio no varía a una distancia considerable de los puntos de aplicación del sistema de cargas equivalente.
- 2) La carga de aplicación del ensayo es la resultante de las solicitaciones a las que se sujeta la estructura. Si por las características de operación de la máquina de prueba la aplicación de la carga debe ser uniaxial, entonces todo sistema equivalente de cargas relacionado con la estructura debe ser reducida a la resultante de tales cargas. La resultante es igual a la carga uniaxial requerida en la máquina de ensayos.
- 3) La fuerza actuante en el problema dinámico depende del tiempo estimado del ensayo y del número de ciclos de aplicación. Si la reproducción de la falla debe darse dentro de 24 horas, entonces la fuerza dinámica que debe aplicarse es función los parámetros de operación de la máquina de ensayos, del tiempo estimado de prueba y del número de ciclos de aplicación en el ensayo de fatiga.
- 4) El problema de la falla satisface las Leyes de Newton:
 - I) Ley de inercia.
 - II) Leyes de balance.
 - III) Principio de acción y reacción.
- 5) La causa del problema de la falla es por torsión. Se pueden hacer algunas generalizaciones. Las secciones sólidas que tienen la misma área de sección transversal son más rígidas. Por otra parte, un elemento compuesto de perfiles largos esbeltos que no son cerrados como un tubo son muy débiles y flexibles a torsión. Algunos ejemplos de perfiles flexibles son los perfiles estructurales comunes, por ejemplo canales, ángulos y tes. Los tubos, las barras sólidas y los tubos rectangulares estructurales son muy rígidos.

Metodología

En esta sección se proponen los pasos de la metodología que se utilizó para reproducir la falla en el laboratorio.

I. Pasos para la construcción de la probeta y el sistema de carga:

- Diseñar una probeta real (una porción de la sección estructural) hecha del material del autobús donde se localice la región de análisis (región donde se reproducirá la falla).
- Diseñar el sistema (marco) de carga para realizar el ensayo de fatiga.

- Montar la probeta en la máquina de prueba e incorporar el sistema de carga.

La Figura 4 muestra la probeta que representa físicamente la sección superior derecha del marco de la puerta delantera del camión, la cual será sometida al ensayo de fatiga.



Figura 4. Probeta de la estructura del autobús.

La Figura 5 muestra la probeta montada en la máquina de fatiga y el dispositivo de carga, que se usaron. Se construyó un marco para colocarse dentro de la máquina de ensayos.

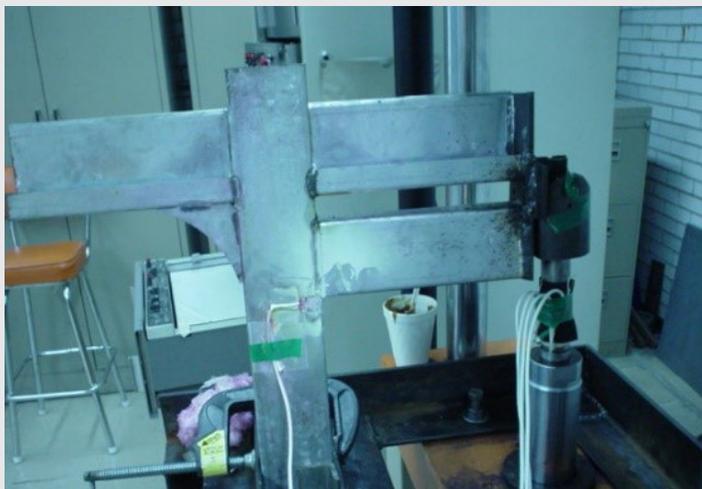


Figura 5. Probeta montada en la máquina.

II. Pasos para la instrumentación de la probeta y el sistema de cargas:

- Instrumentar con extensómetros eléctricos en el lugar de inicio de la falla.
- Instrumentar una celda de carga y adaptarla al elemento o dispositivo con el cual se aplicará la carga de trabajo.

III. Pasos para la preparación del ensayo en el laboratorio:

- Aplicar líquidos penetrantes sobre la probeta de ensayo y para detectar posible fisuras antes de aplicar la carga.

- Conectar el extensómetro localizado en el punto de inicio de la falla y la celda de carga a un osciloscopio.

Las deformaciones fueron monitoreadas mediante de galgas extensométricas durante el ensayo.

IV. Pasos de acción del ensayo en el laboratorio:

- Aplicar la carga estática obtenida para medir los esfuerzos máximos en el punto de inicio de la falla.
- Aplicar la carga dinámica e iniciar el ensayo de fatiga.
- Controlar durante el ensayo la magnitud de la fuerza aplicada.
- Registrar el número de ciclos aplicado.
- Registrar el número de ciclos a partir del cual se representa una grieta en el punto crítico.
- Continuar el ensayo para observar el crecimiento de la grieta.
- Detener el ensayo.

RESULTADOS

Con base en la metodología mostrada, fue posible realizar el ensayo de fatiga en la sección estructural descrita en esta investigación. Los resultados obtenidos en el ensayo realizado en la probeta se muestran en la Tabla 1, son válidos para la ubicación en donde se inició una grieta por fatiga en la probeta.

Tabla 1. Resultados obtenidos en el ensayo realizado.

Parámetros	Probeta 1
Frecuencia cíclica	2 Hz
Solicitación	350 Kg
Ciclo de inicio de grieta	15,000 ciclos
Ciclo final del ensayo	40,000 ciclos

La gráfica de la Figura 6 se obtiene multiplicando la fuerza (solicitación) por un factor igual a 3. Se invirtió la fuerza para obtener esfuerzo de tensión en la esquina deseada. Se interpreta en la gráfica que la probeta se puede agrietar entre 1,500 y 20,000 ciclos de aplicación de la carga.

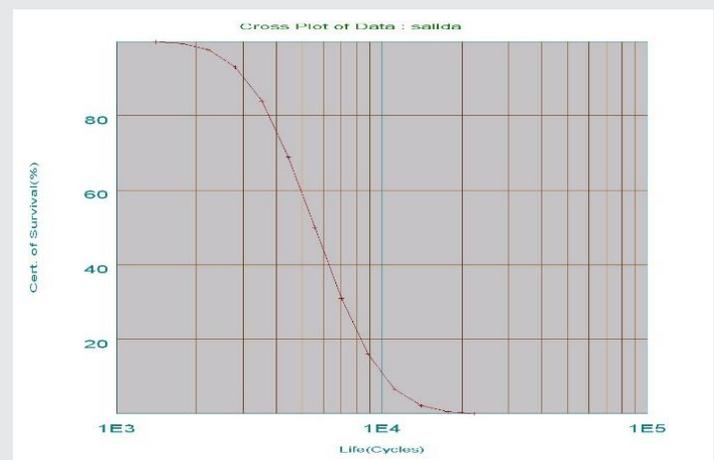


Figura 6. Gráfica para la predicción de ciclos.

La Figura 7 muestra la fractura en la probeta que representa físicamente la sección superior derecha del marco de la puerta delantera, después del ensayo de fatiga.



Figura 7. Grieta resultante del ensayo de fatiga.

CONCLUSIONES

La utilización de una metodología de trabajo fue decisiva en la solución del problema que se planteó para la elaboración de esta investigación. Es importante considerar que no existe un medio teórico confiable para predecir exactamente cuándo se iniciará una grieta por fatiga. En su lugar, se deben realizar ensayos experimentales para obtener información.

Al no poder realizar ensayos en la estructura real, debido a no tener la infraestructura, se probó parte de la estructura en un ensayo de fatiga. Por la complejidad y el alto costo del análisis por fatiga en sistemas completos fue imprescindible recurrir a ensayos de laboratorio sobre prototipos (probetas). Por lo tanto, se utilizó una probeta simple que simuló al componente estructural físico.

Se logró reproducir el punto de inicio de grieta y su crecimiento en una probeta en el laboratorio mediante el ensayo experimental de fatiga, en la sección de la esquina superior derecha del marco de la puerta delantera del camión, la probeta se ensayó hasta la falla para obtener la información sobre la vida total de fatiga del componente.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Dowling, Norman E. (2013). *Mechanical behavior of materials*, (Fourth edition). Pearson. England.

[2] Marsh, K. J. (1988). *Full-scale fatigue testing of components and structures*. Butterworths. England.

[3] Barsom, John M. & Rolfe, Stanley T. (1999). *Fracture and fatigue control in structures: Applications*

of fracture mechanics. (Third edition). ASTM. USA.
[4] Jiménez M. Moisés. (2013). *Optimización de dispositivos para prueba de fatiga*. Revista Ingeniería, 16(59), 6-12.

[5] Kepka, M., Kepka, M. Jr., Zlabek, P., Chvojan, J. & Mentl, V. (2018). *Fatigue tests-important part of development of new vehicles*. MATEC Web of Conferences 165.

[6] Roqueñi I. Maria del Carmen. (2014). *Reflexiones sobre la investigación*. UNAM. México.

[7] Kepka, M., Kepka, M. Jr., Dzugan, J. & Konopik P. (2019). *Practical notes for assessing the fatigue life of bodyworks of buses and trolleybuses*. *Procedia Structural Integrity*, 19, 595-603.

[8] Seo, Jung-Won, Hur, Huyn-Moo, Jun, Hyun-Kvu, Kwon, Seok-Jin & Lee, Dong-Hyeong. (2017). *Fatigue design evaluation of railway bogie with full-scale fatigue test*. *Advances in Materials Science and Engineering*.

[9] Gere, M. James & Goodno J. Barry. (2016). *Mecánica de materiales*, (Octava edición). Cengage Learning. México.

[10] Freddi, A., Olmi, G. & Cristofolini L. (2015). *Experimental stress analysis for materials and structures*. Springer. Switzerland.

[11] Kepka, M. & Kepka, M. Jr. (2021). *Consideration of random loading processes and scatter of fatigue properties for assessing the service life of welded bus bodyworks*. *International Journal of Fatigue*, 151.