

MÁQUINA PARA FATIGA MULTIAXIAL

1. Campo técnico de la invención

5

Esta invención se relaciona con máquinas de prueba de fatiga, particularmente, se relaciona con máquinas que aplican tensiones a una muestra de ensayo en diferentes direcciones, frecuencias y fases.

10 2. Descripción del estado de la técnica

El estudio del comportamiento a fatiga de materiales sometidos a tensiones multiaxiales es un campo en el que se han enfocado esfuerzos de investigación en los últimos años. Sin embargo, aun hoy día es un problema que no está completamente resuelto, pues, cada año
15 aparecen nuevos métodos, de adaptaciones y de mejoras de otros ya existentes.

En el estado de la técnica se encuentran documentos que divulgan máquinas de fatiga multiaxial, como es el caso del documento “*Design of Combined Fatigue Testing Machine*” (<http://www.ijrat.org/downloads/Vol-4/feb-2016/paper%20ID-42201609.pdf> consultado el 30
20 de noviembre de 2016). Dicho documento muestra una máquina de prueba de fatiga combinada que utiliza dos tipos de elementos de prueba. El primero de ellos es un elemento de prueba rectangular sometido a esfuerzos alternativos a tensión y compresión. Los esfuerzos alternativos se generan con una carga aplicada en voladizo sobre un extremo del elemento de prueba. El segundo elemento de prueba es un elemento de prueba cilíndrico que
25 se conecta al motor mediante una polea, y a medida que el elemento rota, se le aplican esfuerzos alternativos hasta que falla. Dichos elementos de prueba pueden ser probados al mismo tiempo, por lo que las cargas aplicadas se dan sobre cada elemento de prueba, y no se aplica la misma carga a los elementos, pues el primer elemento de prueba va conectado al eje de la polea y con el peso en voladizo, y el segundo elemento de prueba va conectado al
30 mecanismo biela-manivela y a un punto fijo. Esta limitación se traduce en la imposibilidad de poner en prueba una misma probeta a esfuerzos de flexión rotativa y flexión y compresión

alternativa, a diferentes fases, con el fin de determinar el efecto de los esfuerzos de fatiga no solo en un eje sino en dos o más ejes, acercándose a condiciones reales, tal como las condiciones a las que se encuentran sometidos los ejes de transmisión de potencia en los automóviles.

5

Por otro lado, el documento US2855801A divulga una máquina para realizar pruebas de fatiga de partes estructurales. La máquina cuenta con un miembro reciprocante, el cual comprende un soporte, un eje tubular acoplado a dicho soporte, una volante conectada al eje tubular para la rotación, a su vez, la volante comprende una carcasa, y un miembro rotativo alojado en la carcasa. Por su parte, el miembro rotativo teniendo su eje dispuesto excéntricamente relativo al eje de la volante; y un conector ubicado en el miembro rotativo, y adaptado para ser conectado a un miembro reciprocante de la máquina de pruebas de fatiga. El conector tiene el eje dispuesto excéntricamente con respecto al eje del miembro rotativo, medios de eje de potencia dispuestos dentro del eje tubular, un mecanismo de reducción de velocidad, un eje de entrada conectando el mecanismo de reducción a los medios de eje de potencia, un eje de salida conectando al mecanismo de reducción de velocidad y proyectándose dentro de la carcasa, un tren de potencia dentro de dicha carcasa conectado al eje de salida para ser manejado por este. Además, cuenta con un engranaje conectado al miembro rotativo y al tren de potencia para rotar el miembro rotativo alrededor de su eje excéntrico, una placa frontal conectada con la carcasa, la placa dispuesta adyacente al miembro rotativo y siendo estacionaria con respecto a este, un acople de fricción dispuesto entre la placa frontal y el miembro rotativo. Esta configuración, a pesar de que cuenta con un sistema de eje excéntrico para aplicar el esfuerzo sobre la probeta de prueba, no tiene la configuración para aplicar también un esfuerzo rotativo para desarrollar la prueba de fatiga en un eje distinto al eje de rotación de la máquina.

10

15

20

25

De acuerdo a lo anterior, se entiende que no hay un documento en el estado de la técnica, que divulgue máquinas o mecanismos para pruebas de fatiga a tensión y compresión y fatiga rotativa.

30

3. Breve descripción de la invención

La presente invención corresponde a una máquina para fatiga multiaxial que comprende un mecanismo rotacional, el cual, se conforma de un primer eje de potencia con un primer extremo conectado a un primer motor mediante un primer elemento de acople; y un segundo extremo conectado a un primer elemento de sujeción. Además, el mecanismo rotacional cuenta con un eje conducido dispuesto colinealmente con el primer eje de potencia. Dicho eje conducido tiene un primer extremo conectado a un cojinete fijo; y un segundo extremo conectado a un segundo elemento de sujeción. El segundo elemento de sujeción se encuentra dispuesto colinealmente con el primer elemento de sujeción; y un segundo elemento de acople que conecta el primer extremo con el segundo extremo.

Adicionalmente, la máquina cuenta con un mecanismo reciprocante que tiene un segundo eje de potencia conectado a un segundo motor; una transmisión rotacional-lineal conectada al segundo eje de potencia; donde la transmisión rotacional-lineal incluye un cojinete que se conecta al eje conducido; y donde el cojinete aplica una carga radial sobre el eje conducido.

4. Breve descripción de las figuras

La Fig. 1 presenta una vista en isométrico con detalles del mecanismo rotacional, eje de potencia, eje conducido, transmisión rotacional-lineal y mecanismo oscilatorio de una modalidad de la máquina para fatiga multiaxial.

La Fig. 2 presenta una vista lateral de detalle del mecanismo rotacional, eje de potencia, eje conducido, transmisión rotacional-lineal y mecanismo oscilatorio de una modalidad de la máquina para fatiga multiaxial.

La Fig. 3 presenta una vista explosionada de una modalidad de la máquina para fatiga multiaxial.

La Fig. 4 corresponde a una modalidad de la máquina para fatiga multiaxial.

La Fig. 5 muestra los resultados del ensayo de fatiga por flexión rotativa.

La Fig. 6 muestra los resultados del ensayo de fatiga por flexión alternativa.

5. Descripción detallada de la invención

La presente invención hace referencia a una máquina para fatiga multiaxial (en adelante
5 máquina). La máquina utiliza un primer motor (3) y un segundo motor (10) que operan de manera independiente. Cuando los dos motores (3 y 10) trabajan conjuntamente, la maquina es capaz de realizar pruebas de fatiga multiaxial sobre una muestra.

Por otro lado, cuando los motores se alternan en su encendido, la máquina es capaz de
10 someter una muestra a flexión rotativa o flexión alternativa de manera independiente.

Se entenderá en la presente invención que una prueba de fatiga consiste en aplicar a un elemento de prueba, o probeta, esfuerzos variables y repetitivos con el fin de determinar el número de ciclos de esfuerzo que soporta el elemento de prueba hasta que falla.

15

La falla por fatiga se desarrolla a partir de tres etapas (I, II y III): La etapa I es el inicio de una o más microgrietas debido a la deformación plástica cíclica, seguida de propagación cristalográfica que se extiende de dos a cinco granos alrededor del origen. Normalmente, las grietas de la etapa I no pueden verse a simple vista.

20

En la etapa II las microgrietas se convierten en macrogrietas y forman superficies paralelas en forma de mesetas separadas por crestas longitudinales. Por lo general, las mesetas son suaves y normales a la dirección del esfuerzo máximo en tensión. Estas superficies pueden tener marcas oscuras y claras conocidas como marcas de playa, o marcas de concha. Durante las
25 cargas cíclicas, estas superficies con grietas se abren y cierran, frotándose entre sí. La aparición de las marcas de playa depende de los cambios en el nivel de la frecuencia de carga y la naturaleza corrosiva del entorno.

Por otro lado, la etapa III ocurre durante el ciclo de esfuerzo final cuando el material restante no puede soportar las cargas, lo que resulta en una fractura súbita y rápida. Una fractura en la etapa III puede ser frágil, dúctil o una combinación de ambas.

- 5 La falla por fatiga se debe a la formación y propagación de grietas. Por lo general, una grieta de fractura se inicia en una discontinuidad del material donde el esfuerzo cíclico es máximo. Las discontinuidades pueden surgir debido a:

- El diseño de cambios rápidos en la sección transversal, cuñeros, orificios, etc., donde
- 10 – Elementos que giran y/o se deslizan entre sí (cojinetes, engranes, levas, etc.) bajo presión alta constante, lo que desarrolla esfuerzos de contacto concentrados por debajo de la superficie, los cuales pueden causar picaduras o astilladuras después de muchos ciclos de carga.
- Falta de cuidado en las ubicaciones de estampados, marcas de herramienta, raspaduras
- 15 y rebabas; diseño defectuoso de juntas; ensamble inapropiado; y otros errores de fabricación.
- La propia composición del material después de su proceso de laminado, forjado, fundido, estirado, calentado, etc. Surgen discontinuidades microscópicas y submicroscópicas en la superficie o por debajo de ella, así como inclusiones de
- 20 material extraño, segregaciones de aleación, huecos, precipitaciones de partículas duras y discontinuidades cristalinas.

Entre las diferentes condiciones que pueden acelerar el inicio de la grieta se destacan las temperaturas elevadas, ciclos de temperaturas, un entorno corrosivo y ciclos de alta

25 frecuencia.

La resistencia a la fatiga es comúnmente interpretada por diagramas de resistencia-vida. El diagrama de resistencia-vida (S-N, por sus siglas en inglés) proporciona la resistencia a la fatiga S_f contra el ciclo de vida N de un material. Los resultados se generan a partir de

30 ensayos en los que se emplea una carga simple en elementos de prueba. Esta prueba es una

buena aproximación a las condiciones reales a las que están sometidos generalmente variados elementos de máquinas y estructuras.

5 Se entenderá en la presente invención que prueba de fatiga multiaxial es la combinación de pruebas de fatiga sobre un elemento de prueba o probeta, aplicados en ejes y direcciones diferentes.

En el presente caso la fatiga es aplicada a flexión rotativa y flexión alternativa por la máquina.

10 La flexión rotativa consiste en aplicar una carga sobre un elemento que se encuentra sometido a una rotación; el giro causa que las fibras que se encuentran inicialmente a flexión pasan a estar a compresión y las fibras que están en la parte inferior a compresión, pasan a estar a flexión. Además de esto, el elemento se encuentra sometido a esfuerzos de torsión acompañado de los esfuerzos anteriormente mencionados. Los movimientos repetitivos
15 causan en el elemento fisuras que incrementan su tamaño gradualmente hasta que se hace inminente la fractura.

Por su parte, la flexión alternativa consiste en aplicar una fuerza determinada a un elemento de prueba, el cual es sometido a tensión y compresión alternativa sobre y debajo de la línea
20 neutra de esfuerzo del elemento, hasta que finalmente falla debido a los esfuerzos alternantes.

Haciendo referencia a las FIG. 1 y FIG. 2, en una modalidad de la invención, la máquina comprende:

- un mecanismo rotacional (1) que tiene:
25
 - un primer eje de potencia (2) con
 - un primer extremo conectado a un primer motor (3) mediante un primer elemento de acople (17); y
 - un segundo extremo conectado a un primer elemento de sujeción (4);
 - 30 – un eje conducido (5) dispuesto colinealmente con el primer eje de potencia (2), el eje conducido (5) tiene

- un primer extremo (20) conectado a un cojinete fijo (6);
- un segundo extremo (21) conectado a un segundo elemento de sujeción (7), donde el segundo elemento de sujeción (7) se encuentra dispuesto colinealmente con el primer elemento de sujeción (4); y
- un segundo elemento de acople (18) que conecta el primer extremo (20) con el segundo extremo (21);
- un mecanismo reciprocante (8) que tiene:
 - un segundo eje de potencia (9) conectado a un segundo motor (10); y
 - una transmisión rotacional-lineal (11) conectada al segundo eje de potencia (9).

Haciendo referencia a la FIG. 2, el mecanismo rotacional (1) comprende un primer eje de potencia (2) el cual transfiere la rotación del primer motor (3) al primer elemento de sujeción (4), y este a su vez transfiere la rotación al eje conducido (5) a través del elemento de prueba conectado a los elementos de sujeción (4 y 7).

En una modalidad de la invención, el elemento de acople (17) se conforma de una junta universal unida a un acople para motor puede ser un acople flexible, acople de cadena, de platillos, por sujeción cónica y combinaciones de estos.

En una modalidad de la invención, el primer extremo del primer eje de potencia se apoya en un cojinete (6) ubicado entre el motor y el elemento de acople (17). Este cojinete (6) permite un mejor soporte del primer eje de potencia (2), reduciendo así, esfuerzos que se transmitan al primer motor (2).

Por otra parte, la máquina cuenta con unos elementos de acople (17 y 18) que permiten el movimiento vertical del elemento de prueba al ser aplicada la flexión alternativa por parte de la transmisión rotacional-lineal (11) y evitan que las tensiones y esfuerzos afecten el funcionamiento giratorio del eje de potencia (2) y del eje conducido (5). Adicional a esto, los elementos de acople (17 y 18) evitan posibles esfuerzos indeseados sobre los motores, debido

a las cargas fluctuantes sobre el elemento de prueba, y de esta manera, alargan la vida útil de los motores.

5 En una modalidad de la invención, los elementos de acople (17 y 18) se seleccionan entre juntas universales, juntas Rzeppa, acoples tipo cardan, acoples flexibles, acoples tipo Omega, acoples tipo araña, entre otros elementos que permitan transmitir el movimiento.

10 Las juntas tipo Rzeppa, más conocidas como “junta homocinética de bolas”, tienen la ventaja de trabajar bajo condiciones donde los brazos unidos a la junta experimentan una gran variación del ángulo entre ellos, como en la aplicación de esta máquina. Además de esto, las juntas Rzeppa presentan la ventaja de que gracias a su diseño de bolas acopladas, no presentan puntos de atascamiento cuando se encuentran en rotación y se les aplica una carga radial.

15 Los acoples tipo cardan tienen la ventaja de que los cambios instantáneos de la velocidad angular de uno de los cardanes y transmitidos al cuerpo común, son compensados en sentido contrario por el otro, de manera que las velocidades angulares instantáneas de los árboles de entrada y salida son iguales en todo momento.

20 Los acoples tipo Omega son acoples con un elemento flexible, que usualmente es de poliuretano, los cuales no requieren lubricación y son resistentes a agentes químicos, además de esto, se ajustan al desalineamiento, disminuyendo las fuerzas de reacción sobre los cojinetes fijos (6).

25 En una modalidad de la invención, los cojinetes fijos (6) se pueden seleccionar entre rodamientos de bolas, rodamientos de agujas, chumaceras, rodamientos de contacto angular, rodamientos de contacto axial, rodamientos de rodillos, rodamientos de doble hilera de bolas, bujes, cojinetes hidráulicos y combinaciones de los mismos.

30 En una modalidad preferida de la invención, los cojinetes fijos (6) son chumaceras de bolas, las cuales presentan la ventaja de que el ajuste que tiene la pista interna de la chumacera se acopla al eje con un prisionero, lo cual facilita su mantenimiento, recambio e instalación, y

por lo tanto su practicidad en la presente aplicación. Adicionalmente, la chumacera de bolas soporta cargas axiales, como las ejercidas por el mecanismo reciprocante (8).

5 En una modalidad de la invención, la estructura de soporte que sostiene todos los elementos de la máquina, está conformada por un bastidor y una mesa con niveladores.

En una modalidad de la invención, el bastidor es el encargado de alojar la maquina como tal.

10 En una modalidad preferida de la invención, el bastidor está compuesto por láminas de acero A36 de 4.5 mm de espesor, unidas por soldadura de arco revestido.

15 La mesa del bastidor cumple la función de apoyar el bastidor y facilitar su desplazamiento en el espacio que se requiera. Cuenta con unos niveladores para ajustar el nivel de la máquina y que esta se encuentre en una posición completamente horizontal. Así mismo, la estructura debe estar soportada sobre una superficie apropiada que permita disminuir las vibraciones y cargas de funcionamiento. En una modalidad no ilustrada de la invención, la mesa se acopla a un mortero de concreto para disminuir vibraciones.

20 En una modalidad de la invención no ilustrada, el bastidor cuenta con un sistema de acople a la mesa, que cuenta con un sistema de amortiguamiento que disminuye las vibraciones y evita variaciones en la medición.

25 En una modalidad de la invención no ilustrada, el bastidor contiene alojamientos para los cojinetes fijos (6) que permitan fijarlos y que al mismo tiempo posibiliten la alineación del eje de potencia (2) y conducido (5) entre sí.

Por otro lado, el mecanismo rotacional (1) cuenta con elementos de sujeción (4 y 7), los cuales permiten sujetar la probeta o elemento de prueba sometido al ensayo de fatiga.

30 En una modalidad de la invención, el primer y segundo elemento de sujeción (4 y 7) se seleccionan entre mandriles, prensas y copas para torno.

Los mandriles son un tipo especial de prensa usada para sujetar un objeto, que usualmente cuenta con simetría radial, principalmente. Además, tienen la ventaja de que al ser ajustados, permiten que la probeta o elemento de prueba se encuentre perfectamente centrado.

- 5 Por otro lado, el mecanismo rotacional (1) cuenta con un eje conducido (5) que se encuentra dispuesto colinealmente con el primer eje de potencia (2), donde dicho eje conducido (5) permite dar soporte a la rotación del elemento de prueba y a su vez transmite la aplicación de la fuerza del mecanismo reciprocante (8) sobre el elemento de prueba.
- 10 En una modalidad de la invención, los motores (3 y 10), tanto primer como segundo motor (3 y 10), pueden ser seleccionados entre motores de corriente continua, motores síncronos, asíncronos, motores paso a paso, servomotores y motores eléctricos sin escobillas.

- En una modalidad preferida de la invención, para la selección del primer motor (3) se tuvo en
15 cuenta la inercia del sistema que tendría que vencer el motor para iniciar la rotación del conjunto que contiene la probeta sujeta, y así inducirla a la falla por fatiga rotacional.

- En una modalidad preferida de la invención, se seleccionó como segundo motor (10) un motor de dos polos ya que para en el funcionamiento de la máquina, es más importante la
20 generación de velocidad que la de torque, además durante la operación de esta es importante la generación de altos ciclos en lapsos de tiempo cortos pensado para la duración de las pruebas.

- Por otro lado, el mecanismo reciprocante (8) cuenta con un segundo eje de potencia (9), que
25 transfiere la potencia del segundo motor (10) a la transmisión rotacional-lineal (11) con el fin de aplicar una fuerza alternante sobre el elemento de prueba.

- En una modalidad de la invención, la transmisión rotacional-lineal (11) comprende un mecanismo oscilatorio (22) conectado al segundo eje de potencia (9), donde el mecanismo
30 oscilatorio (22) se puede seleccionar entre mecanismos biela manivela, mecanismos leva y seguidor, mecanismos de rueda excéntrica, entre otros. Además, la transmisión rotacional-lineal (11) cuenta con un elemento alternante (12) conectado al mecanismo oscilatorio (22) y

un sistema de guías (24) conectado al elemento alternante (12) permitiendo un movimiento lineal.

5 En una modalidad preferida de la invención, el mecanismo oscilatorio (22) es un sistema excéntrico para movimiento cíclico con piñones, donde el segundo eje de potencia (9) va acoplado a una corona, la cual se encuentra engranada a un piñon acoplado a la biela del mecanismo biela-manivela.

10 En una modalidad de la invención, el sistema de guías (24) comprende el elemento alternante (12) conectado al mecanismo oscilatorio (22), y al menos una guía de desplazamiento (13) por donde se desliza el elemento alternante (12), permitiendo un movimiento lineal.

15 Adicionalmente, el sistema de guías (24) cuenta con un primer brazo (14) que tiene un primer extremo conectado al elemento alternante (12) y un segundo extremo conectado a un primer cojinete móvil (19). A su vez, el primer cojinete móvil (19) está conectado al eje de potencia (2).

20 Finalmente, el sistema de guías (24) cuenta con un segundo brazo (15) con un primer extremo conectado al elemento alternante (12), y un segundo extremo conectado a un segundo cojinete móvil (16), donde el segundo cojinete móvil (16) se conecta al eje conducido (5).

25 En una modalidad preferida de la invención, el sistema de guías (24) cuenta con dos guías de desplazamiento (13), una a cada lado tal como se puede observar en la Fig.1, dándole el debido soporte a la transmisión rotacional-lineal (11).

En una modalidad de la invención, el elemento alternante (12) es una barra de sección transversal rectangular con dos agujeros verticales pasantes ubicados en su región medial, y dos perforaciones verticales ubicadas cerca de sus extremos longitudinales.

30 En una modalidad de la invención, el elemento alternante (12) cuenta también con un sistema de guías verticales con cojinetes, las cuales permiten el movimiento lineal fluido de la barra alternante ya que reducen la fricción entre los elementos.

En una modalidad de la invención, los cojinetes de la barra alternante se seleccionan entre bujes de cobre, rodamientos de bolas, rodamientos de agujas, rodamientos de doble bola y combinaciones entre ellos.

5

También, el elemento alternante (12) tiene una perforación horizontal ubicada en su centroide, la cual sirve para conectar la biela del mecanismo oscilatorio (22).

En las perforaciones verticales se conectan los brazos (14 y 15).

10

En una modalidad de la invención, los brazos (14 y 15) y las perforaciones verticales se conectan mediante una unión roscada, donde los brazos (14 y 15) tienen una rosca macho en su extremo inferior y las perforaciones verticales son tapones roscados.

15 En una modalidad de la invención las perforaciones verticales con lisas y pasantes, y los brazos (14 y 15) se aseguran al elemento alternante (12) con una tuerca conectada a la rosca macho. La tuerca se pone por debajo del elemento alternante (12).

20 En una modalidad de la invención, los cojinetes móviles (16 y 19) son rotulas radiales, las cuales son apropiadas para aplicaciones donde se necesitan soportar movimientos de alineación entre el eje y el alojamiento. Además son apropiadas para aplicaciones donde se deben soportar cargas alternantes.

25 En una modalidad de la invención (no ilustrada), la máquina cuenta con un dispositivo de recuperación de datos que tiene sensores para medir fuerza aplicada y número de ciclos, en donde los sensores están conectados a los ejes del mecanismo rotacional y del mecanismo recíprocante.

En una modalidad de la invención, el dispositivo de recuperación de datos comprende:

- 30
- al menos un variador de frecuencia conectado al primer y segundo motor (3 y 10);
 - un sistema de encendido conectado al primer y segundo motor;

- un selector de posición;
- un sensor de fuerza (23) conectado al primer extremo del segundo brazo (15) del mecanismo reciprocante (8) ;
- sensores de velocidad conectados al mecanismo rotacional (1) por medio del eje conducido (5);
- una tarjeta de adquisición de datos, conectada a los sensores, el variador de frecuencia, el sistema de encendido y el selector de posición.

El variador de frecuencia permite aumentar o disminuir la velocidad de los motores, lo que a su vez se traduce en la variación de los ciclos de esfuerzo sobre el elemento de prueba. Además, el variador de frecuencia permite tener distintas velocidades y torques, lo cual, no es posible de lograr con transmisiones mecánicas, como motorreductores sinfín-corona, motorreductores de engranajes por etapas, motorreductores planetarios, entre otros.

El selector de posición permite operar la máquina ya sea a flexión rotativa, flexión alternativa o una combinación de ambas para ejecutar el ensayo de fatiga multiaxial. Los mencionados modos de operación se logran usando ya sea solo el primer motor (3) (Flexión rotativa), solo el segundo motor (10) (Flexión alternativa) o usando ambos motores (Fatiga Multiaxial).

En una modalidad de la invención, los sensores de fuerza (23) se pueden seleccionar entre celdas de carga, galgas extensiométricas, transductores de fuerza, entre otros. Por otro lado, los sensores de velocidad se pueden seleccionar entre una rueda dentada y sensor tipo hall.

Las celdas de carga son estructuras diseñadas para soportar cargas de compresión, tensión y flexión, en cuyo interior se encuentran uno o varios sensores de deformación llamados *Strain Gages* que detectan los valores de deformación donde se encuentran ubicados. Una de las ventajas de las celdas de carga son su precisión y facilidad de calibración, con el fin de tomar datos precisos durante los ensayos.

El sensor de velocidad, compuesto por una rueda dentada y sensor tipo hall tiene la ventaja de su sencillez en la medición, pues solamente se necesita una rueda dentada acoplada al eje y el

sensor ubicado en una posición donde pueda medir los dientes de dicha rueda. Además de esto, tiene la ventaja de la invariabilidad en la medición frente a la suciedad externa.

Ejemplo 1:

5

Se diseña y construye una máquina de ensayos de materiales capaz de realizar fatiga multiaxial, mediante fatiga a flexión rotativa y fatiga a flexión alternativa.

10 La máquina cuenta con un mecanismo rotacional (1) y un mecanismo reciprocante (9) los cuales aplican la flexión rotativa y la flexión alternativa, respectivamente.

El mecanismo rotacional cuenta con dos ejes rotativos, un eje de potencia (3) y un eje conducido (10), los cuales permiten el movimiento rotacional de todo el sistema.

15 El eje de potencia se encuentra unido por un extremo al primer motor y el otro extremo a una junta universal tipo cardan. Así mismo el extremo libre de la junta universal se encuentra unido a una primera mordaza sujetadora de probetas.

20 El eje conducido se encuentra unido en un extremo a una chumacera de apoyo y un segundo extremo a una junta universal tipo cardan. Así mismo, el extremo libre de la segunda junta universal se encuentra unido a una segunda mordaza sujetadora de probetas.

25 Los elementos de sujeción (4 y 7) son copas para torno, las cuales cuentan con un diámetro exterior de 80 mm y un diámetro óptimo de sujeción de 5/8" de acuerdo con las dimensiones de las probetas.

El primer motor es un motor trifásico de 1,5 hp con velocidad nominal de 3600 rpm y arranque directo.

30 El mecanismo reciprocante cuenta con un segundo eje rotativo, conectado al segundo motor (10) en un extremo, y en el otro extremo a un sistema excéntrico para movimiento cíclico con piñones.

El segundo motor del mecanismo reciprocante es un motor con frecuencia 60Hz, velocidad sincrónica 3600 RPM, potencia nominal de 3 hp, voltaje nominal 220/440 V, grado de protección IP55.

5

La transmisión rotacional-lineal comprende un mecanismo biela-manivela, unido a una barra alternante la cual transmite el movimiento de empuje de la biela a los brazos de aplicación de flexión alternativa.

- 10 El elemento alternante (12) cuenta con una celda de carga dispuesta en la unión entre la barra alternante y el segundo brazo, con la cual se mide la carga sobre la probeta o elemento de prueba.

Ejemplo 2:

15

Para la verificación experimental de la máquina para fatiga multiaxial, se utilizaron probetas de dos materiales, Aceros AISI/SAE 1045 y ASTM A-36. Se realizaron pruebas de tracción para los dos materiales y pruebas de fatiga por flexión rotativa (AISI/SAE 1045) y flexión alternativa (ASTM A-36), para la construcción de los especímenes a ensayar la fatiga, se utilizó la norma para ensayos de fatiga ASTM E-606.

20

Las pruebas de tracción se construyeron muestras con geometrías cilíndricas (AISI/SAE 1045), con sección de ensayo de diámetro inicial de 6,58 mm y longitud inicial de 50 mm; y muestras con geometría cuadradas (ASTM A-36) con sección de ensayo de espesor inicial de 4,5 mm y ancho de 10,12 mm. Los resultados de dichos ensayos, se muestran en la siguiente tabla.

25

Resultados de las pruebas de tracción.

Propiedad	Acero AISI 1045 (MPa.)	Acero ASTM A36 (MPa.)
Esfuerzo de fluencia (S_y)	765	252
Esfuerzo último (S_{ut})	842	437

Para el desarrollo de las pruebas de fatiga a flexión rotativa se usaron 10 muestras en total, utilizando dos muestras por nivel de esfuerzo, iniciando con un esfuerzo $S_x = 0,75 S_y$, y disminuyendo en un 10% progresivamente hasta completar ensayar las 10 muestras. Cuando se presentó la falla de cada muestra, se procedió a registrar el número de ciclos y el tiempo consumido en el fallo. Los datos se presentan en la siguiente tabla.

Resultados de las pruebas de flexión rotativa

Acero AISI/SAE 1045			
Probeta N°	Porcentaje de S_y	Esfuerzo (MPa)	Ciclos a la falla
1	75%	573	27328
2	75%	573	22682
3	65%	497	90944
4	65%	497	107186
5	55%	420	144163
6	55%	420	185456
7	45%	344	249235
8	45%	344	296823

Para el desarrollo de las pruebas a flexión alternativa se usaron seis probetas, utilizando una muestra por nivel de esfuerzo, iniciando con un esfuerzo $S_x = 0,56 S_y$, disminuyendo progresivamente en 5% hasta completar las seis muestras. Cuando se presentó la falla de cada muestra, se procedió a registrar el número de ciclos y el tiempo consumido en el fallo. Los datos se presentan en la siguiente tabla.

Resultados de las pruebas de flexión alternativa

Acero ASTM A-36			
Probeta N°	Porcentaje de S_y	Esfuerzo (MPa.)	Ciclos a la falla
1	0,56	141	4841

2	0,5	125	8278
3	0,45	113	8388
4	0,4	100	12255
5	0,35	88	19506
6	0,3	75	30795

Los resultados fueron graficados en curvas S vs N, considerando el estándar ASTM E-739 “Statistical Analysis of Linear or Linearized Stress-Life (S-N)” para el ajuste de los datos experimentales. Siguiendo los lineamientos de la norma, los valores obtenidos de ciclos de vida durante los ensayos experimentales fueron graficados en el plano de Esfuerzo (S_x) contra número de ciclos (N) para formar la curva S vs N. Los resultados así obtenidos fueron ajustados mediante regresión exponencial hasta obtener una curva $S_x = A \cdot N^b$, conocida en la literatura como la representación exponencial de Basquin.

Seguidamente, se definió N (vida a la fatiga) como la variable dependiente y S_x (esfuerzo) como la variable independiente.

La Fig. 5 muestra los resultados del ensayo de fatiga por flexión rotativa, como se observa en la figura, se ha graficado una porción de la curva de altos ciclos. También, se ve una tendencia potencial y los resultados de las constantes de la ecuación propuesta por Basquin.

La Fig. 6 muestra los resultados del ensayo de fatiga por flexión alternativa, como se observa en la figura, se ha graficado una porción de la curva de altos ciclos. También, se ve una tendencia potencial y los resultados de las constantes de la ecuación propuesta por Basquin.

20

Se debe entender que la presente invención no se halla limitada a las modalidades descritas e ilustradas, y la persona versada en la técnica entenderá que pueden efectuarse numerosas variaciones y modificaciones que no se apartan del espíritu de la invención, el cual solo se encuentra definido por las siguientes reivindicaciones.

25