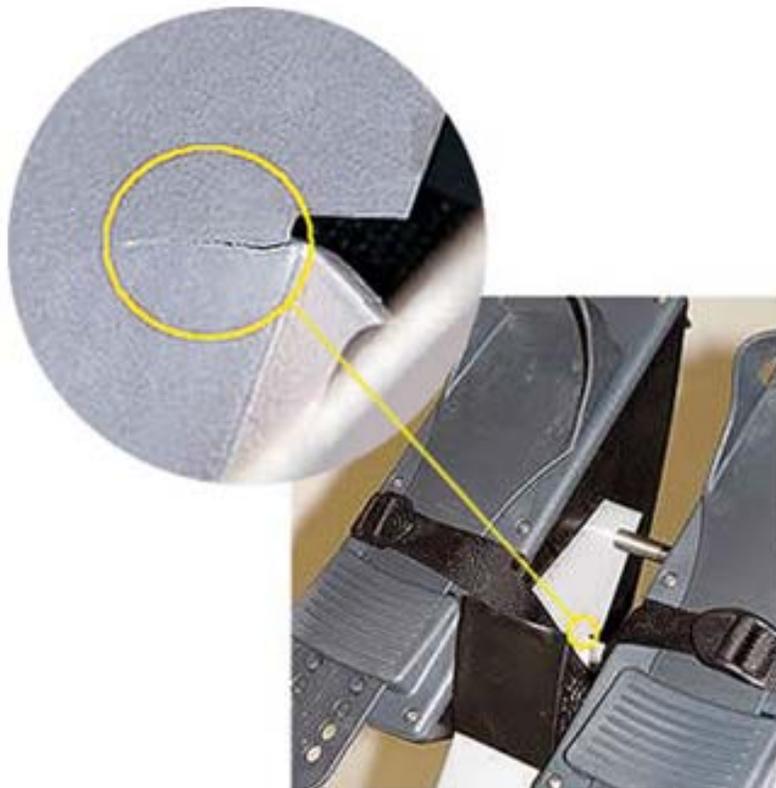


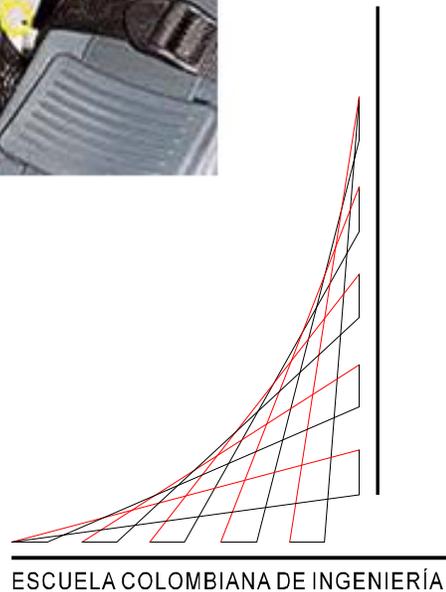
# FATIGA

## PROTOCOLO

Curso de Materiales



**EDICION 2011-2**  
**FACULTAD INGENIERIA INDUSTRIAL**  
**LABORATORIO DE PRODUCCION**



## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS .....	3
SEGURIDAD PARA LA PRÁCTICA.....	3
1 ASIGNACIÓN DE TIEMPOS .....	4
2 MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Generalidades de fatiga .....	5
2.2 Etapas de las fallas por fatiga .....	5
2.3 Métodos para medir la resistencia a la fatiga .....	6
2.4 Esfuerzo límite .....	7
2.5 Resistencia a la fatiga.....	7
2.6 Relación de fatiga.....	7
2.7 Partes principales de la máquina.....	8
2.7.1 Chumacera Fija.....	8
2.7.2 Eje de Rotación.....	9
2.7.3 Contador de Ciclos.....	9
2.7.4 Chumacera de carga móvil .....	9
2.7.5 Placa Base.....	10
2.7.6 Soportes de la probeta .....	10
2.8 Parámetros de carga para la máquina de fatiga .....	10
2.9 Probetas.....	10
3 PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE FATIGA .....	11
4 BIBLIOGRAFIA.....	12

## INTRODUCCIÓN

Este laboratorio es realizado con el fin de conocer cómo es el comportamiento de los materiales metálicos frente a cargas o esfuerzos repetitivos, de tal manera que al diseñar piezas, componentes o diversos productos, se garantice el óptimo funcionamiento de los mismos sin presentar falla por fatiga.

## OBJETIVOS

Los objetivos que persigue la correcta realización de esta práctica son:

- Conocer y entender la importancia de la realización de los ensayos de fatiga para la prevenir fallas en componentes industriales expuestos a cargas repetitivas.
- Identificar las causas de las fallas por fatiga y conocer la forma de minimizarlas.
- Conocer los tipos de ensayos que se realizan para determinar el esfuerzo inducido por una carga repetitiva en una pieza y poder determinar el número de ciclos con el cual se presenta la falla por fatiga.
- Entender los conceptos de esfuerzo limite, resistencia a la fatiga, y la curva esfuerzo-número de ciclos (S-N) de modo experimental para aceros y metales no ferrosos.

## SEGURIDAD PARA LA PRÁCTICA

Para evitar lesiones y/o fallas en la maquinaria e implementos de apoyo, causados durante la realización de la práctica, es necesario que los estudiantes al momento de realizarla tengan en cuenta:

- Es importante portar los implementos de seguridad necesarios: guantes de cuero y gafas de seguridad.
- Las piezas de trabajo deben soportarse rígidamente y sujetarse con firmeza para resistir las grandes fuerzas de corte que por lo general se encuentran en el maquinado.
- Conocer ampliamente todo lo relacionado con la práctica antes de realizarla. Esto incluye el manejo adecuado de la máquina, del material y demás implementos utilizados en la práctica.
- En el caso de tener cabello largo, mantenerlo muy bien recogido durante la práctica.
- Seguir atentamente las instrucciones del profesor a lo largo de la realización de la práctica.

## 1 ASIGNACIÓN DE TIEMPOS

TEORIA	TIEMPO (min)
-Instrucciones de seguridad	3
-Generalidades acerca del ensayo de fatiga	15
-Máquinas de ensayo de fatiga	5
-Probetas y características de estas	10
-Tipos y selección de metales desde el punto de vista de la fatiga	15
<b>Tiempo Total</b>	<b>48</b>

PRACTICA	TIEMPO (min)
-Colocar la probeta y la chumacera cuidadosamente, y ajustar de forma adecuada está percatándose que la superficie lisa quede en un plano transversal al plano de la chumacera fija	4
-Establecer la carga para la prueba, de acuerdo al tipo de material.	5
-Colocar la carga establecida.	5
-Cuando la probeta sea colocada, ajustar la chumacera de carga y calcular la longitud requerida para inducir un determinado esfuerzo	15
-Ajustar el interruptor de encendido a la distancia necesaria, para que sea desactivado por la pesas al producirse la factura	3
-Activar los dos interruptores de encendido, primero el de contador del número de ciclos y luego el del interior del equipo	1
-Soltar la probeta, desajustar los soportes de la chumacera con ayuda de una llave bristol y un mazo de caucho.	5
<b>Tiempo Total</b>	<b>43</b>

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Generalidades de fatiga

La vida a fatiga se puede definir como el "fallo debido a cargas repetitivas... que incluye la iniciación y propagación de una grieta o conjunto de grietas hasta el fallo final por fractura" (Fuchs, 1980). El análisis de fatiga estructural es una herramienta para evaluar la validez de un diseño, o su durabilidad, bajo condiciones de carga simples o complejas conocidas como cargas de servicio.

En muchas ocasiones se puede ver que un componente industrial está sujeto a la aplicación de un esfuerzo inferior al esfuerzo de cedencia del material, en forma cíclica o repetida; un número grande de componentes está sujeto a este tipo de carga, por ejemplo: herramientas, resortes, engranajes, artefactos automotores y componentes de las turbinas de aviones, entre otros.

Se sabe que el 90% de las fallas de los componentes industriales, es debido a causas mecánicas, de aquí la importancia de éste ensayo.

La mayoría de las fallas por fatiga, comienzan en la superficie y progresan inicialmente de una manera lenta; después de que la minúscula muesca o fisura ha crecido considerablemente por la tensión, rotación o flexión, la fractura ocurre de repente (1).

Como se mencionaba anteriormente, el esfuerzo cíclico puede ocurrir como resultado de rotación, flexión o tensión y es de precisar que aún cuando el esfuerzo esté por debajo del límite elástico, el material puede fallar después de numerosas aplicaciones de dicho esfuerzo.

### 2.2 Etapas de las fallas por fatiga (1)

Las fallas por fatiga generalmente ocurren en tres fases:

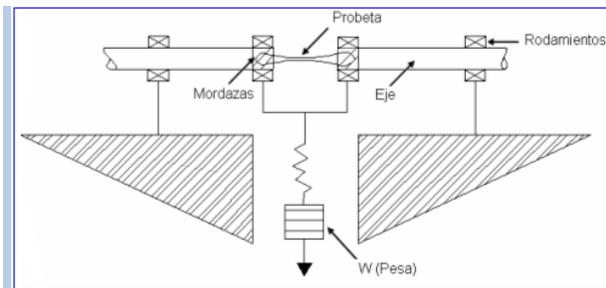
- Fase 1: Se inicia una o más grietas (muesca o fisura) en la superficie del material. Estas pueden aparecer en cualquier punto del material pero en general ocurren alrededor de alguna fuente de concentración de tensión y en la superficie exterior donde las fluctuaciones de tensión son más elevadas. Las grietas pueden aparecer por muchas razones: imperfecciones en la estructura microscópica del material, muescas y entallas causados por las herramientas de fabricación o medios de manipulación. En materiales frágiles el inicio de grieta puede producirse por defectos del material (poros e inclusiones) y discontinuidades geométricas.
- Fase 2: La fisura se propaga por efecto de las cargas. Además, las grietas generalmente son finas y de difícil detección, aun cuando se encuentren próximas a producir la rotura de la pieza.
- Fase 3: Cuando la sección transversal restante del material resulta demasiado pequeña, es decir cuando se produce el adelgazamiento de la sección transversal del material por separación de las partículas en el plano de la fisura, la sección neta de la pieza es incapaz de continuar resistiendo la carga desde un punto de vista estático produciéndose la rotura por fatiga.

### 2.3 Métodos para medir la resistencia a la fatiga

La técnica de la probeta de rotación en flexión con la máquina de Moore es la prueba mejor conocida; con esta, se vigila y supervisa el crecimiento de la grieta por fatiga.

En su funcionamiento, un motor eléctrico hace girar un espécimen cilíndrico, normalmente a 1800 RPM o superior, mientras un contador simple graba el número de ciclos; las cargas son aplicadas en el centro del espécimen, con un sistema de rotación. Maneja además un interruptor, que detiene la prueba en el momento que se causa la fractura y los pesos descienden.

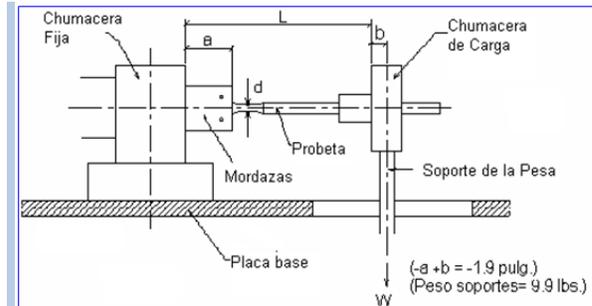
Los pesos producen un momento que causa la flexión del espécimen en su centro. En la superficie superior del espécimen se encuentran las fibras en tensión, y en la superficie inferior están en compresión; ambas superficies son alternadas de forma cíclica, debido a la rotación a la que es sometido el material. (Figura No. 1).



**Figura 1:** Mecanismo para prueba de fatiga

Otro método común para medir la resistencia a la fatiga de un material es el ensayo de viga rotatoria cargada en voladizo (Figura No. 2): uno de los extremos de la probeta maquinada se sujeta al eje de un motor y en el extremo opuesto se sostiene un peso. Inicialmente la probeta tiene un esfuerzo inducido en tensión actuando sobre la

superficie superior, en tanto que la superficie inferior está sometida a compresión.



**Figura 2:** Máquina para fatiga con probeta en voladizo.

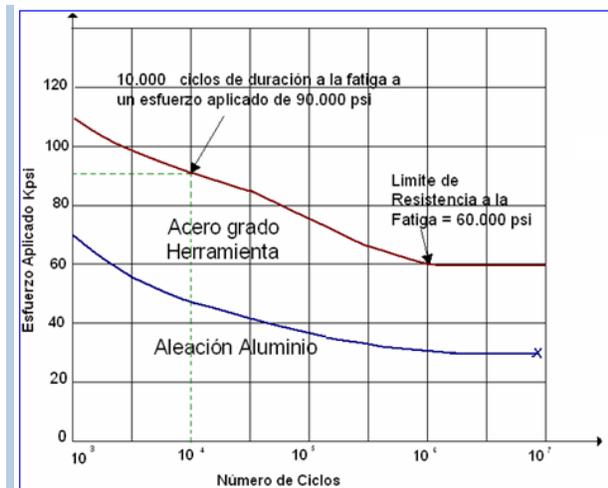
Cuando la probeta gira 90° los puntos que inicialmente estaban bajo tensión y compresión, no están sujetos a esfuerzo alguno. Después de una media revolución de 180° las partículas que originalmente estaban en tensión, pasan a compresión y viceversa. Por lo que el esfuerzo en cualquier punto pasa a través de un ciclo sinusoidal completo desde un esfuerzo máximo a tensión hasta un esfuerzo máximo a compresión. Después de un número repetido de ciclos la probeta puede fallar.

Con estos ensayos de fatiga se prueba una serie de muestras bajo diferentes esfuerzos inducidos. Los resultados se muestran graficando el esfuerzo causante de la rotura en función del número de ciclos, conocido también como curva S-N: Estas curvas definen los valores de tensiones alternas vs. el número de ciclos requeridos para causar el fallo a un determinado grado de esfuerzo inducido. (Ver Figura No. 3)

## 2.4 Esfuerzo límite

El ensayo de fatiga define el esfuerzo inducido máximo que resistirá el material (esto es, la probeta) con un número infinito de cargas, o la carga máxima permisible que se puede aplicar para prevenir la falla del componente a un número determinado de ciclos de carga (3).

Como se muestra en la gráfica siguiente, para evitar que falle una pieza de acero grado herramienta por fatiga correspondiente a 10.000 ciclos de carga, se debe garantizar que el esfuerzo aplicado esté por debajo de 90.000 psi. (Ver *Figura No. 3*)



**Figura 3:** Gráfica S-N para dos metales

En cambio, para que la pieza de dicho material resista un número infinito de ciclos de carga, el esfuerzo aplicado deberá ser menor a 60.000psi. Esto se llama “límite de fatiga”.

## 2.5 Resistencia a la fatiga (1)

Es el esfuerzo máximo con el cual no ocurrirá falla en un número particular de ciclos; la resistencia a la fatiga es necesaria cuando se diseña con materiales como

aluminio y polímeros, ya que estos no tienen esfuerzo límite de fatiga. (Ver *Figura No. 3*)

## 2.6 Relación de fatiga

Esta relación permite estimar propiedades de fatiga a partir del ensayo de tracción. En los aceros la resistencia límite de fatiga es aproximadamente la mitad de su resistencia a la tensión:

$$\frac{\text{Relación a la fatiga}}{\text{Resistencia a la tensión}} = \frac{\text{Resistencia límite para fatiga}}{\text{Resistencia a la tensión}} = 0.5$$

Pero, cuando los aceros están en estado templado y revenido (bonificados), esta relación puede bajar a 0.4 y aún menor.

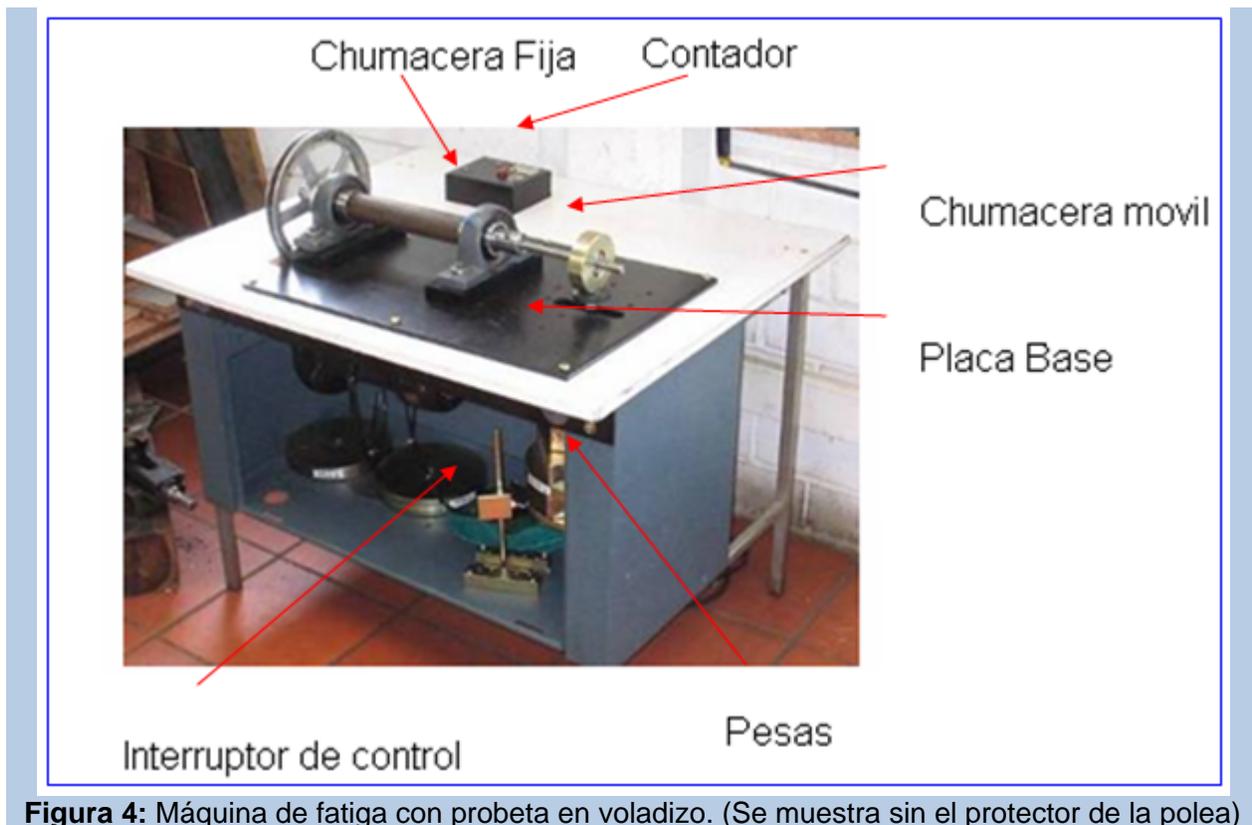
La mayor parte de los materiales son sensibles a muescas o fisuras y a otros factores; siendo por esto importante analizar sus efectos en las propiedades de fatiga. Las otras circunstancias que influyen en la rotura por fatiga son:

- Variaciones de sección: el límite de fatiga se reduce por los cambios bruscos de sección ó entalladuras de cualquier otra clase (sitio con concentración de esfuerzos).
- Temperatura: en casi todos los materiales metálicos el aumento de temperatura por encima de cierto valor, disminuye el esfuerzo límite de fatiga. También existe fatiga térmica que se produce por un cambio en la temperatura; este sucede cuando el material se calienta de manera no uniforme, haciendo que unas partes se dilaten más que otras.
- Tamaño de la pieza: no es lo mismo trabajar con componentes pequeños, que con componentes muy grandes; en estos existe mayor probabilidad de rotura.

- Tratamientos térmicos: las características internas provocadas por tratamientos térmicos, crean localización de esfuerzos que pueden originar fisuras.
- Corrosión: cuando la corrosión existe y va actuando, cada punto de corrosión se convierte en un entalle que rebaja notablemente el límite de fatiga.

## 2.7 Partes principales de la máquina

A continuación se presentan los principales componentes de la máquina de fatiga:

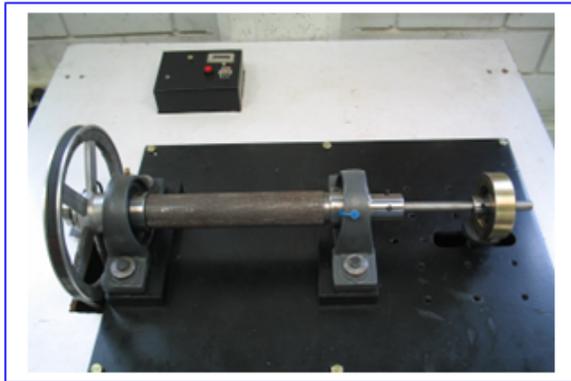


### 2.7.1 Chumacera Fija

Ésta parte de la máquina ayuda a sujetar la probeta en un extremo, a la vez que mediante ella actúa el motor de rotación. Tiene un sistema de lubricación. (Ver Figura No. 5).



### 2.7.2 Eje de Rotación



**Figura 6:** Eje de rotación

El eje de rotación es impulsado por un motor eléctrico que mueve una polea, esta es controlada mediante dos interruptores. Uno de estos maneja el contador de ciclos, y el otro interruptor al activarse permite el funcionamiento rotativo; éste último es desactivado cuando los pesos caen sobre él, es decir cuando se ha logrado la fractura de la pieza por fatiga. (Figura No. 7 y 8).



**Figura 7:** Interruptor interno desactivado.

### 2.7.3 Contador de Ciclos

Éste instrumento permite definir la cantidad de giros (ciclos) a los que fue sometida la probeta.



**Figura 8:** Contador digital de ciclos e interruptor principal

### 2.7.4 Chumacera de carga móvil

Esta parte de la máquina permite establecer la longitud a la cual será dispuesta la carga en cierto punto de la probeta; además, en ésta irá colgado el peso o carga máxima que soportará el material



**Figura 9:** Chumacera móvil de carga (sin probeta).

### 2.7.5 Placa Base

Su función es fijar la polea y el sistema mecánico, entre ellos la chumacera fija, el eje de rotación, el motor, la chumacera de carga móvil y la probeta. Permitiendo además controlar la ubicación de la chumacera móvil y longitud L para el desarrollo de la práctica. (Figura No. 4)

### 2.7.6 Soportes de la probeta

Los soportes colocados en las respectivas chumaceras fija y móvil sirven para sujetar la probeta y fijarla cuando ésta ya está lista; a la distancia establecida, de tal manera que permita que la probeta gire ajustada en la prueba de fatiga. (Figura No. 4 y 9)

**Nota:** La variación de la longitud L, está entre 3.91 pulg. y 7.90 pulg. Las pesas son de: 1697g, 2322g, 4252g, 5357g, 5396g, 5653g y 7357g.

## 2.8 Parámetros de carga para la máquina de fatiga

Por Resistencia de Materiales se conoce que para una viga en voladizo el momento flector M, es igual a:

$$M = W \times L \quad \text{Ec. 1}$$

Siendo

W: Carga (lb)

L: Longitud

Por lo tanto, para la máquina de fatiga, el momento flector será igual a:

$$M = (w + 9.9)(L - 1.9) \quad (lb - in)$$

Además, el esfuerzo inducido máximo en las fibras exteriores arriba y abajo cuando están sujetas a flexión es:

$$\sigma_t = \frac{M\left(\frac{d}{2}\right)}{I} \left(\frac{lb}{in^2}\right) \quad \text{Ec. 2}$$

Cuando la sección es circular

d: Diámetro de la sección reducida de la probeta

I: Momento de inercia de una sección circular ( $in^4$ )

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad \text{Ec.3}$$

Entonces:

$$\sigma_t = \frac{(x + 9.9)(L - 1.9) \left(\frac{d}{2}\right)}{\left(\frac{\pi}{64}\right) d^4}$$

$$\sigma_t = \frac{32(w+9.9)(L-1.9)}{\pi d^4} \quad \text{Ec.4}$$

Siendo 9.9lb., el peso de la chumacera de carga y el soporte de las pesas, y 1.9 pulgs., las distancias muertas que se deben tener en cuenta en las chumaceras.

## 2.9 Probetas

La norma ASTM E466 especifica los especímenes usados en las pruebas de fatiga axiales. Sin embargo, para las pruebas en las que se mantiene a la probeta en rotación y flexión (prueba de fatiga), no existe ninguna especificación por parte de la ASTM, ni tampoco en el tipo de máquina a utilizar.

Los dimensiones específicas de los especímenes dependen del objetivo experimental, de la máquina en que va a ser usado, y del material disponible. La ASTM especifica las técnicas de preparación, los detalles y reportes técnicos. En el reporte se debe informar: un boceto

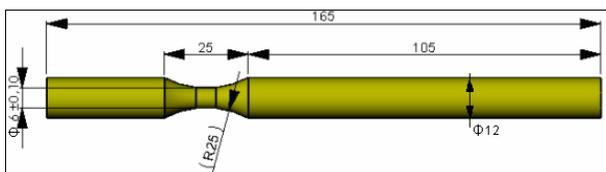
del espécimen, con dimensiones; y la medida de la aspereza superficial.

La preparación de la superficie es sumamente crítica en todos los especímenes de fatiga. Para la carga axial, la ASTM E466 tiene en cuenta el mecanizado puliendo; la última remoción de viruta debe estar en una dirección aproximadamente paralela al eje longitudinal del espécimen. Los métodos de la preparación impropios pueden desvirtuar los resultados en forma importante.

Por ejemplo: una probeta de acero sometida a rotación y flexión presentó a 95.000 psi una vida de fatiga de 24.000 ciclos, teniendo en cuenta que el espécimen había sido torneado en su superficie presentando una rugosidad de  $105\mu\text{in}$ . Cuando la probeta se pulió la superficie áspera pasó a  $2\mu\text{in}$  y bajo los mismos 95.000 psi de esfuerzo inducido, se obtuvo una vida de fatiga de 234.000 ciclos.

Entonces las técnicas de preparación de las probetas deben ser cuidadosas y si hay un cambio en dicha técnica, tiene que ser demostrado que no introduce ningún perjuicio en los resultados.

Para nuestro caso de la práctica en el laboratorio, se utilizara la siguiente probeta (Figura No. 10):



### 3 PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA DE FATIGA

A continuación se presenta de manera detallada, el procedimiento para llevar a cabo la prueba de fatiga:

1. El Profesor desarrolla la teoría correspondiente a la fatiga y a los ensayos establecidos para su estudio.
2. Se determina qué material se utilizará para la prueba (esto depende del material en que se han fabricado las probetas previamente).
3. Hacer la gráfica S-N del material a emplear. ( Ver Ejemplo)
4. De acuerdo al material de las probetas, se procede a establecer el esfuerzo que se inducirá a las mismas. Este esfuerzo inducido equivale a un porcentaje del esfuerzo máximo o resistencia a la tracción del material, el cual se encuentra establecido en tablas del laboratorio. (Se recomienda aplicar esfuerzos menores al 90% y mayores al 50% de la resistencia a la tracción del material).
5. Se determina el peso total que se suspenderá a la probeta para el desarrollo de la prueba. Este peso se encuentra establecido en placas previamente taradas y listas para su utilización. El peso total que se seleccione, debe estar dado en libras (lb.) para realizar los cálculos correspondientes.
6. Con los datos del peso a utilizarse y el esfuerzo inducido establecido, se procede a calcular la distancia a la cual debe ubicarse la chumacera de carga móvil (con el peso suspendido) de la chumacera fija. (Se utiliza la ecuación 4 para calcular dicha distancia). Además, se estima el

- número de ciclos que resistirá el material, utilizando la gráfica S-N.
7. Seguido del cálculo de la distancia, se procede a ubicar la probeta en los soportes de la chumacera fija; debe estar ajustada como lo indique el Profesor para el correcto funcionamiento. En el extremo que se encuentra en voladizo, debe estar la tranca de madera para sostener el peso mientras la máquina no esté funcionando.
  8. Con ayuda del calibrador (vernier), se ubica la chumacera móvil (la cual contiene suspendido el peso) a la distancia que se ha obtenido en los cálculos. Se ajusta la probeta al soporte en la chumacera móvil con ayuda de la llave brístol según lo indicado por el monitor.
  9. Con la probeta lista y ajustada, se procede a verificar que el interruptor interno esté activado y ubicado en el sitio que garantice que la máquina se detenga justo en el momento de la falla del material.
  10. Se retira la madera de apoyo del peso.
  11. Se enciende el interruptor del contador numérico de ciclos. **En este momento la probeta empieza a girar.**
  12. Observar detalladamente el movimiento que presenta la probeta (tensión – compresión) al encontrarse girando.
  13. Registrar el número de ciclos que ha resistido el material hasta presentar falla, este dato se obtiene del contador digital de ciclos.
  14. Extraer las partes de la probeta (rota) utilizada de la máquina y depositarlas en el recipiente acordado para tal fin.
  15. Ubicar las herramientas e instrumentos utilizados en el lugar donde han sido encontrados.

#### 4 BIBLIOGRAFIA

- (1) ASKELAND, Donal R., “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, Thomson Editores. México, 1998.
- (2) Anderson, J.C. y otros, “Ciencia de los Materiales”, Limusa Editores, México, 1998.
- (3) CALLISTER, William. “Materials science and Engineering an introduction” John Wiley & Sons. Inc. México, 2007.
- (4) Flim, R.A, y otro, “Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones”, Mc Graw -Hill, México, 1979.
- (5) Budinsky, K. y otro, “Engineering Materials”, Prentice – Hall, U.S.A., 1999.