

## CAPITULO IV

### SELECCION DE SOLUCION Y DISEÑO DETALLADO DEL BANCO DE MEDICIÓN Y SELECCION DE PROBETAS PARA EL EQUIPO

#### IV.1 BANCO DE MEDICIÓN CON PÉNDULO DE TORSIÓN SOSTENIDO EN DOS EXTREMOS:

Se selecciono la alternativa de solución #2, porque es la que presenta mayor factibilidad de construcción, presenta rotación en el eje z, pero no flexión en los ejes x,y como en la alternativa #1, y con la alternativa #3 que tiene motores eléctricos y componentes electrónicos, además del costo es la duración de construcción por los componentes, diferentes de los que hay en el laboratorio de vibraciones.

#### IV.2 CÁLCULOS PARA EL MÓDULO DE RIGIDEZ:

Previo a los cálculos se realiza un diagrama de cuerpo libre que ayude a simular el banco de medición (sistema) que se tiene. El sistema que se tiene a continuación no produce excitación armónica tal cual, pero se le utiliza porque el grado de error en cuanto a un sistema que si la produce es muy pequeño (menor al 1%).

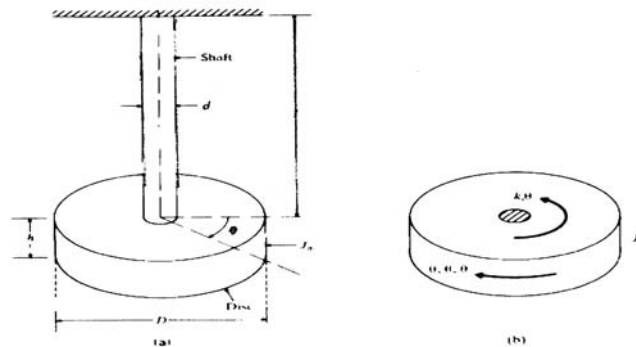


Figura 4.1 Diagrama de cuerpo libre de movimiento lineal

Se tiene que el diagrama de cuerpo libre del sistema en la probeta que girara con respecto a la vertical un ángulo  $\theta$  provocando un momento  $M$  en la probeta, esta reaccionará como un resorte con una constante  $K$ .

Primero tenemos la ecuación de la barra o probeta:

$$M = k \theta \quad (4.1)$$

El diagrama de cuerpo libre de la masa inercial con discos se tiene que:

$$\begin{aligned} B\theta'' &= -M = -k\theta \\ \theta'' + \frac{k}{B}\theta &= 0 \\ \theta'' + \omega_0^2\theta &= 0 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Sabemos que:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= V \\ \frac{dd^2S}{dt^2} &= \frac{dV}{dt} = \theta \end{aligned} \quad (4.3)$$

Por lo tanto:

$$\text{Velocidad: } \theta(t) = -C_1\omega_0 \text{sen}\omega_0 t + C_2\omega_0 \text{cos}\omega_0 t \quad (4.4)$$

$$\text{Aceleración: } \theta(t) = -C_1\omega_0^2 \text{cos}\omega_0 t - C_2\omega_0^2 \text{sen}\omega_0 t \quad (4.5)$$

Para determinar el modulo de rigidez ( $G$ ) en un banco con un péndulo de torsión que somete a una torsión la barra o probeta del material que se investiga, se deberá fijar un extremo de la barra o probeta a un lado fijo superior, y el otro extremo se deberá fijar a una masa de inercia, entonces se hará girar la masa con respecto a la vertical obteniéndose un periodo (figura 4.1).

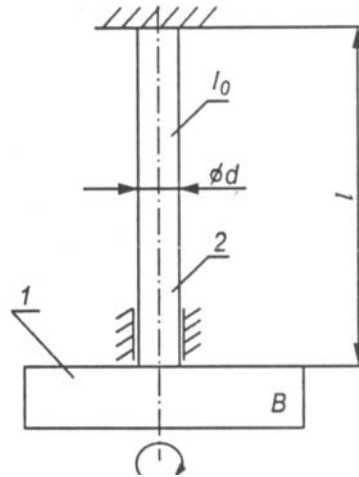


Figura 4.2 Péndulo torsional

Pero podemos ver en la figura 4.1 que si no se tiene una sujeción en la parte de la masa de inercia se provoca un movimiento de flexión de la barra o probeta así que se usa un banco con un rodamiento en la parte inferior, donde esta la masa de inercia (figura 4.2).

Para medir el periodo de vibraciones se usa un frecuenciómetro, primero es necesario medir el periodo para masa inercial 1 y después para la masa inercial 2, obteniéndose 2 periodos. La masa inercial tiene un cambio de posición de un ángulo de  $3^\circ \pm 5^\circ$ , después del cambio de ángulo queda vibrando libremente, y se obtiene el periodo con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_o} = 2\pi \sqrt{\frac{Bl}{GI_o}} \quad (3.22)$$

Y para el periodo de vibración sin discos:

$$T_o^2 = 4\pi^2 \frac{B_o l}{GI_o} \quad (3.23)$$

Donde:  $T_o$ : Periodo inicial con masa inercial sin discos

$B_o$ : Masa de Inercia, momento de inercia #1

l: Longitud de prueba de la probeta

$I_o$ : Fórmula de inercia  $I = \frac{\pi d_o^2}{32}$

$D_o$ : Diámetro de prueba de la probeta

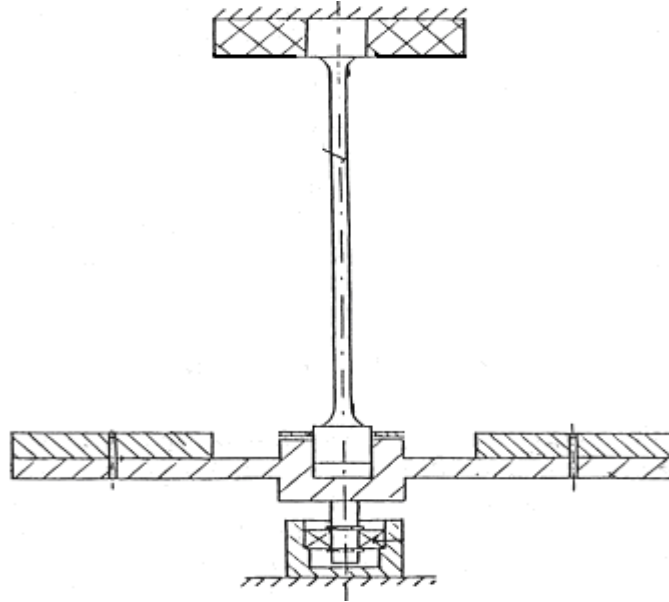


Figura 4.3 Esquema de banco para determinar G

$$T^2 = 4\pi \frac{(B_o + B)l}{GI_o} \quad (3.24)$$

Para cuando se ponen los dos discos de inercia la fórmula es:

$$B = 2m \left[ a^2 + \frac{d^2 + D^2}{8} \right] \quad (3.25)$$

Donde: m: masa del disco de inercia (son 2)

a: distancia del centro del disco al centro de la masa de inercia

d: diámetro de barreno de sujeción

D: diámetro del disco

La siguiente fórmula es para la masa del disco (1) de inercia grande:

$$B_o = \frac{T_o G I_o}{4\pi^2 l} \quad (3.26)$$

Y despejando G (modulo de rigidez) se tiene que:

$$G = \frac{4\pi^2 l B}{I_o (T^2 - T_o^2)} = \frac{128\pi l B}{d_o^4 (T^2 - T_o^2)} \quad (3.27)$$

Para cuando se usan las dos masas de Inercia la fórmula es:

$$G = \frac{128\pi l (B_2 - B_1)}{d_o^4 (T^2 - T_o^2)} \quad (3.28)$$

### IV.3 CÁLCULOS PARA LA HISTÉRESIS MECÁNICA:

Previo a los cálculos se realiza un diagrama de cuerpo libre (Figura 4.3) que ayude a simular el banco de medición (sistema) que se tiene, el cual se toma como un sistema libre amortiguado o sistema de Kelvin-Voigt

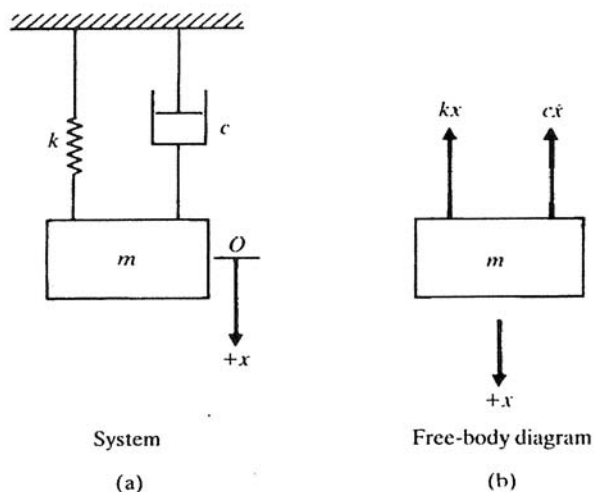


Figura 4.4 Diagrama de Cuerpo Libre de un Sistema con Vibración Libre Amortiguada

Se inicia con el logaritmo de decremento y su ecuación:

$$\delta = \frac{1}{N} \ln \frac{A_0}{A_n} \quad (3.29)$$

$$\beta \ddot{\varphi} + c \dot{\varphi} + \kappa \varphi = 0 \quad (3.30)$$

con su primera derivada:

$$\beta \dot{\varphi} + \frac{c}{\beta} \varphi + \frac{\kappa}{\beta} \varphi = 0 \quad (3.31)$$

donde  $\frac{c}{B} = 2h$  y  $\frac{\kappa}{B} = \omega_0^2$  y su segunda derivada:

$$\beta \ddot{\varphi} + 2h \dot{\varphi} + \omega_0^2 \varphi = 0 \quad (3.32)$$

y con su momento

$$\varphi(t) = e^{-ht} (c_1 \cos \omega_1 t + c_2 \operatorname{sen} \omega_1 t) \quad (3.33)$$

Para obtener el momento de inercia de solo la barra inercial sin pesos:

$$B_0 = \frac{GI_o T_o^2}{4\pi^2 l} \quad (3.34)$$

$$\text{donde: } I_o = \frac{\pi d_o^4}{32} \text{ y } T_o = 2\pi \sqrt{\frac{\kappa \varphi}{B_o}}$$

Ya que tenemos todos los datos despejamos “c”, que en este caso es la energía que se disipa por la Histéresis Mecánica, en el caso de la ecuación 3.35 para cuando se usan las masas “A” y la ecuación 3.36 para cuando se usan las masas “B”:

$$c^{(1)} = \frac{(B_o + B_1)}{5T_1} \ln \frac{A_o}{A_{10}} \quad (3.35)$$

$$c^{(2)} = \frac{(B_o + B_2)}{5T_2} \ln \frac{A_o}{A_{10}} \quad (3.36)$$

Donde  $B_0$  es la barra inercial sola (en  $N*s^2$ )

$B_1$  es la barra inercial con las masas “A”(en Kg.)

$T_1$  es el periodo de la prueba (en segundos)

$A_0$  es la amplitud al inicio de la prueba (en metros)

$A_{10}$  es la amplitud al final de la prueba (en metros)

#### **IV.4 MATERIALES:**

La fabricación del banco de medición necesitará de materiales específicos, los cuales fueron seleccionados en base a sus propiedades mecánicas específicas, esto aunado a las exigencias y requerimientos particulares de cada pieza del banco. Esta selección se realizó de acuerdo a los resultados obtenidos de los cálculos de diseño, teniendo en cuenta la disponibilidad de los materiales en el laboratorio y en el mercado, así como su costo.

- Acero Estructural A-36 ASTM: (Para la placa base)

Es un acero de bajo contenido de carbono de uso común en la manufactura de piezas, con buenas propiedades mecánicas. Presenta una buena relación resistencia-elasticidad, así como un bajo costo, convirtiéndolo en favorito para estructuras metálicas estáticas.

- Acero en Barra de 3 y 3.5 pulgadas de diámetro AISI 1018 (Para los discos de inercia).

Es un acero de bajo contenido de carbono de uso común en la manufactura de piezas, con buenas propiedades mecánicas. Presenta una buena relación resistencia-elasticidad, así como un bajo costo, convirtiéndolo en favorito para estructuras metálicas estáticas.

- Acero AISI 1018, 1045, 1060 en barra para las probetas en 3/8 in. de diámetro.

El acero se clasifica en cuatro subgrupos mayores basados en su contenido de carbono como sigue:

Designación AISI.

-Bajo contenido de carbono: máximo de 0.15% de C.	1005-1015
-Medio-Alto contenido de Carbono: 0.16-0.23% de C.	1016-1023
-Alto contenido de Carbono: 0.24-0.44 de C.	1024-1044



-1045 al AISI 1095. Contienen arriba de 0.44 de Carbono y son usados en aplicaciones bajo condiciones que requieren una alta resistencia y extra fuerza. Algunas aplicaciones típicas incluyen soga de alambre, soga para puentes y alambre musical..

- Aluminio 6061-T6 en barra en 3/8 in. de diámetro.

El aluminio es uno de los materiales mas económicos, estructuralmente efectivos, usados para fines comerciales y aplicaciones en equipo militar

- Latón en Barra en 3/8 in. de diámetro.

Usado regularmente en la industria para partes que tienen fricción con otras, principalmente de acero.

- Rodamiento de bolas de 3/16” diámetro interior, 1/2” diámetro exterior, catalogo SKF 6308

## **IV.5 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN:**

Dependiendo de los datos que se midan, un instrumento de medición de vibración puede llamarse: vibrómetro, velocímetro, acelerómetro, medidor de fase (fasómetro) o frecuencímetro.

### **IV.5.1 Captadores de vibración:**

Cuando se utiliza un transductor en conjunto con otro aparato para medir vibración se les llama captadores de vibración. Los captadores de vibración más comúnmente usados son conocidos como instrumentos sísmicos. Un instrumento sísmico consiste en un sistema masa-resorte-amortiguador montado en un cuerpo vibratorio. Luego el movimiento es medido encontrando el desplazamiento que tiene la masa con respecto a la base donde está montada, algunos de los captadores de vibración más utilizados son:

*Vibrómetro:* O sismómetro, es un instrumento que mide el desplazamiento de un cuerpo vibratorio.

*Acelerómetro:* Es un instrumento que mide la aceleración de un cuerpo vibratorio (figura 4.5). Son muy utilizados en medición de vibraciones, así como para recoger señales de los movimientos telúricos (terremotos). De las grabaciones puede obtenerse la velocidad y el desplazamiento por integración. Es el principal captador de vibración que se utilizará en el banco.

Normalmente los acelerómetros tienen una superficie imantada para adherirse a los cuerpos o cuentan con un pequeño tornillo que se monta en una rosca en el cuerpo al que se fija para recoger las vibraciones, este segundo tipo es el que se utilizará para instalarlos en la base de masa de inercia del Banco.

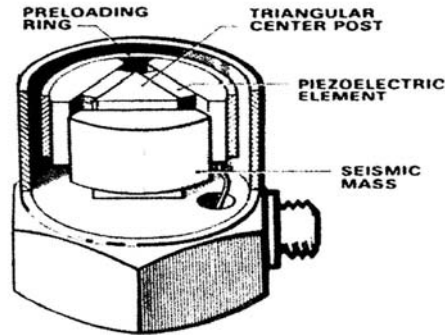


Figura 4.5 Acelerómetros.

#### **IV.5.2 Transductores:**

Un transductor es en general un aparato que transforma los cambios de cantidades mecánicas (como desplazamiento, velocidad, aceleración o fuerza) en cambios de cantidades eléctricas como voltaje o corriente.

Existen varios tipos de transductores, como: los de resistencia variable, los transductores piezoeléctricos y los electrodinámicos.

#### **IV.5.3 Medidores de Frecuencia:**

En un tiempo la mayoría de los medidores de frecuencia eran de tipo mecánico y estaban basados en el principio de resonancia. Ahora se utilizan principalmente los eléctricos/electrónicos. Algunos de los cuales se presentan a continuación:

*Estroboscopia:* Es un instrumento que produce pulsos intermitentes de luz. La frecuencia con que se producen los pulsos puede ser manipulada y leída del instrumento (fig. 4.6).

Cuando se observa con la luz estroboscópica un punto específico de un objeto rotatorio (vibratorio), este aparece estático solo cuando la frecuencia de los pulsos de luz es igual a la velocidad del objeto rotatorio (vibratorio).

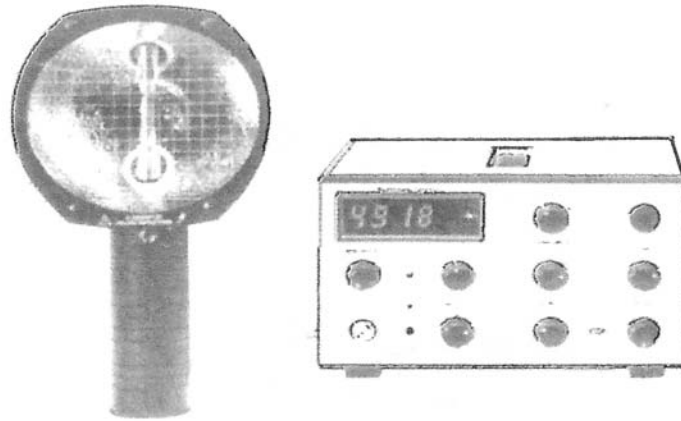


Figura 4.6 Estroboscopio

*Circuito de conteo:* Los contadores de tiempo se utilizan para medir tanto intervalos de frecuencia como de tiempo o periodo (fig. 4.7). Sin embargo, la medición de intervalos de frecuencia y de tiempo tienen requerimientos contradictorios en cuanto a la facilidad de sincronizar la recolección de datos (disparadores).

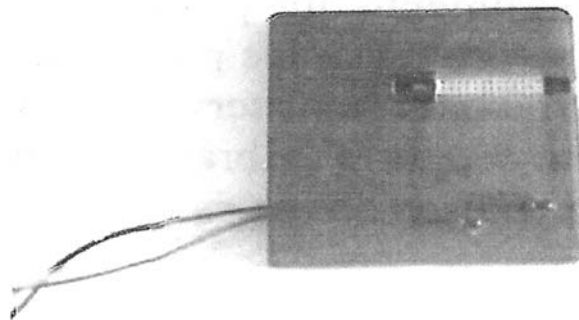


Figura 4.7 Circuito de conteo de Periodo

El circuito utilizado en el banco funciona con un principio parecido al principio del estroboscopio: un haz de luz es emitido por un extremo de circuito y es recibido en el otro extremo; cuando la luz este pasando, el contador marca un pulso y cada vez que la emisión de luz es interferida se marca un nuevo pulso, obteniendo una variación de voltaje que es captada por un frecuencímetro. El frecuencímetro finalmente despliega en la pantalla la información del periodo (ciclos) con que ocurre la interferencia que causa dicha variación. El circuito debe alimentarse con 5 volts.

*Frecuencímetro*: es una aparato que capta y mide los cambios de las señales de voltaje y los despliega en una pantalla, también puede medir el periodo de dichas señales (figura 4.8)



Figura 4.8 Frecuencímetro

#### IV.5.4 Convertidores de señal:

Como se menciono anteriormente los convertidores de señal amplifican a menudo las pequeñas señales para poder analizarlas. A continuación se muestra en la figura 4.9 el amplificador utilizado.

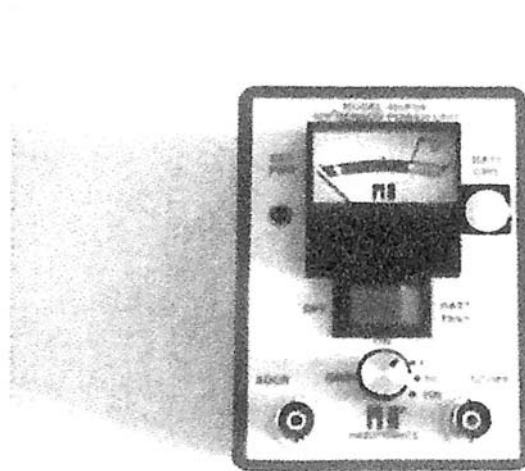


Figura 4.9 Amplificador

#### **IV.6 SELECCIÓN DE TIPO DE PROBETAS PARA EL EQUIPO:**

La probeta que se selecciono, tiene una norma en sus dimensiones, un diámetro critico lo suficiente para lograr resultados en los experimentos a torsión, en este caso se seleccionó una probeta con diámetro de prueba de \_ pulgadas y una longitud de prueba de 7.8 pulgadas, con una cabeza hexagonal de 3/8 de diámetro y 1 pulgada de altura, esta probeta se seleccionó por que es la mas común en las pruebas de torsión, además de que se utiliza actualmente en el Laboratorio de Mecánica de Sólidos del Departamento de Ingeniería Mecánica de la UDLA-P. (ver planos anexos)