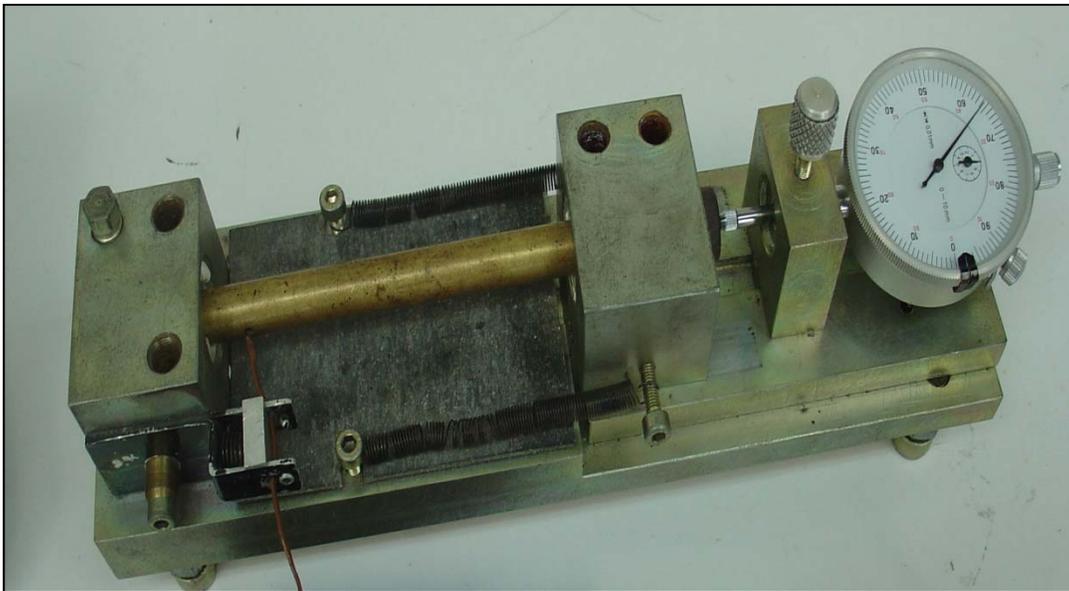


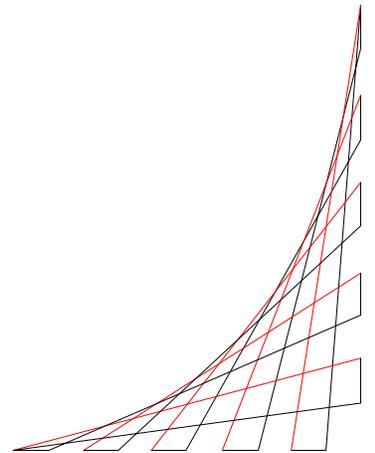
DILATÓMETRO

PROTOCOLO

Curso de Materiales



EDICION 2011-2
FACULTAD INGENIERIA INDUSTRIAL
LABORATORIO DE PRODUCCION



ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS	3
INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD.....	3
1 ASIGNACIÓN DE TIEMPOS.....	4
1.1 Conocimiento del Dilatómetro y coeficiente de expansión térmico.....	4
1.2 Práctica I	4
1.3 Práctica II	4
2 MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 DILATACIÓN.....	5
2.1.1 Factores que influyen en la dilatación.	6
2.2 TIPOS DE ENLACE	6
2.2.1 Enlace Iónico.....	6
2.2.2 Enlace Covalente	6
2.2.3 Enlace Metálico	6
2.2.4 Enlace de Van der Waals	7
2.3 ¿QUÉ ES UN DILATÓMETRO?.....	7
2.4 PARTES PRINCIPALES DEL DILATÓMETRO.....	7
2.4.1 Base Principal.....	7
2.4.2 Base Intermedia.	7
2.4.3 Soporte Fijo.	7
2.4.4 Soporte Móvil.....	8
2.4.5 Soporte Indicador de Carátula.....	8
2.4.6 Resortes.	8
2.4.7 Horno.....	8
2.4.8 Termómetro Digital.	8
2.4.9 Indicador de Carátula.	9
2.5 PARTES SECUNDARIAS DEL DILATÓMETRO	9
2.5.1 Placa de Asbesto.....	9
2.5.2 Probetas	9
2.6 ¿QUÉ ES UN CALENTADOR POR INDUCCIÓN?	10
2.7 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE DILATACIÓN	11
2.8 COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2	11
3 PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICAS.....	12
3.1 PRACTICA I	12
3.1.1 Objetivo:	12
3.1.2 Procedimiento:.....	12
3.1.3 Objetivo:	13
3.1.4 Procedimiento:.....	13
4 BIBLIOGRAFÍA	14

INTRODUCCIÓN

Esta práctica de laboratorio es realizada con el fin de familiarizarse con los ensayos de Dilatación de Cuerpos Rígidos en varios tipos de materiales, siendo sometidos a variaciones de temperatura, determinando la aplicación y funcionalidad de ésta en la industria. De igual forma, también tiene por objetivo, desarrollar habilidades para manejar los instrumentos requeridos en la práctica.

Para la correcta realización de esta prueba, se recomienda que los estudiantes hayan comprendido previamente los temas consignados en el protocolo.

OBJETIVOS

- Entender la importancia de la expansión o contracción de los materiales metálicos y no metálicos.
- Identificar la relación que existe entre el coeficiente de expansión y la fuerza de unión de los enlaces en el material de la probeta al cambiar la temperatura.
- Conocer la importancia de los instrumentos de seguridad para la práctica y su uso adecuado.
- Reconocer la importancia del Dilatómetro en el área de diseño e investigación.
- Identificar y entender la función de cada parte del Dilatómetro.
- Conocer los accesorios y partes secundarias del Dilatómetro.

- Estar en capacidad de leer y operar los diferentes elementos que ayudan a la realización de la práctica (dilatómetro, termómetro digital, indicador de carátula, entre otros).
- Tener la capacidad de identificar y diferenciar los tipos de probeta y disponibilidad de uso.
- Efectuar las lecturas correspondientes según la dilatación o contracción del

Material, su temperatura y medida, y finalmente el cálculo del coeficiente de expansión mediante la realización de la gráfica según los valores obtenidos durante la práctica.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Para evitar lesiones o accidentes causados durante la realización de la práctica es necesario que los estudiantes al momento de realizarla tengan en cuenta:

- Es obligatorio portar los implementos de seguridad necesarios: guantes de carnaza, gafas de seguridad y pinzas para manipular las probetas.
- Tener un buen conocimiento sobre la práctica, y todo lo relacionado con esta, como equipos y utilización de estos: pinzas y dilatómetro.
- Seguir precisamente las instrucciones dadas por el profesor antes de la realización de la práctica.

1 ASIGNACIÓN DE TIEMPOS

1.1 Conocimiento del Dilatómetro y coeficiente de expansión térmico

TEORIA	TIEMPO (min.)
-Instrucciones de seguridad, para el bienestar de los usuarios y buen uso de la máquina.	3
-Explicaciones generales acerca del coeficiente de expansión e importancia de la prueba.	8
-Qué es el Dilatómetro.	1
-Partes principales del Dilatómetro (Bases principal e intermedia, Soportes fijo, móvil, soporte indicador de carátula, indicador de carátula, resortes, horno, termómetro digital).	3
-Partes secundarias del Dilatómetro (Placa de asbesto y probetas).	3
-Probetas y características de estas.	5
-Conocimiento del horno y cuidados sobre este.	2
-Aplicación de las pruebas del dilatómetro	5
Total	30

1.2 Práctica I

PRÁCTICA	TIEMPO (min)
-Seguir instrucciones de seguridad y alistamiento de los estudiantes.	10
-Introducir la probeta al horno con anticipación para tenerla a la temperatura adecuada.	3
-Sacar la probeta del horno, teniendo en cuenta las temperaturas que se están manejando (entre 100° y 800°C).	5
-Llevar la probeta al dilatómetro.	2
-Tomar las mediciones del indicador de carátula y del termómetro digital.	10 (dependiendo de la probeta)
-Medir la contracción de las probetas de Nylon, Latón, Bronce, Cobre, Acero corriente e inoxidable, Poliestireno y Aluminio.	
-Realizar las medidas de temperatura con ayuda de la termocupla.	
-Realizar las lecturas del termómetro digital para saber cuando se deben tomar las mediciones de longitud de la probeta.	
Total	30

1.3 Práctica II

PRÁCTICA	TIEMPO (min)
-Seguir instrucciones de seguridad y alistamiento de los estudiantes.	10
-Realizar mediciones de: diámetro externo del rodamiento y del eje, y de temperatura	3
-Calcular y digitar la temperatura adecuada, para colocar el rodamiento en el transformador por inducción.	5
-Ubicar el rodamiento sobre el eje.	2
-Retirar el rodamiento del eje con ayuda de la prensa.	10
Total	30

2 MARCO TEÓRICO.

A continuación se presentan, de manera general, los aspectos más importantes que se deben tener presentes para realizar la práctica.

2.1 DILATACIÓN

Todo cuerpo, por efectos del calor que recibe sufre algunos efectos, uno de ellos es la dilatación, la cual consiste en el aumento o la disminución de las dimensiones de un material sometido a cambios de temperatura. En los materiales, esta propiedad se vincula con la energía de enlace mediante el *coeficiente de dilatación o contracción térmica* (1).

Matemáticamente el coeficiente de dilatación térmica se expresa como:

$$\alpha = \frac{1}{L} * \frac{dL}{dT}$$

Donde las dimensiones generales del material en una dirección dada son L y aumentan al aumentar la temperatura T. El coeficiente de dilatación térmica describe cuánto se dilata o se contrae el material cuando cambia su temperatura. Existe una relación entre el coeficiente de dilatación y la fuerza de los enlaces atómicos. (Ver Figura No. 1)

Este coeficiente de expansión se relaciona con la unión energética que existe entre los átomos (Ver Figura No.1) y para que estos sean movidos es necesario inducir energía al material. Si casi no hay separación de los átomos quiere decir que el material tiene fuertes enlaces atómicos y por lo tanto tendrá un bajo coeficiente de expansión y una alta temperatura de fusión; por ejemplo, en la figura No.2 se puede ver que materiales como el Plomo (Pb), tienen un bajo punto de fusión, al contrario del Tungsteno (W) que tiene un alto punto de fusión.

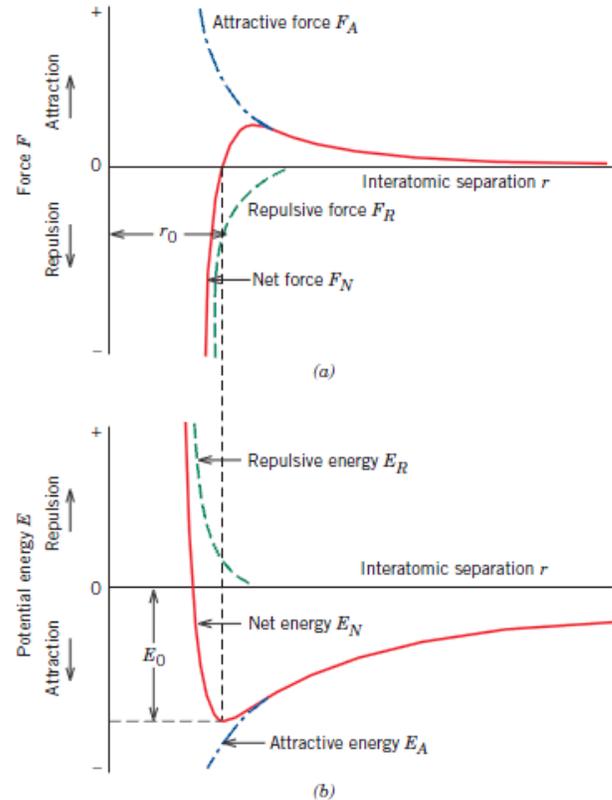


Figura 1: Relación entre la fuerza y la energía según la separación interatómica (2).

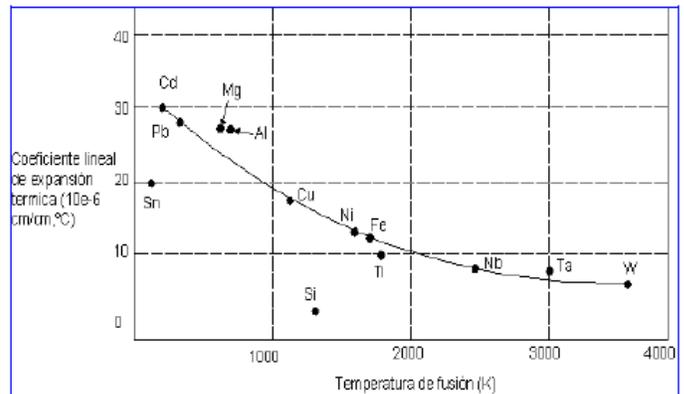


Figura 2: Relación entre el coeficiente lineal de expansión térmica y la temperatura de fusión en los metales a 25°C. Curva esfuerzo deformación.

2.1.1 Factores que influyen en la dilatación.

- **Temperatura:** La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia (1).
- **Enlace:** El coeficiente de expansión térmica de un material está relacionado con la fuerza entre enlaces atómicos. Para que los átomos se muevan saliéndose de sus posiciones de equilibrio debe introducirse energía en el material. Si un pozo de energía muy profundo causado por enlaces atómicos muy fuertes es característico del material, los átomos se separarán en un grado menor y el material tendrá un coeficiente de expansión lineal bajo. (Ver Figuras 1 y 2).

2.2 TIPOS DE ENLACE

En los materiales, encontramos cuatro tipos de enlace:

2.2.1 Enlace Iónico

Este tipo de enlace que se encuentra en muchos cerámicos se produce cuando un átomo electropositivo “cede” o “dona” un electrón. (Ver Figura No. 3)

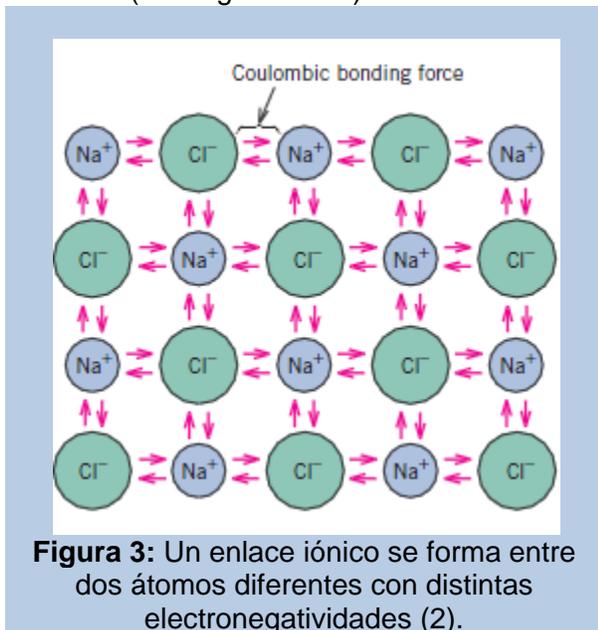


Figura 3: Un enlace iónico se forma entre dos átomos diferentes con distintas electronegatividades (2).

2.2.2 Enlace Covalente

Un enlace covalente se forma entre dos átomos cuando cada uno cede el electrón que se necesita en la formación del enlace. Los enlaces covalentes se encuentran en muchos materiales poliméricos y cerámicos. Adicional a esto los enlaces covalentes son direccionales, es decir, las uniones o enlaces que forman poseen una inclinación definida por un grado dependiendo de la molécula. (Ver Figura No. 4)

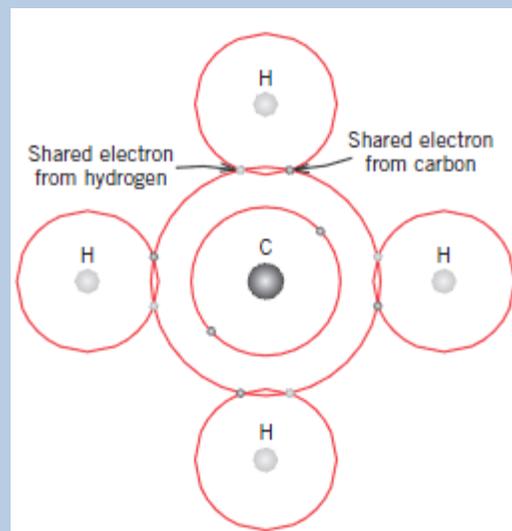


Figura 4: En un enlace covalente los átomos comparten un par de electrones en la capa externa, adquiriendo la condición del octeto electrónico (2).

2.2.3 Enlace Metálico

Un enlace metálico se forma como resultado de que los átomos de elementos con baja electronegatividad ceden sus electrones de valencia, lo que resulta en la formación de un “mar” de electrones. Los enlaces metálicos no son direccionales y son relativamente fuertes. En consecuencia, la mayoría de los metales puros poseen este tipo de enlace. Su comportamiento es similar a un enlace iónico (2).

2.2.4 Enlace de Van der Waals

Los enlaces de Van der Waals se forman cuando los átomos o grupos de átomos tienen una carga eléctrica asimétrica y permiten que el enlace sea por atracción de fuerza electrostática. Las fuerzas de Van der Waals entre las partículas de materiales cerámicos y de otras clases representan un papel importante en los factores que afectan la estabilidad de lodos, pinturas, etc. También tienen un papel importante en el comportamiento mecánico de los plásticos (1).

2.3 ¿QUÉ ES UN DILATÓMETRO?

Éste es un instrumento que sirve para medir el alargamiento que experimenta un cuerpo al incrementar la temperatura. La medición ayuda a encontrar el coeficiente de contracción o dilatación de un material en particular, a diferentes temperaturas. Es utilizado en control de calidad de materiales y en producción. (Ver Figura No. 5)

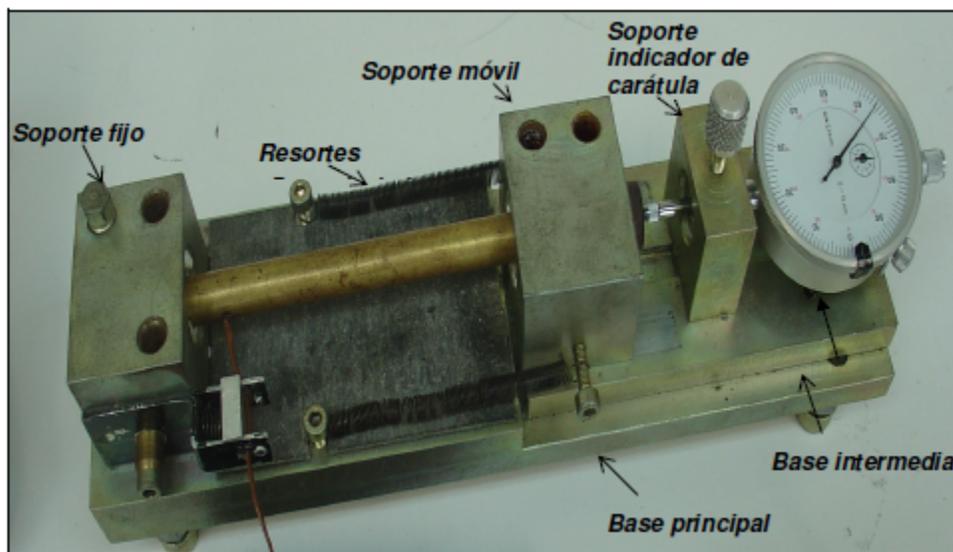


Figura 5: Dilatómetro.

2.4 PARTES PRINCIPALES DEL DILATÓMETRO.

A continuación se explicaran de manera breve cada una de las partes del Dilatómetro:

2.4.1 Base Principal.

Fabricada en acero. Su función es servir de base a los soportes fijo, móvil y soporte indicador de carátula, así como también de la base intermedia. Se encuentra soportada en cuatro tornillos. En el lado izquierdo, sobre su superficie, tiene una canal por donde se ubica el soporte fijo de la probeta. Además, sobre la base encontramos dos tornillos fijos

que proporcionan fuerza al soporte móvil mediante resortes. (Ver Figura No. 5)

2.4.2 Base Intermedia.

Su función es sostener el soporte del indicador de carátula y el soporte móvil. La base intermedia va atornillada a la base principal, además tiene un canal por donde se desliza el soporte móvil. (Ver Figura No. 5)

2.4.3 Soporte Fijo.

Fabricado en acero y su función es servir de soporte a la probeta cuando se va a realizar la medición. Para evitar la transferencia de

calor por parte de la probeta en el soporte, se aloja una cerámica cilíndrica que está adherida en su interior. Este soporte está fijo mediante un tornillo sujeto a la base principal. (Ver Figura No. 5)

2.4.4 Soporte Móvil.

Este soporte esta fabricado en acero. Al igual que el soporte fijo, este evita la transferencia de calor mediante una cerámica adherida con un adhesivo refractario dentro del soporte, la cual sirve de apoyo a la probeta. A los lados se encuentran un par de tornillos los cuales reciben los resortes que le ayudan a dar empuje para registrar la medición. (Ver Figura No. 5).

2.4.5 Soporte Indicador de Carátula.

Este soporte esta fabricado en acero y su función es alojar el indicador de carátula para registrar la medición de la contracción del material. (Ver Figura No. 5).

2.4.6 Resortes.

Estos resortes son en acero y están ubicados en la parte superior de la base principal y el soporte móvil. Su función es servir de ayuda al soporte móvil para que se deslice, siguiendo la contracción de la probeta.

2.4.7 Horno.

En éste se calienta la probeta. Se debe tener en cuenta para realizar la práctica de laboratorio, el tiempo que requiere el horno para llegar a la temperatura deseada; por lo tanto es necesario avisar al laboratorio de producción el día y la hora en que se realizará dicha práctica, para que al momento de realizarla, el horno esté a la temperatura adecuada. (Ver Figura No. 6).



Figura 6: Horno.

El sistema de control de temperatura del horno es de tipo PID, (Proporcional, Integral, Derivative. La acción proporcional modula la respuesta del sistema, la integral corrige la caída o el aumento de la temperatura, y la derivativa previene que haya carga o sobrecarga en el sistema. Este tipo de control, regula la temperatura de forma tal que a medida que se acerca a la medida deseada, hay un comportamiento sinusoidal cerca al valor requerido.

2.4.8 Termómetro Digital.

Este es un instrumento de medición de temperatura. Los registros de medición se harán en grados centígrados. El Termómetro Digital funciona instalando la punta de la termocupla en un orificio de la probeta, para lograr lecturas exactas y confiables. Las escalas que se miden en este termómetro son: ° C y ° F. (Ver Figura No. 7).



Figura 7. Termómetro digital.

2.4.9 Indicador de Carátula.

Instrumento utilizado para medir la contracción longitudinal de la probeta a medida que se enfría. Está dividida en centésimas de milímetro. Este aparato tiene dos relojes; el exterior es el que indica la contracción de la longitud, y el interior, es el que indica la cantidad de vueltas que da el reloj exterior. Cada división del reloj interior (1 mm) corresponde a 100 divisiones del reloj exterior.

Para realizar la lectura del comparador se procede de la siguiente manera:

1. Se calibra el instrumento. Las puntas de las agujas deben coincidir con los ceros del indicador. (Ver Figura No. 8).
2. Se lee en el indicador el registro arrojado de dilatación o contracción. (Si la aguja mayor se mueve en el sentido de la escala "interior" o "de color rojo" la probeta se encuentra en contracción. Si la aguja se mueve en el sentido de la escala "exterior" o "de color negro" la probeta se encuentra en expansión. (Ver Figura No. 8).



Figura 8: Indicador de carátula.

2.5 PARTES SECUNDARIAS DEL DILATÓMETRO

2.5.1 Placa de Asbesto

Ésta placa sirve de aislante térmico cuando se encuentra la probeta caliente, para que no pase el calor a la base principal. Es una lámina comprimida recomendada para trabajos en agua, vapor, gases y químicos. Tienen un límite de servicio, hasta una temperatura de 540°C (1004°F).

2.5.2 Probetas

Son tubos o barras sólidas con los cuales hacemos las prácticas del laboratorio del dilatómetro. Tienen una longitud de 142 mm y un diámetro de 12.5mm. Para realizar estas prácticas tenemos probetas de Cobre, Cobre Electrolítico, Bronce, Bronce-Latón, Nylon, Aluminio, Acero corriente e Inoxidable y Poliestireno. (Ver Figura No. 9)



Figura 9. Probetas.

2.6 ¿QUÉ ES UN CALENTADOR POR INDUCCIÓN?

Es una máquina que transforma la corriente eléctrica en un campo magnético que al fluir por el centro del rodamiento (que actúa como la segunda bobina del transformador) lo calienta a la temperatura deseada en un tiempo muy corto. La gran ventaja de este sistema es que no hay necesidad de usar combustibles.

Las partes que conforma un calentador por inducción son (Ver Figura 10):

- **Termocupla:** es un dispositivo que convierte una magnitud física en una señal eléctrica, traduciendo las

Temperaturas relativas a las cuales se encuentra expuesto.

- **Barra superior de hierro:** permite cerrar el circuito del campo magnético, y así crear el flujo inducido en el rodamiento, como si este fuera la segunda bobina del transformador.
- **Los guantes resistentes al calor:** son adecuados para el manejo de rodamientos calentados, u otras partes, al montar o desmontar. El exterior consta de poliéster duro que soporta altas temperaturas.



Figura 10. Calentador por inducción

Luego de seleccionado el rodamiento, se procede a seleccionar la barra superior de hierro adecuada para ese rodamiento. Se introduce el rodamiento sobre él y se instala la termocupla sobre el rodamiento (base magnética). Luego del montaje, se prende el mecanismo digitando ON y señalando con las dos flechas la temperatura a la cual se

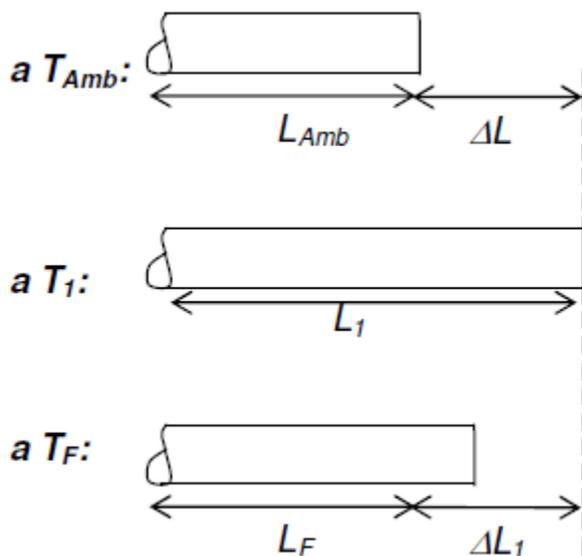
desea llegar; esto se confirma con la tecla ON. Finalmente el sistema de control desconecta el calentamiento gracias a los sensores de temperatura.

2.7 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE DILATACIÓN

La probeta al ser expuesta a altas temperaturas comienza a ganar energía térmica, y las distancias entre los átomos que conforman el material se comienzan a incrementar, por lo tanto las dimensiones generales del material cambian. Este cambio de dimensiones por unidad de longitud ($(\Delta L/L)$) en el material esta dado por el coeficiente de expansión térmica, el cual es expresado en la siguiente formula, de forma general:

$$\alpha = \frac{l_f - l_0}{l_0(T_f - T_0)}$$

Donde T_0 y T_f son las temperaturas inicial y final y l_0 y l_f son las dimensiones inicial y final del material respectivamente. Al realizar el experimento, la probeta se somete a altas temperaturas alcanzando una longitud mayor (L_1) a la longitud inicial. El experimento es realizado a partir de la longitud (L_1), es por esto que para los cálculos $L = L_1$.



Se observa: $\Delta L = L_1 - L_{Amb} \xrightarrow{\text{durante}} (\Delta T = T_1 - T_{Amb})$

Se observa: $\Delta L_1 = L_1 - L_F \xrightarrow{\text{durante}} (\Delta T_1 = T_F - T_1)$

Figura 11: Comportamiento de la probeta durante el experimento

El valor de L_1 lo encontramos de la siguiente forma:

L_M : Distancia interna entre los soportes fijo y móvil. (mm);

$$L_1 = L_M + 32$$

L_{Amb} : Longitud real de la probeta (142 mm).

L_1 : Longitud al iniciar la contracción (mm).

L_F : Longitud final al término del experimento (mm).

ΔL : Cambio de longitud en el proceso de dilatación (mm).

ΔL_1 : Cambio de longitud en el proceso de contracción (mm).

Nota: Al hallar L_1 , se suman 32 mm corresponden a la distancia entre: el punto medio de cada soporte y el extremo interior del mismo.

2.8 COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2

El coeficiente de determinación es un valor cuantitativo de la relación entre dos o más variables. De acuerdo a los datos tomados en la práctica, obtenemos una relación entre temperatura y contracción debido a que a medida que disminuye la temperatura, aumenta la contracción en la probeta. (La contracción depende de la temperatura). Por tanto, la temperatura es una variable independiente "variable X", y la contracción es una variable dependiente "variable Y". Al realizar la gráfica de los resultados obtenidos se observa una tendencia de linealidad, siendo "N" el número de datos tomados.

Para hallar el coeficiente de determinación utilizamos la siguiente expresión:

$$R^2 = \left(\frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{N \sum X^2 - (\sum x)^2} \times \sqrt{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \right)$$

Donde “X” es temperatura y “Y” es la dilatación o contracción en la probeta.

Si el R^2 tiende a 0 no hay relación entre las variables, pero si tiende a 1 la relación entre las variables es casi total.

Nota: Si la gráfica es realizada en Excel, este programa proporciona el coeficiente de determinación sin necesidad de realizar los cálculos.

3 PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICAS

A continuación se explicará de manera detallada los pasos que se tienen que realizar para llevar a cabo con éxito estas prácticas:

3.1 PRACTICA I

3.1.1 Objetivo:

Analizar la variación que se presenta la longitud del material, con respecto al cambio de temperatura.

3.1.2 Procedimiento:

1. Escoger la probeta a la que se le va a realizar el estudio de contracción y conocer sus propiedades.
2. Realizar las mediciones del diámetro y la longitud de la probeta escogida para realizar esta práctica, con la ayuda de un Calibrador Vernier.
3. Realizar una simulación de la manera como se debe colocar la probeta dentro

de los soportes del dilatómetro, para que de esta manera se evite perder tiempo en esta actividad, debido a la inexperiencia de los alumnos.

4. Asignar a cada uno de los integrantes del grupo sus funciones, es decir, ponerse de acuerdo y asignar la persona encargada de registrar los valores de contracción suministrados por el comparador, la medida de longitud inicial de contracción y los valores de temperatura arrojados por el cronometro digital.
5. Una vez se tenga claro el procedimiento a seguir y se hayan asignados las funciones a cada integrante del grupo, se introducirá la probeta en el horno eléctrico. Para la realización de este paso es muy importante que el estudiante encargado de realizar esta actividad porte los elementos de protección personal que corresponden a: careta, los guantes de carnaza, el peto y las pinzas, para de esta manera, se eviten accidentes, ya que las temperaturas que exige la práctica son relativamente altas. La probeta permanecerá entre 10 y 20 minutos en el horno, dependiendo del material.
6. Luego de haber transcurrido el tiempo de permanencia necesario de la probeta en el horno, uno de los integrantes del grupo (que tenga debidamente puestos los elementos de protección personal) procederá a sacar la probeta de este, con la ayuda de las pinzas y lo llevará de manera rápida al dilatómetro, donde introducirá la probeta en los soportes de este aparato.
7. Una vez se tenga la probeta instalada en los soportes del dilatómetro, se procederá de manera rápida a colocar la punta del cable de la termocupla en el orificio de la probeta (se debe observar que el cronometro digital empiece a registrar lecturas de temperatura mucho

más altas). Luego se colocará la placa de asbesto, al tiempo se medirá la distancia entre los extremos interiores de los soportes fijo y móvil. Simultáneamente, se ajustará el comparador de carátula al soporte encargado de sostener este con la ayuda de un tornillo.

8. Luego de haber realizado correctamente los pasos enunciados en el punto 7, se estará atento a identificar la temperatura máxima que registra el termómetro digital. Este valor se puede identificar en el momento en que este instrumento empiece a registrar un valor menor al registrado anteriormente. Para lograr este, es muy importante que no se pierda de vista las lecturas registradas por el termómetro digital.
9. Una vez se haya identificado la temperatura máxima a la que llega el termómetro digital, uno de los integrantes del grupo dará una señal que indique a la persona encargada de tomar los datos del comparador, para que de esta manera se puedan consignar estos valores.
10. Cada 5 °C, la persona encargada de la coordinación, dará una señal a sus otros compañeros, para que se registren los valores de las contracciones correspondientes.
11. El paso 11 se repetirá, hasta obtener un número considerable de datos que garanticen la confiabilidad de los resultados. Se recomienda que se tomen entre 25 y 30 datos.
12. Una vez que se tengan los datos obtenidos de manera experimental, el grupo procederá a realizar los cálculos correspondientes a esta práctica, para que de esta manera se pueda obtener el resultado solicitado.

Nota: Los estudiantes deben tener en cuenta la siguiente tabla que indica la temperatura

máxima que resiste cada material utilizado en la práctica, con el fin de evitar daños por quemaduras en los materiales de la práctica. (Ver Tabla No. 1).

Material de la Probeta	Temperatura máxima (°C)
Acero, Bronce y Cobre	470
Aluminio	350
Nylon	130
Poliestireno	60

Tabla 1: Temperaturas máximas recomendadas para ensayar las probetas.

3.2 PRACTICA II

3.1.3 Objetivo:

Introducir un rodamiento sobre un eje, aplicando la teoría vista.

3.1.4 Procedimiento:

1. Seleccionar el eje y el rodamiento con los cuales se va a desarrollar la prueba.
2. Realizar las mediciones del diámetro interno del rodamiento y el externo del eje. El diámetro nominal del rodamiento y del eje es de 45 mm. A su vez mida la temperatura ambiente.
3. Teniendo en cuenta que el coeficiente de dilatación del rodamiento es de $12.5 \cdot 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$, determine la temperatura a la cual debe ser expuesto el rodamiento para que se deslice sobre el eje manualmente. Sin embargo, adicione unos 20°C, a este resultado ya que de lo contrario se corre el riesgo de que el eje se trabe antes de llegar hasta el fondo del agujero.
4. Con ayuda de su monitor, ubique el rodamiento en el transformador de inducción y digite la temperatura a la cual lo desea llevar (Ver Párrafo 2.5 y Figura No. 10). Recuerde que el inductor emite

ondas electromagnéticas, por lo tanto procure no mantener elementos electrónicos cerca de esta máquina.

5. Cuando el transformador de inducción llegue a dicha temperatura, puede retirar el rodamiento; no olvide las restricciones de seguridad ya que el rodamiento está a la temperatura que usted sugirió.



Figura 11: Retiro del rodamiento.

6. Inmediatamente que retiro el rodamiento deslícelo rápidamente sobre el eje, antes de que pierda calor y se contraiga. (Ver Figura No. 12).



7. Con ayuda de la prensa hidráulica retire el rodamiento del eje, midiendo la presión necesaria para separarlos (Ver Figura **Figura 12:** Ubicación del rodamiento sobre el eje.

No. 13). Compare la fuerza que requirió para unirlos (manualmente) vs la que necesito para separarlos (mecánicamente).

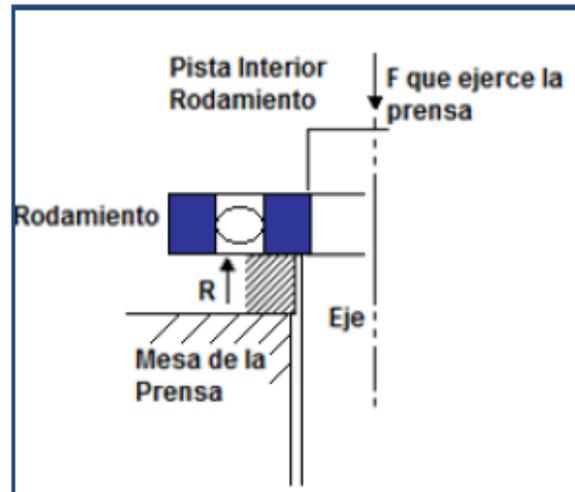


Figura 13: Ubicación del rodamiento en la prensa.

4 BIBLIOGRAFÍA

- (1) ASKELAND, Donal R., "Ciencia e Ingeniería de los Materiales", Thomson Editores. México.
- (2) CALLISTER, William. "Materials science and Engineering an introduction" John Wiley & Sons. Inc. México, 2007.
- (3) Anderson, J.C. y otros, "Ciencia de los Materiales", Limusa Editores, México, 1998.
- (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.