LEY DE COMPORTAMIENTO (COEFICIENTE DE POISSON)

0. DESCRIPCION DE LA PRÁCTICA

La práctica consta de dos partes:

1. La primera parte consiste en la medición de deformaciones mediante dos pares de galgas extensométricas[1], situadas perpendicularmente entre sí en las caras superior e inferior de una barra, véase figura 1.

   La medida se realizará en una barra empotrada en un extremo y sometida a carga puntual en el extremo contrario.

   Cada una de las galgas extensométricas se dispondrán, en un puente de Wheastone[1], en configuración a cuarto de puente.

   Se compararán los resultados obtenidos de la cara superior con los de la cara inferior, para establecer las oportunas conclusiones.

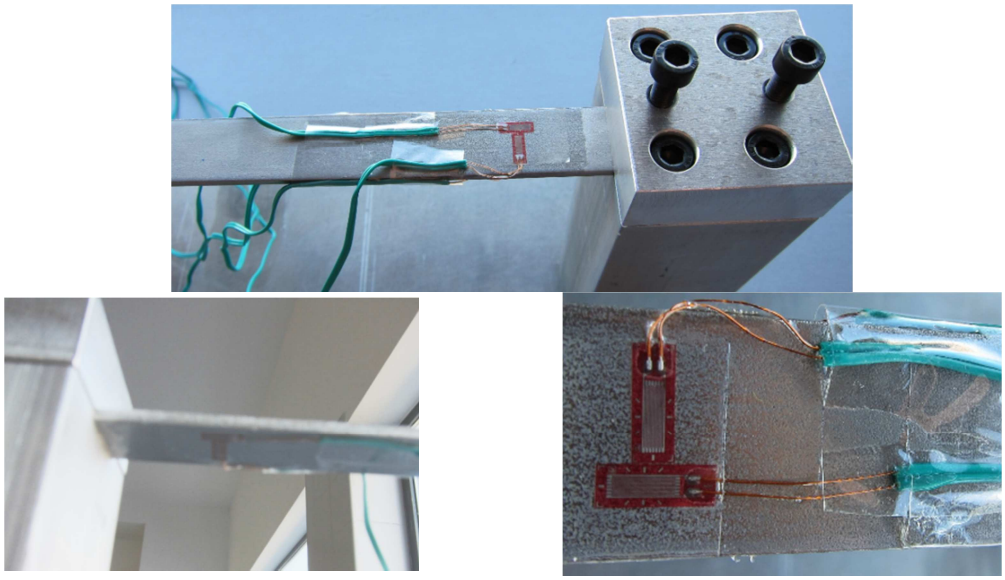


Figura 1. Barra empotrada con pares de galgas extensométricas en la cara superior (arriba) e inferior (abajo, izda). Galgas extensométricas longitudinal y transversal, detalle (abajo, dcha.).

2. La segunta parte consiste en la obtención del valor del coeficiente de Poisson del material a partir de la relación entre la deformación longitudinal y la transversal obtenida a lo largo de la historia de carga que se realizará durante el ensayo.

[1] Véase anexo 2, teoría de extensometría.

Castillo López, G. García Sánchez, F. López Taboada, C. Pedraza Rodríguez, C. (2014) Resistencia de Materiales. OCW-Universidad de Málaga. http://ocw.uma.es
Bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Spain

Se habrá de comprobación el comportamiento constante de su valor a lo largo del proceso de carga y descarga.

1. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

La realización de esta práctica tiene como objetivos:

1. Entender el proceso de deformación en un sólido elástico con especial énfasis en la relación constante entre deformaciones longitudinales y transversales (efecto Poisson).
2. Aprender a medir deformaciones por medio de galgas extensométricas y familiarizarse con el manejo de los instrumentos utilizados para tal fin.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL ENSAYO

El ensayo sobre el que se van a realizar las medidas de deformación es el conocido problema de una barra/viga *en voladizo*, esto es, sujeta por un extremo y libre por el otro.

La situación de carga que se impondrá a esa barra será una carga puntual en el extremo libre. En esta situación el modelo de cálculo sería el indicado en la figura 2.

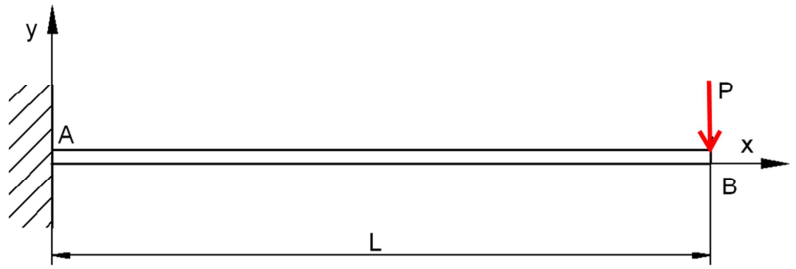


Figura 2. Esquema de cálculo de una viga en voladizo con carga puntual en el extremo.

Resulta evidente que la aplicación de la carga puntual produce una deformación curvilínea de la barra como la que se esquematiza en la figura 3.

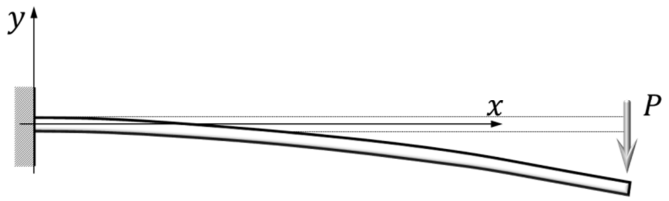


Figura 3. Deformación de una viga en voladizo bajo la acción de una carga puntual en el extremo.

En esa idea, y tomando en consideración la hipótesis de secciones planas de Daniel Bernouilli, véase figura 4 izda., que dice que secciones planas, y perpendiculares al eje de la viga antes de la deformación, permanecen planas, y perpendiculares al eje

Castillo López, G. García Sánchez, F. López Taboada, C. Pedraza Rodríguez, C. (2014) Resistencia de Materiales. OCW-Universidad de Málaga. http://ocw.uma.es
Bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Spain

una vez deformado; podemos asumir que la deformación de la viga se produce como consecuencia del giro relativo de todas y cada una de las secciones de la viga.

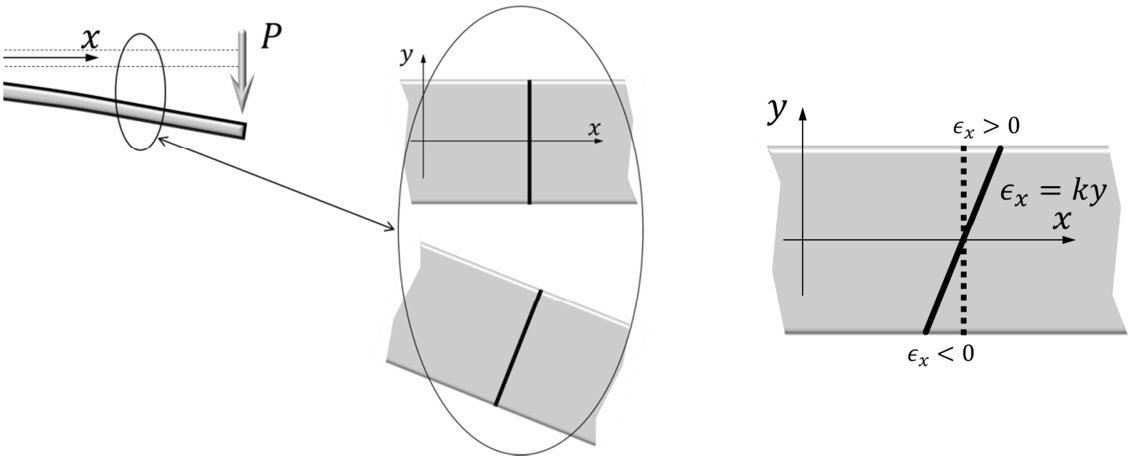


Figura 4. Esquema del giro de una sección de la viga durante su deformación, según la hipótesis de Bernouilli (Izda.). Variación lineal de las deformaciones longitudinales (Dcha.) según esa hipótesis

Así, si nos fijamos en el giro de una sección cualquiera de la viga, podemos asumir que las deformaciones longitudinales de las fibras de la viga son lineales con la distancia al eje, y. Para esto basta superponer, a la posición inicial de la sección, su posición final: figura 4 dcha.

Por todo lo indicado arriba, es inmediato deducir que las fibras de la parte superior de la barra sufren un alargamiento respecto de la situación indeformada, mientras que las fibras inferiores sufren un acortamiento respecto de esa situación. Esos alargamientos y acortamientos son, además, los mayores que se producen en la viga.

Admitiendo el efecto de Poisson, según el cual:

i. Deformaciones impuestas en una dirección se acompañan de deformaciones, de signo contrario, en direcciones transversales a la primera. Es decir: $\epsilon_l \Rightarrow -\epsilon_t$
ii. Y que la relación entre las deformaciones transversales y las longitudinales es una constante, propia de cada material, denominada *coeficiente de Poisson,* ν:

$$\epsilon_t = -\nu\epsilon_l \tag{1}$$

Y siendo éste el efecto que se pretende poner de manifiesto en esta práctica, este efecto será más fácilmente observable en las partes superior e inferior de la viga donde, como se ha dicho, las deformaciones longitudinales son máximas.

Con el objetivo, pues, de medir, en las zonas indicadas las deformaciones longitudinales y transversales para relacionarlas, se han situado sendas galgas, longitudinales y transversales, en las zonas superior e inferior de la viga como se vio en la figura 1.

Castillo López, G. García Sánchez, F. López Taboada, C. Pedraza Rodríguez, C. (2014) Resistencia de Materiales. OCW-Universidad de Málaga. http://ocw.uma.es
Bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Spain

3. DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS EMPLEADOS

Para la realización de la práctica se dispone de los siguientes elementos:

- Pletinas de acero, similares a las que aparecen en la figura 5, de $20\ mm$ de ancho, $2\ mm$ de espesor y $250\ mm$ de longitud, medidas nominales.

Figura 5. Restos metálicos de donde pueden ser extraídas probetas para su ensayo con el objetivo de determinar las propiedades del material en cuestión.

- Galgas extensométricas de resistencia nominal $R = 120\Omega$. Figura 6.

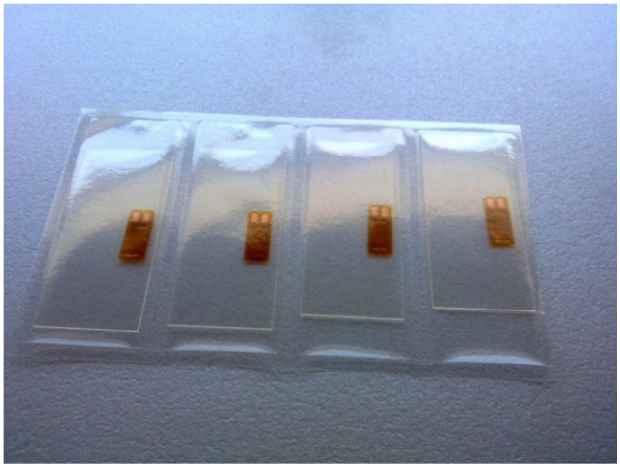


Figura 6. Galgas extensométricas en su empaquetado.

- Soporte para la fijación de la barra en voladizo. Figura 7.
- Equipos para la medición de las deformaciones a las que está sometida la galga extensométrica. Se utilizarán dos equipos de diferentes prestaciones, Figura 8.
  El equipo denominado *P3*, de la firma Micro-Measurements perteneciente al grupo Vishay Precision Group, más interactivo y de mayores prestaciones (a la izquierda de la figura 8), un equipo de menores prestaciones, que no permite interacción, concebido a modo de *caja negra* y que dispone de cuatro pares de terminales para la conexión de una galga extensométrica en cada par, y un pulsador de puesta a cero (a la derecha en la figura 8).

Castillo López, G. García Sánchez, F. López Taboada, C. Pedraza Rodríguez, C. (2014) Resistencia de Materiales. OCW-Universidad de Málaga. http://ocw.uma.es
Bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Spain

Figura 7. Barra en voladizo situada en su soporte. Se pueden apreciar los tornillos de fijación que garantizan las condiciones de contorno de empotramiento.

Figura 8. Equipos para medidas de deformación.

- Pesas de diferente valor nominal en newtons: 0.5, 2, 5, 10,... Y sistema para la aplicación de la carga, consistente en una pieza metálica con forma de gancho que permitirá aplicar la carga en un punto concreto de la probeta. Véase figura 9.

4. TRABAJO A REALIZAR

Se ha de considerar dividido en tres partes: la primera es la que se desarrolla en el laboratorio, las otras dos consisten en el análisis de los datos obtenidos y su interpretación desde el plano teórico para la posterior elaboración de la documentación que será objeto de evaluación.

Castillo López, G. García Sánchez, F. López Taboada, C. Pedraza Rodríguez, C. (2014) Resistencia de Materiales. OCW-Universidad de Málaga. http://ocw.uma.es
Bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Spain

- *Figura 9. Pesas de diferente peso nominal en N y dispositivo de aplicación de la carga.*

4.1. Dispositivos y montaje de la práctica

Como se ha indicado, se dispone de una probeta dotada de cuatro galgas extensométricas, figura 10; dos en la cara superior y otras dos en la cara inferior, colocadas ortogonalmente entre sí. Se han empleado galgas pre-cableadas, a dos hilos[2]. Han sido denominadas *Long.Sup*, *Tran.Sup*, *Long.Inf* y *Tran.Inf*.

Para generar la deformación longitudinal mediante la barra en voladizo con carga puntual en el extremo libre se monta la probeta en el soporte, véase figura 11, apretando los dos tornillos de fijación de modo que se garantice el empotramiento.

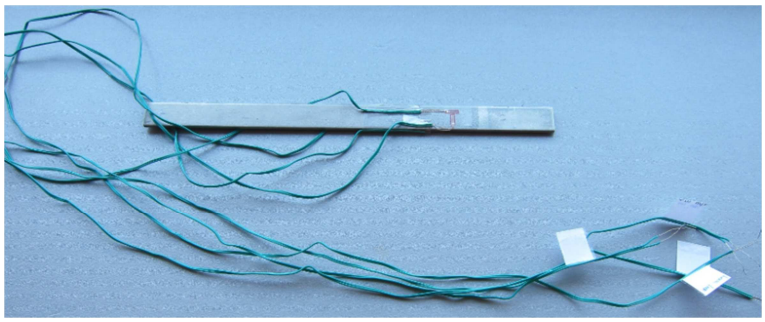


Figura 10. Probeta con galgas y cableado.

Si fuera necesario, para que la probeta encaje firmemente en la ranura al efecto, se desacoplaría el retén de la parte superior del poste, aflojando los cuatro tornillos de las esquinas.

Nótese que las galgas de sitúan cerca de la zona de empotramiento, en la que las deformaciones son máximas, según indica la *Resistencia de Materiales*, pero lo suficientemente alejadas de las zonas de conflicto (el empotramiento en este caso) referidas en el principio de Saint-Venant.

[2] Véase anexo 2. Teoría de extensometría.

Castillo López, G. García Sánchez, F. López Taboada, C. Pedraza Rodríguez, C. (2014) Resistencia de Materiales. OCW-Universidad de Málaga. http://ocw.uma.es
Bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Spain

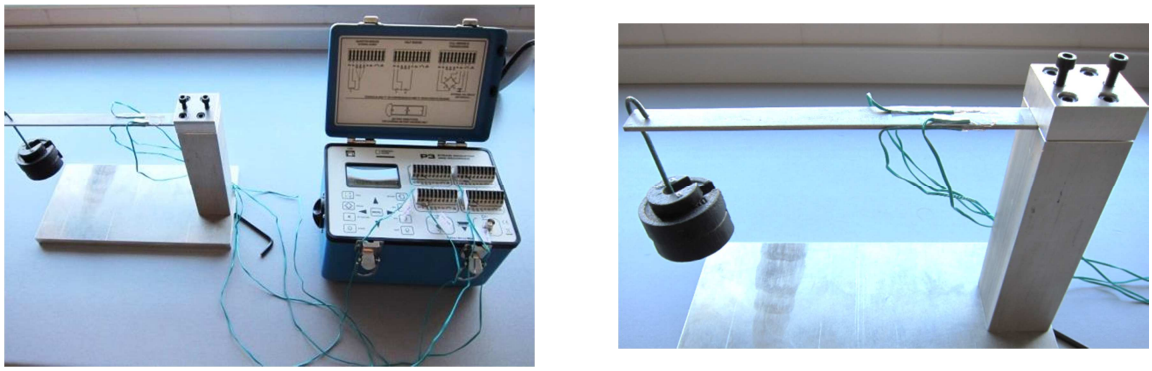


Figura 11. Vistas de un momento del ensayo. Montaje completo (dcha.), detalle (izda.)

4.2. El puente de Weatstone

Se harán aquí unos breves comentarios basados en la idea de que el lector ha consultado el anexo 2, *Teoría de Extensometría*, en el que se describen, con profundidad suficiente, los conceptos que se usan en este epígrafe.

Las galgas extensométricas son resistencias que varían su valor de resistencia eléctrica por efecto de la deformación. El dispositivo más adecuado para medir, con sensibilidad suficiente, un cambio de resistencia es el denominado puente de Wheatstone, consistente en un sistema pasivo constituido por cuatro resistencias montadas en serie dos a dos, figura 12. Este montaje permite medir leves variaciones en la tensión de salida (E_o), a partir de una tensión de entrada (E_i) de valor conocido.

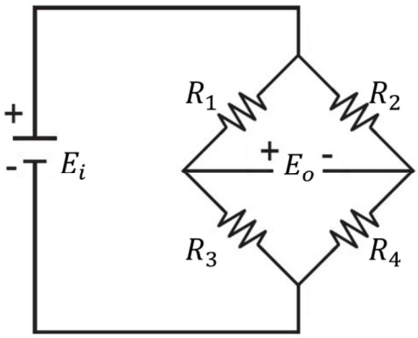


Figura 12. Puente de Wheatstone.

Este es el montaje contenido en los dos equipos de medida de que se dispone en el laboratorio y que han sido referidos más arriba, Figura 8.

La conexión de galgas al puente a de interpretarse como la sustitución de algunas de las resistencias del puente (R_i en la figura 12) por las galgas que se conecten.

Así, se hablará de conexión (o montaje) a *cuarto de puente,* cuando se conecta una única galga sustituyendo a una de las resistencias del puente; montaje a *medio puente*, cuando se conectan dos galgas, sustituyendo a otras tantas resistencias y montaje a *puente completo* cuando son cuatro las galgas que se conectan.

Castillo López, G. García Sánchez, F. López Taboada, C. Pedraza Rodríguez, C. (2014) Resistencia de Materiales. OCW-Universidad de Málaga. http://ocw.uma.es
Bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Spain

El tipo de montaje está relacionado con la sensibilidad de la medida que se desea obtener. Véase el anexo 2, *Teoría de Extensometría*.

4.3. Conexión de las galgas al puente de Wheatstone

En el caso que nos ocupa, la conexión se realizará a cuarto de puente en la modalidad de montaje a *dos hilos*[3], el más sencillo de los posibles.

Trasladado al aparato de medición, el esquema de montaje –por cada una de las caras de la probeta– del puente a ¼ es, para este caso:

En función del equipo utilizado, la conexión se hará de un modo u otro.

En el caso del equipo más simple (caja negra) la conexión se hace directamente a dos hilos conectando cada galga a cada pareja de bornes de conexión. Figura 13.

En el caso del equipo denominado P3 es preciso simular una instalación a tres hilos, es decir, simular una instalación como la que se muestra a la izquierda de la figura 14, donde los bornes P+, S- y D120 hacen referencia a la terminología del dispositivo P3. Con el objetivo de simular este tipo de conexión se puentean los terminales S. y D120 como se muestra a la derecha de la figura 14.

Figura 13. Conexión de cuatro galgas al equipo concebido como caja negra.

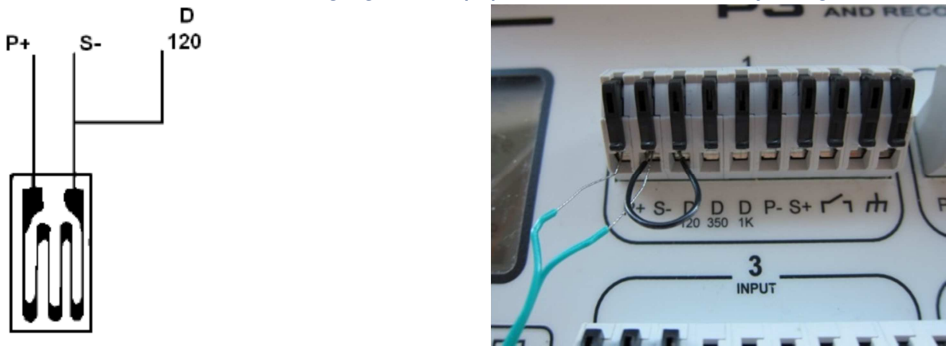


Figura 14. Conexión a tres hilos (izda.). Simulación de la conexión en el dispositivo P3 (dcha.).

[3] Véase anexo 2. Teoría de Extensometría.

OCW UMA
Castillo López, G. García Sánchez, F. López Taboada, C. Pedraza Rodríguez, C. (2014) Resistencia de Materiales. OCW-Universidad de Málaga. http://ocw.uma.es
Bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Spain

La ausencia de ese puenteado invalida la acción del instrumento de medida mediante la indicación *offscale*, canales 2, 3 y 4 en la figura 15 izquierda.

En consecuencia, si se utiliza el dispositivo P3, se conectarán a los cuatro canales los dos hilos de cada una de las galgas anotando cuidadosamente el orden de colocación. A este respecto, es regla de buena práctica, para evitar errores, que las galgas de cada cara se sitúen de modo que los resultados se visualicen como filas o como columnas en la pantalla. El montaje final tendrá el aspecto de la figura 15 , centro, y todos los canales arrojarán valores, figura 15, derecha.

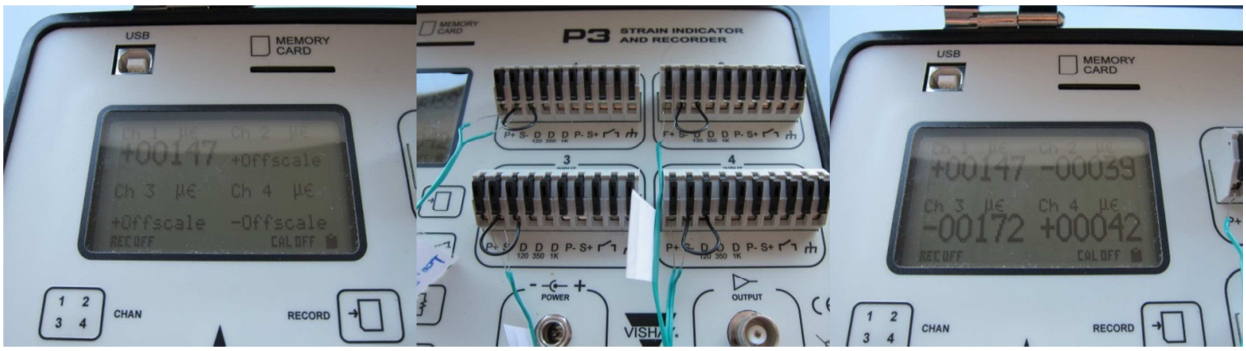
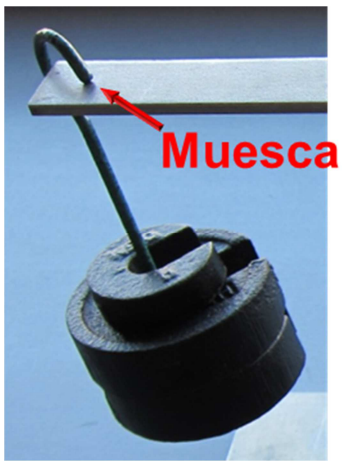


Figura 15. Izda: anulación de canales 2, 3 y 4 (offscale) por ausencia de conexión simulada a tres hilos. Centro, Izda: Conexión correcta de los cuatro canales y lecturas de deformación.

4.4. Geometría, montaje, cargas y dimensiones

Se habrá de verificar la distancia entre el centro de cada galga y el punto de aplicación de la carga así como la longitud del voladizo[4].

La aplicación de la carga se realizará colgando las pesas con la ayuda del gancho mostrado en la imagen, que se situará en la pequeña muesca que tiene la probeta en su cara superior. Figura 16.



[4] Cuando se realizan este tipo de medidas, es regla de buena práctica realizarlas en sitios diferentes, un número impar de veces y siempre más de una vez. Es decir, tres veces como mínimo. Se tomará como medida definitiva la media de las medidas tomadas.

Castillo López, G. García Sánchez, F. López Taboada, C. Pedraza Rodríguez, C. (2014) Resistencia de Materiales. OCW-Universidad de Málaga. http://ocw.uma.es
Bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Spain

Figura 16. Pesas colgadas durante el ensayo.

Habrá de verificarse la sección de la probeta que, nominalmente, mide $20\,mm$ de ancho y $3\,mm$ de espesor.

4.5. Procedimiento y toma de datos

Tras el montaje del ensayo, como se ha ido indicando arriba, se monta el gancho en el que se dispondrán las pesas y se ponen a cero las medidas de deformaciones, es lo que se conoce como balanceado del puente de Wheatstone. El método de balanceado depende de cada equipo.

En el equipo sencillo, el de color negro, basta con mantener pulsado el botón blanco hasta que se hagan cero todos los valores de la pantalla. Nótese que, debido a la precisión de este equipo, una oscilación de $\pm 5\,\mu\varepsilon$ es muy usual. Esto significaría un error de $\pm 5\,\mu m$ en la medida del incremento de longitud por cada metro de longitud, lo que resulta despreciable.

En el equipo de color azul ha de pulsarse la tecla *balance* y seguir las instrucciones del menú en pantalla. En este equipo, con mayor precisión, la medida es más estable.

A continuación se inicia el proceso de carga y de toma de datos. El proceso de carga ha de ser lento y los datos han de tomarse cuando se estabilicen los valores ofrecidos por los equipos de medida. Es muy importante, que las pesas no se balanceen, y no mover los cables de conexionado de las galgas una vez se ha equilibrado el puente. Todos estos pueden ser fuente de error en las medidas.

A los efectos de toma de datos se ofrece, a modo de ejemplo, la siguiente tabla (valores de carga introducidos, valores de deformación obtenidos y posición de las galgas):

	Cara superior		Cara inferior	
CARGA (N)	Def. Long. ($\mu\varepsilon$)	Def. Trans. ($\mu\varepsilon$)	Def. Long. ($\mu\varepsilon$)	Def. Trans. ($\mu\varepsilon$)
0	0	0	0	0
5				
10				
15				
20				
25				
30				
25				
20				

Castillo López, G. García Sánchez, F. López Taboada, C. Pedraza Rodríguez, C. (2014) Resistencia de Materiales. OCW-Universidad de Málaga. http://ocw.uma.es
Bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Spain

15				
10				
5				
0				

4.6. Análisis de datos y cálculo del coeficiente de Poisson

El coeficiente de Poisson es la relación (constante para cada material) entre los valores de deformación longitudinal y los valores de deformación transversal. Disponer de los valores de estas deformaciones para diferentes estados de carga, permite analizar el comportamiento de este coeficiente a lo largo del rango de solicitaciones al que se ha sido sometida la probeta. Y esto es lo que se ha de poner de manifiesto en este punto.

A tal efecto, resultará aconsejable graficar las lecturas de deformación frente a la carga, así como la relación deformación transversal/deformación longitudinal frente al mismo parámetro, y sacar las oportunas conclusiones a la vista de estas gráficas.

4.7. Interpretación de los resultados

A partir de los resultados obtenidos es preciso que, quien realiza el ensayo, se plantee, al menos, las siguientes cuestiones que garanticen la coherencia de los resultados obtenidos, así como la comprensión de los fenómenos que se han puesto de manifiesto:

- ¿Es coherente el signo obtenido para las deformaciones? ¿Por qué?
- Sin necesidad de hacer cálculos precisos, y sabiendo que el material de la probeta es una aleación de acero, ¿son coherentes los valores de deformación transversal? ¿Por qué?
- ¿Son coherentes los valores de la última fila (carga nula)? ¿Y su signo? ¿Por qué se obtienen?
- ¿A qué pueden atribuirse las diferencias entre los valores de deformación longitudinal entre la cara superior e inferior de la probeta?
- ¿Se pueden atribuir a los mismos motivos las diferencias entre los valores de deformación transversal en las caras superior e inferior?

4.8. Informe de prácticas. Propuesta de Mínimos

El índice de la memoria que habrá de entregar el grupo que realiza la práctica habrá de contener, como mínimo, los apartados siguientes:

- Título de la práctica.
- Objetivo de la práctica.

Castillo López, G. García Sánchez, F. López Taboada, C. Pedraza Rodríguez, C. (2014) Resistencia de Materiales. OCW-Universidad de Málaga. http://ocw.uma.es
Bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Spain

En este apartado se expondrá lo que para el alumno es el objetivo de la práctica. Se plantearán las cuestiones que se estimen clave y que los resultados de la práctica habrían de poner de manifiesto.

- Análisis numérico.

En este apartado se recogerán los cálculos que se hayan realizado durante el desarrollo de esta memoria. Este apartado se subdividirá en tantos subapartados como se considere necesario.

- Análisis experimental.

En este apartado se incluirán todos los datos medidos y calculados.

Se gráficarán las mediciones realizadas justificando la forma y comportamiento de las gráficas.

Se graficarán, de forma independiente, las relaciones deformación transversal/deformación longitudinal para las galgas superiores e inferiores.

- Correlación teórico experimental.

En este apartado se compararán los resultados teóricos con los experimentales, cuantificando, en porcentaje, la desviación de los resultados experimentales de los resultados esperados teóricamente.

Castillo López, G. García Sánchez, F. López Taboada, C. Pedraza Rodríguez, C. (2014) Resistencia de Materiales. OCW-Universidad de Málaga. http://ocw.uma.es
Bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Spain

- Conclusiones.

En este apartado se describirán las conclusiones alcanzadas por los alumnos, dando respuesta a los objetivos de la práctica y, cuando menos, a los siguientes aspectos:

¿Deberían las representaciones deformación transversal/deformación longitudinal frente a la carga reflejar los mismos valores?¿A qué pueden deberse, si existen, las oscilaciones de los valores obtenidos?

¿Qué valor tomaría como valor experimental para el coeficiente de Poisson del material ensayado? ¿Por qué?

¿Qué valores experimentales, de entre los obtenidos, desecharía como valor del coeficiente de Poisson? ¿Por qué?

Nota final:
El documento contendrá sólo los nombres de los alumnos que hayan colaborado efectivamente en la ejecución de la práctica, a tal efecto se efectuará control de asistencia a las sesiones de laboratorio.

Castillo López, G. García Sánchez, F. López Taboada, C. Pedraza Rodríguez, C. (2014) Resistencia de Materiales. OCW-Universidad de Málaga. http://ocw.uma.es
Bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Spain