



MATRIX | STRUCTURES

Bending Stress



MATRIX

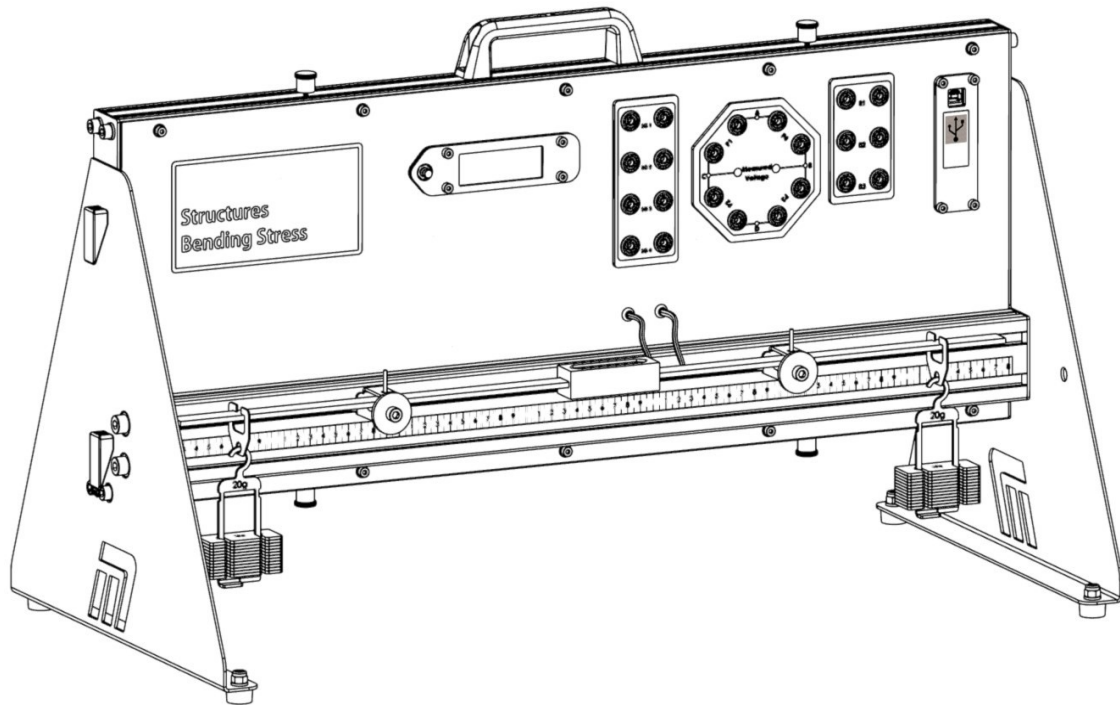
CP1877

www.matrixtsl.com

Copyright © 2021 Matrix Technology Solutions Limited

Esfuerzo de flexión

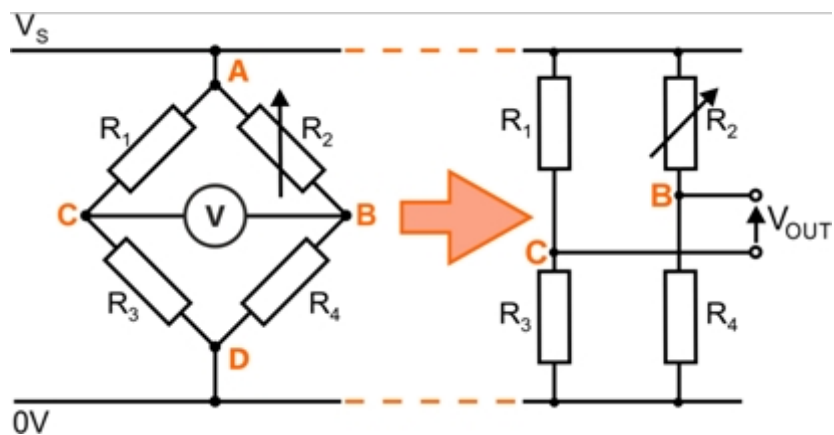
	Introducción	3
Ficha 1 -	El cuarto puente	7
Ficha 2 -	El medio puente	9
Ficha 3 -	El puente completo	11
Ficha 4 -	Predecir el resultado	13
	Folleto para el alumno	17



Antecedentes:

Comienza con el circuito del puente de Wheatstone. Inventado hacia 1840, este circuito, que debe su nombre al físico inglés Charles Wheatstone, permitía medir una resistencia eléctrica desconocida.

Consta de cuatro resistencias conectadas como dos divisores de tensión. Una de ellas, digamos R_1 es la resistencia desconocida. A continuación se muestran dos versiones del diagrama del circuito:



La resistencia variable, R_2 , se ajusta hasta que el puente está "equilibrado", es decir, la tensión de salida V_{OUT} es cero.

En estas condiciones:

la tensión en **C** = la tensión en **B**

En otras palabras,
$$\frac{V_s \times R_3}{R_1 + R_3} = \frac{V_s \times R_4}{R_2 + R_4}$$

o
$$\frac{R_3}{R_1 + R_3} = \frac{R_4}{R_2 + R_4}$$

dando lugar a la fórmula:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

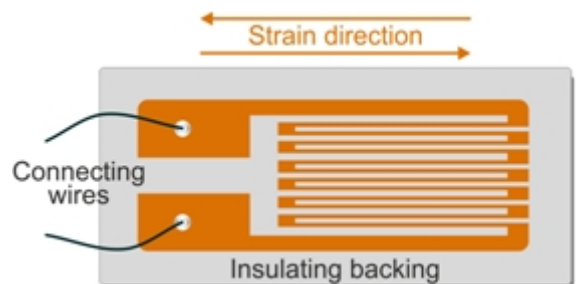
a partir del cual se puede obtener el valor de la resistencia desconocida.

Fondo

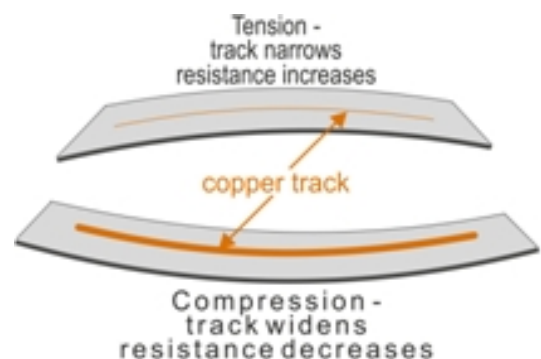
El circuito puede modificarse para convertirlo en un circuito de puente de galgas extensométricas.

Una galga extensométrica es un sensor cuya resistencia varía cuando se estira o comprime, es decir, sufre una deformación. Se utiliza mucho en ingeniería para medir fuerzas y pesos, por ejemplo en células de carga.

En el diagrama de al lado se muestra una forma de galga extensométrica.

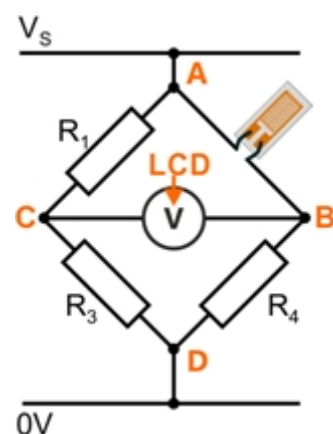


Dado que la resistencia de un conductor depende de su longitud y de su sección transversal, la resistencia de una galga extensométrica cambia cuando se deforma. Sin embargo, el cambio puede ser de sólo unos pocos puntos porcentuales de su resistencia nominal, por lo que se necesita un circuito puente que proporcione la precisión necesaria para controlarlo.



La galga extensométrica sustituye a una de las resistencias del circuito puente. La tensión de salida, que se muestra en la pantalla LCD, es una medida de la tensión que experimenta.

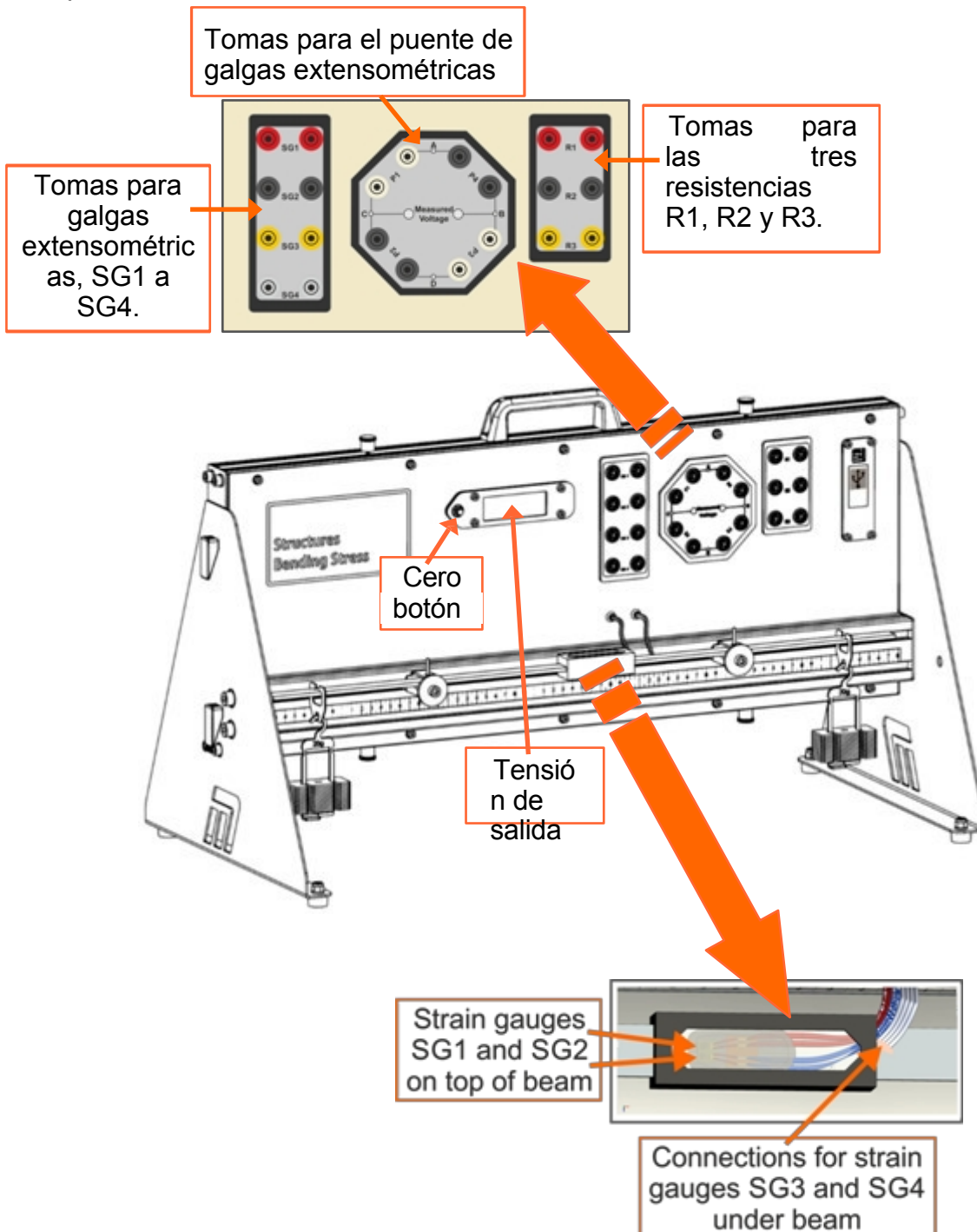
Típicamente, R_4 se elige para tener un valor igual a la resistencia de la galga extensométrica sin fuerza aplicada. Las otras dos resistencias (R_1 y R_3) son iguales. Por lo tanto, el puente estará equilibrado cuando la fuerza aplicada a la galga extensométrica sea cero.



El aparato:

consiste en una viga, apoyada en dos puntos, con un bloque de cuatro galgas extensométricas en su centro, dos pegadas en la parte superior de la viga y dos pegadas debajo.

El aparato está diseñado para funcionar con una alimentación de 5v. Esto significa que un cable USB conectado a un ordenador o a un enchufe será suficiente. El software de adquisición de datos sólo funciona a través del ordenador, por lo que la configuración recomendada es tener el USB enchufado al ordenador que está ejecutando el software. Sin embargo, si desea realizar el experimento sin el software, tendrá que conseguir un enchufe USB para el estilo de enchufe local correcto.



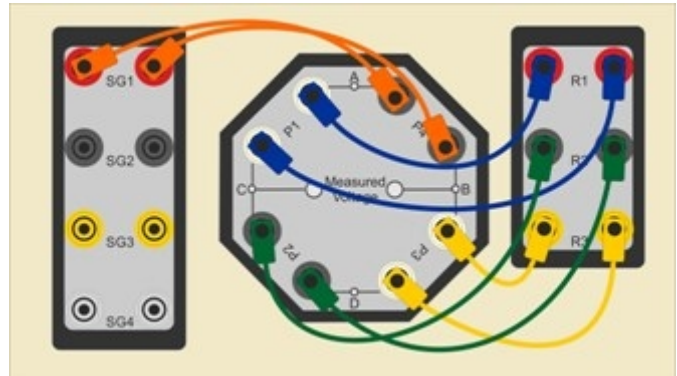
Ficha 1

El cuarto puente

El cuarto de puente es el tipo más sencillo de puente extensométrico.

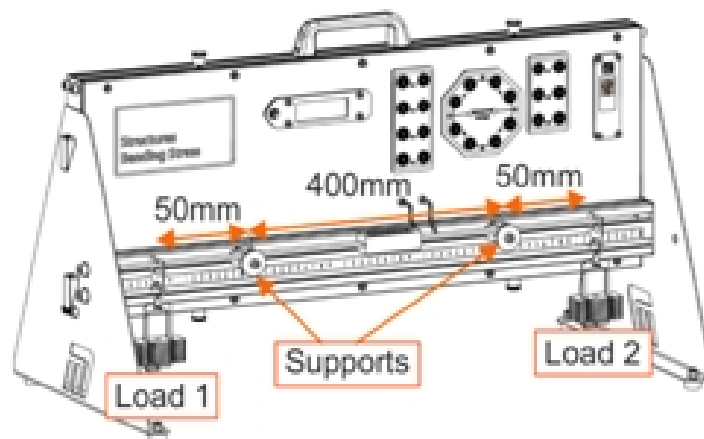
Es el que se muestra en el esquema del circuito al final de la página 5. Una de las cuatro resistencias del puente de Wheatstone se sustituye por una galga extensométrica.

La imagen de al lado muestra una forma de implementar esto.



Te toca a ti:

- Realiza las siguientes conexiones:
 - tomas **SG1** a **P4** de galgas extensométricas;
 - resistencia **R1** a las tomas **P1**;
 - resistencia **R2** a las tomas **P2**;
 - resistencia **R3** a las tomas **P3**.
- Encienda el equipo conectando el puerto USB situado en el extremo derecho del panel a un puerto de PC o a una fuente de alimentación enchufable, mediante el cable USB suministrado. Si se conecta a través de un puerto de PC, los datos pueden enviarse directamente a una hoja de cálculo.
- Como se muestra en el diagrama, los soportes se colocan a 400 mm de distancia. Coloque una placa de suspensión y una percha de masa vacía a 50 mm de cada soporte.



- Pulse el botón de la pantalla LCD para poner a cero el equipo. Esto elimina el peso de la viga y otros componentes en cálculos posteriores.

Ficha 1

El cuarto puente

A su disposición

- Añadir con cuidado una masa de 20 g a cada percha.
- Registre la lectura resultante de la pantalla LCD en la primera fila de la tabla del Student Handout o en una hoja de cálculo. (La pantalla LCD se vuelve verde una vez que la medición se ha estabilizado).
- Continúe así, añadiendo masas de 20 g a cada una de las perchas de masa y registrando las lecturas de la pantalla LCD cada vez, hasta una carga total máxima de 400 g (200 g en cada percha).
- Anota todos los resultados en el Student Handout o en una hoja de cálculo.
- Ahora, sustituya la galga extensométrica **SG1** por la **SG2** y repita el procedimiento.
- A continuación, haz lo mismo con las galgas extensométricas **SG3** y **SG4**.
- Trace gráficos de la lectura de la pantalla LCD frente a la carga **total** suspendida para las cuatro galgas extensométricas, en el mismo conjunto de ejes proporcionado en el Material para el alumno. Los resultados deben sugerir una relación de línea recta para cada gráfico.
- Responde a la pregunta sobre la polaridad de las lecturas de la célula de carga.

¿Y qué?

La configuración de cuarto de puente, con una sola galga extensométrica, proporciona información útil sobre la deformación, pero se limita a la deformación en una sola dirección.

Las galgas extensométricas se ven afectadas por los cambios de temperatura . Sus resistencias se dilatan o contraen. Como resultado, su resistencia cambia, afectando a la precisión de los resultados.

Otra limitación del cuarto de puente es que no puede compensar la temperatura.

Desafío:

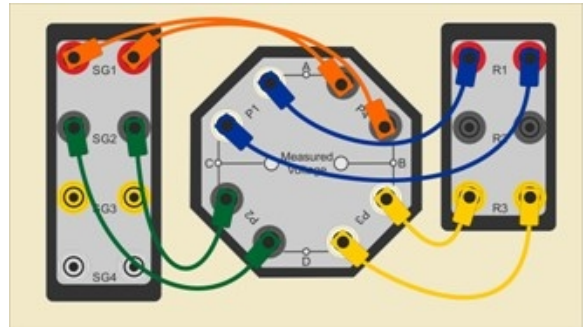
- Investiga qué ocurre cuando mueves la galga extensométrica **SG1** a cada una de las cuatro posiciones, **P1**, **P2**, **P3** y **P4**, sucesivamente, (manteniendo las resistencias en las otras tres posiciones del puente).
- Comenta tus conclusiones en el Student Handout.

Ficha 2

El medio puente

La siguiente configuración utiliza dos galgas extensométricas conectadas como se muestra en la red de puentes.

En aplicaciones reales, esta disposición ofrece una mayor sensibilidad a la tensión aplicada y proporciona compensación de temperatura.



Te toca a ti:

- Realiza las siguientes conexiones:
 - tomas **SG1** a **P4** de galgas extensométricas;
 - resistencia **R1** a las tomas **P1**;
 - tomas de galgas extensométricas **SG2** a **P2**;
 - resistencia **R3** a las tomas **P3**.

- La investigación refleja la de la ficha 1.

Después de poner a cero el LCD, se añaden masas ranuradas a los dos colgadores de masa, 20 g cada vez hasta un total de 400 g (200 g en cada uno). Se registran las lecturas resultantes de la pantalla LCD.

- Trace gráficos de la lectura del LCD frente a la carga **total** suspendida para el medio puente, en los ejes proporcionados en el Material para el Alumno. Una vez más, los resultados deben indicar una relación rectilínea.

Ficha 2

El medio puente

¿Y qué?

La red de medio puente ofrece una mayor sensibilidad a los esfuerzos de flexión. Las dos galgas extensométricas cambian de resistencia, duplicando la tensión de salida. (Puede comprobarlo comparando los gradientes de las gráficas del cuarto de novia y del medio puente).

La red de medio puente también permite compensar los cambios de temperatura. Ambas galgas extensométricas están sometidas a los mismos cambios de temperatura y ambas se dilatan o contraen por igual. Cuando se colocan en lados opuestos de la red de puentes, estos cambios se anulan.

La colocación de las galgas extensométricas en paralelo permite medir la tensión longitudinal, pero no la carga axial. Para ello, una galga extensométrica se coloca en ángulo recto con respecto a la otra.

Desafío:

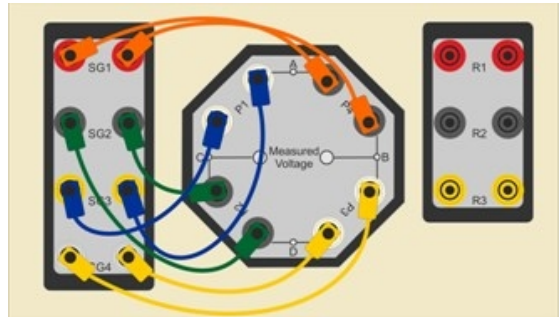
- Investiga el efecto de colocar las galgas extensométricas **SG1** y **SG2** en otras posiciones alrededor de la red de puentes.
- Comenta tus conclusiones en el Student Handout.

Ficha 3

El puente completo

La siguiente configuración utiliza las cuatro galgas extensométricas (y ninguna resistencia) conectadas como se muestra en lo que se conoce como una red de puente completo.

Su ventaja es una mayor sensibilidad.



Te toca a ti:

- Realiza las siguientes conexiones:
 - tomas **SG1** a **P4** de galgas extensométricas;
 - galgas extensométricas **SG3** a tomas **P1**;
 - tomas de galgas extensométricas **SG2** a **P2**;
 - tomas **SG4** a **P3** de galgas extensométricas.
- Una vez más, el procedimiento es el mismo que el de la ficha 1.

Después de poner a cero el LCD, se añaden masas ranuradas a los dos colgadores de masa, 20 g cada vez hasta un total de 400 g (200 g en cada uno). Se registran las lecturas resultantes de la pantalla LCD.

- Trace gráficos de la lectura del LCD frente a la carga **total** suspendida para el puente completo, en los ejes proporcionados en el Material para el Alumno.

Una vez más, los resultados deberían indicar una relación rectilínea.

Ficha 3

El puente completo

¿Y qué?

El puente completo tiene una señal de salida aún mayor, duplicando la sensibilidad del medio puente.

Las cuatro galgas extensométricas están sometidas a los mismos cambios de temperatura y el efecto de la temperatura sobre la tensión de salida del puente se reduce aún más.

El inconveniente de la red de puentes completos puede ser su tamaño. En algunas situaciones, puede no ser posible fijar cuatro galgas extensométricas en la zona adecuada de la estructura.

Desafío:

- Observa los gráficos de las hojas de ejercicios 1, 2 y 3 para el rendimiento de cuarto de puente, medio puente y puente completo.

Estima los gradientes de cada uno y completa la tabla del Student Handout con tus resultados.

- Estos resultados permiten comparar las sensibilidades de los tres tipos de red de puentes. Comenta tu comparación en el Student Handout.

Ficha 4

Predecir el resultado

La medición de los efectos de los esfuerzos de flexión en equipos prácticos puede ser directa, real e inmediata.

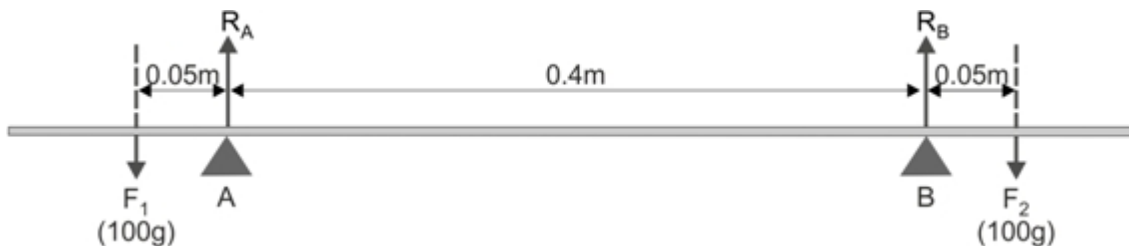
Sin embargo, es tranquilizador poder confirmar los resultados a través de la teoría.

El proceso implica la aplicación de conceptos y fórmulas estándar de ingeniería mecánica



Las únicas fuerzas que actúan sobre la viga son las reacciones R_A y R_B en los apoyos y los dos pesos F_1 y F_2 en las masas suspendidas.

Este es el diagrama de cuerpo libre para el sistema cuando la carga total sobre la viga es de 200g.



Utilizando $F = m \times g$

donde F = fuerza de gravedad

sobre un cuerpo, m = su

masa (= 0,1kg)

g = fuerza del campo gravitatorio (= $9,8\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$)

$$F_1 = F_2 = 0.1 \times 9.8 = 0.98\text{N}$$

El sistema está en equilibrio.

Por lo tanto, deben cumplirse las siguientes condiciones:

1. la suma de las fuerzas verticales es cero;
2. la suma de las fuerzas horizontales es cero (pero aquí no hay fuerzas horizontales);
3. la suma de los momentos de fuerzas alrededor de cualquier punto es cero.

Ficha 4

Predecir el resultado

La **condición 1** nos da la ecuación

$$R_A + R_B = F_1 + F_2 = 0,98 + 0,98 = 1,96N$$

Aplicar la **condición 3**:

Tomar momentos sobre el apoyo **A**:

$$F_2 \times 0,45 = (F_1 \times 0,05) + (R_B \times 0,4)$$
$$0,98 \times 0,45 = (0,98 \times 0,05) + (R_B \times 0,4)$$

$$R_B = 0,98N$$

De la condición 1:

$$R_A = 1,96 - R_B = 0,98N$$

A continuación, calculamos los **momentos flectores** M_A y M_B en los apoyos **A** y **B**.

En el apoyo **A**: $M_A + F_1 \times 0,05 = 0$

$$M_A = -0,98 \times 0,05 = -0,049Nm$$

Como la viga está en equilibrio, a éste se opone un momento flector igual en el apoyo **B**.

Por lo tanto:

$$M_B = +0,049Nm$$

La **deformación máxima** de la viga, δ_{max} , viene dada por la fórmula:

$$\delta_{max} = \frac{M \times L^2}{8 \times E \times I}$$

donde **M** = momento flector (= 0,049Nm)

L = distancia entre apoyos (= 0,4 m)

E = módulo de Young (= 73GPa)

I = segundo momento de inercia de la viga (= $6,914 \times 10^{-11} m^4$)

$$\delta_{max} = \frac{0,049 \times 0,4^2}{8 \times 73 \times 10^9 \times 6,914 \times 10^{-11}}$$
$$= 0,19 \text{ mm}$$

Ficha 4

Predecir el resultado

A continuación, utilizando la fórmula para la **tensión**, σ :

$$\sigma = \frac{M \times y}{I} \text{ donde } y = \text{distancia del eje neutro} = 0,00185\text{m}$$

En este caso, y es igual a la mitad de la altura de la viga, que es de 3,7 mm.

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{0,049 \times 0,00185}{6.914 \times 10^{-11}} \\ &= 1,31 \text{ MPa} \end{aligned}$$

A partir de la definición del módulo de Young, la **tensión de tracción** $\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{1.31 \times 10^6}{73 \times 10^9}$

$$= 1.8 \times 10^{-5}$$

Por definición, **el factor de galga extensométrica**, **GF**, es la relación entre el cambio relativo de la resistencia eléctrica a la tensión mecánica,

es decir

$$GF = \frac{\Delta R / R}{\epsilon}$$

Las galgas extensométricas utilizadas en este aparato tienen un factor de galga de 2,03 y una resistencia de 350Ω. Por lo tanto, el **cambio en la resistencia**, ΔR , que se espera de la tensión aplicada σ es:

$$\Delta R = \epsilon \times R \times GF = 1,8 \times 10^{-5} \times 350 \times 2,03 = 0,013\Omega$$

Ficha 4

Predecir el resultado

Bajo esta tensión, la galga extensométrica tendrá entonces una resistencia, R_{SG} de

$$R_{SG} = (350 + 0,013) = 350,013\Omega.$$

Está en serie con una resistencia de 350Ω , R y juntos comparten la fuente de

alimentación de 5V. Sin tensión aplicada, $V_{OUT} = 2.5V$

Cuando se aplica el esfuerzo de flexión, la tensión de salida cambia a

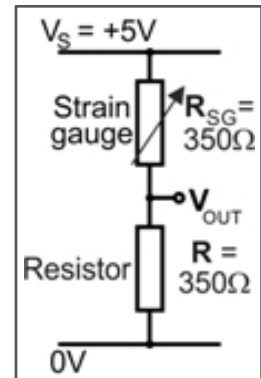
$$V'_{OUT} = V_S \times R / (R + R_{SG}) = 5 \times 350 / (350 + 350,013) \\ = 2.49995V$$

El **cambio en el voltaje de salida, ΔV** , causado por el esfuerzo de flexión viene dado por:

$$\Delta V = (2,5 - 2,49995) = 0,00005V = 0,05mV$$

Desafío:

- Repita estos pasos para cargas totales de 80 g y 320 g para calcular el cambio teórico en la lectura del LCD para estas cargas.
- Completa la tabla del Student Handout con tus resultados.
- Compara estos resultados con los obtenidos experimentalmente en la ficha 1.
- Comente esta comparación y la importancia de los errores de lectura en el Student Handout.



Folleto para el alumno

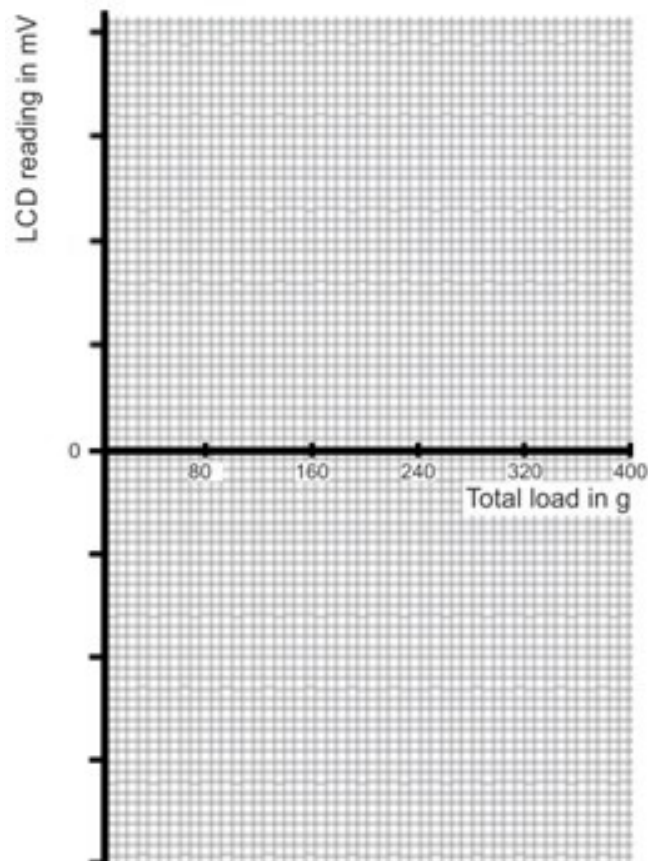
Folleto para el alumno

Ficha 1 - El cuarto de puente

Masa total en g	Lectura LCD en mV			
	SG1	SG2	SG3	SG4
40				
80				
120				
160				
200				
240				
280				
320				
360				
400				

Gráfico de lectura LCD frente a carga total:

Represente los resultados de las cuatro galgas extensométricas en el mismo conjunto de ejes. Elige una escala adecuada para el eje "Lectura LCD".



Folleto para el alumno

Ficha 1

¿Por qué cambia la polaridad de lectura de la pantalla LCD en algunas de las galgas extensométricas?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Desafío:

¿Qué ocurre cuando conectas **la** galga extensométrica **SG1** en cada una de las cuatro posiciones alrededor de la red de puentes?

Comente sus conclusiones.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

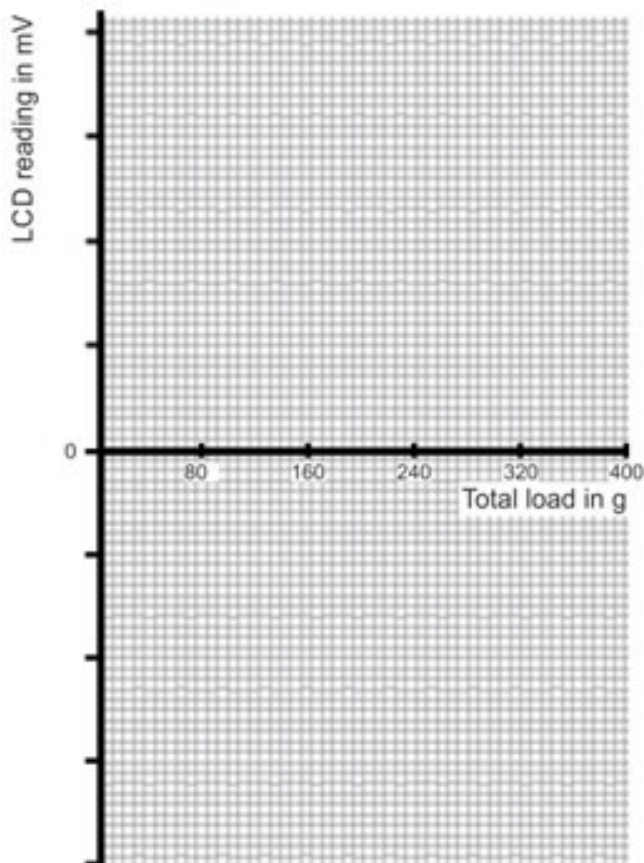
Folleto para el alumno

Ficha 2 - El medio puente

Masa total en g	Lectura LCD en mV
40	
80	
120	
160	
200	
240	
280	
320	
360	
400	

Gráfico de lectura LCD frente a carga total:

Traza tus resultados para el medio puente en los ejes de abajo. Elige una escala adecuada para el eje "Lectura LCD".



Folleto para el alumno

Ficha 3 - El puente completo

Masa total en g	Lectura LCD en mV
40	
80	
120	
160	
200	
240	
280	
320	
360	
400	

Gráfico de lectura LCD frente a carga total:

Traza tus resultados para el puente completo en los ejes de abajo. Elige una escala adecuada para el eje "Lectura LCD".

