



MATRIX | STRUCTURES

Bending Stress



MATRIX

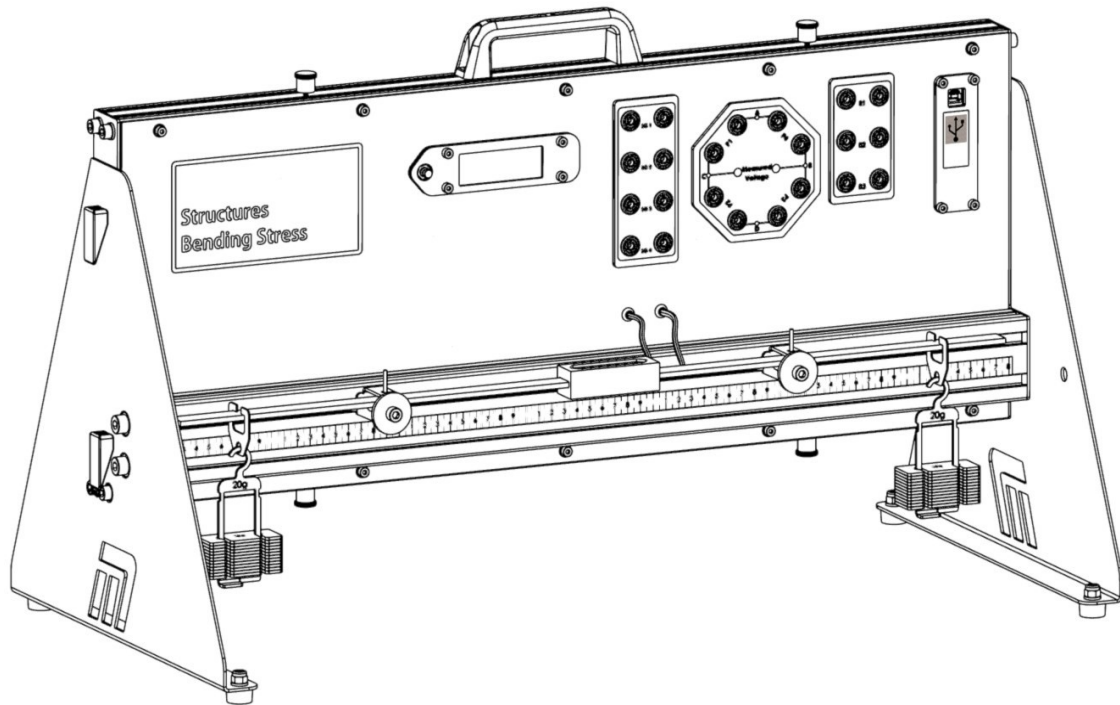
CP1877

www.matrixtsl.com

Copyright © 2021 Matrix Technology Solutions Limited

Esfuerzo de flexión

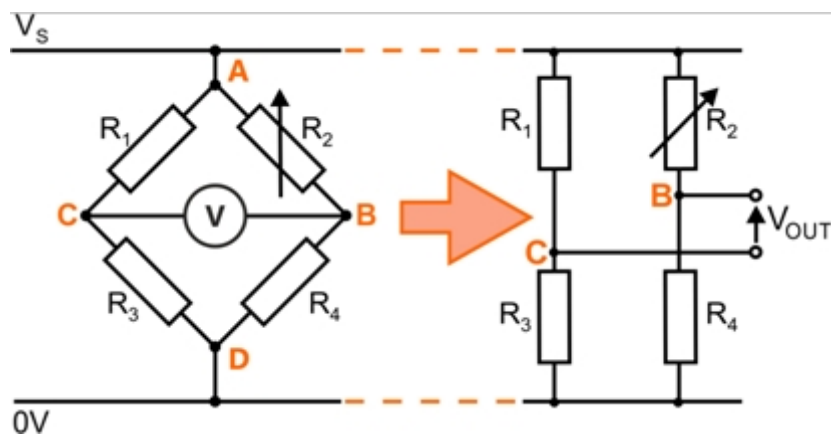
	Introducción	3
Ficha 1 -	El cuarto puente	7
Ficha 2 -	El medio puente	9
Ficha 3 -	El puente completo	11
Ficha 4 -	Predecir el resultado	13
	Folleto para el alumno	17
	Notas para el instructor	25



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:

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

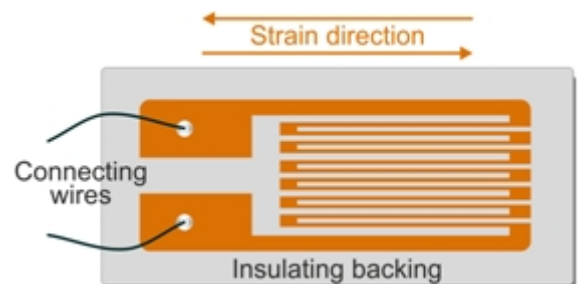
a partir del cual se puede obtener el valor de la resistencia desconocida.

Fondo

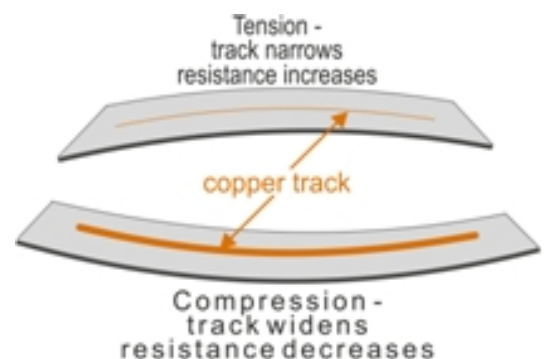
El circuito puede modificarse para convertirlo en un circuito de puente de galgas extensométricas.

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.

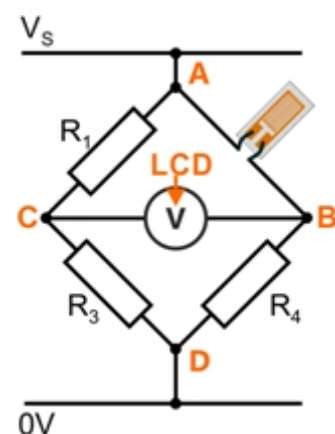


Dado que la resistencia de un conductor depende de su longitud y de su sección transversal, la resistencia de una galga extensométrica cambia cuando se deforma. Sin embargo, el cambio puede ser de sólo unos pocos puntos porcentuales de su resistencia nominal, por lo que se necesita un circuito puente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

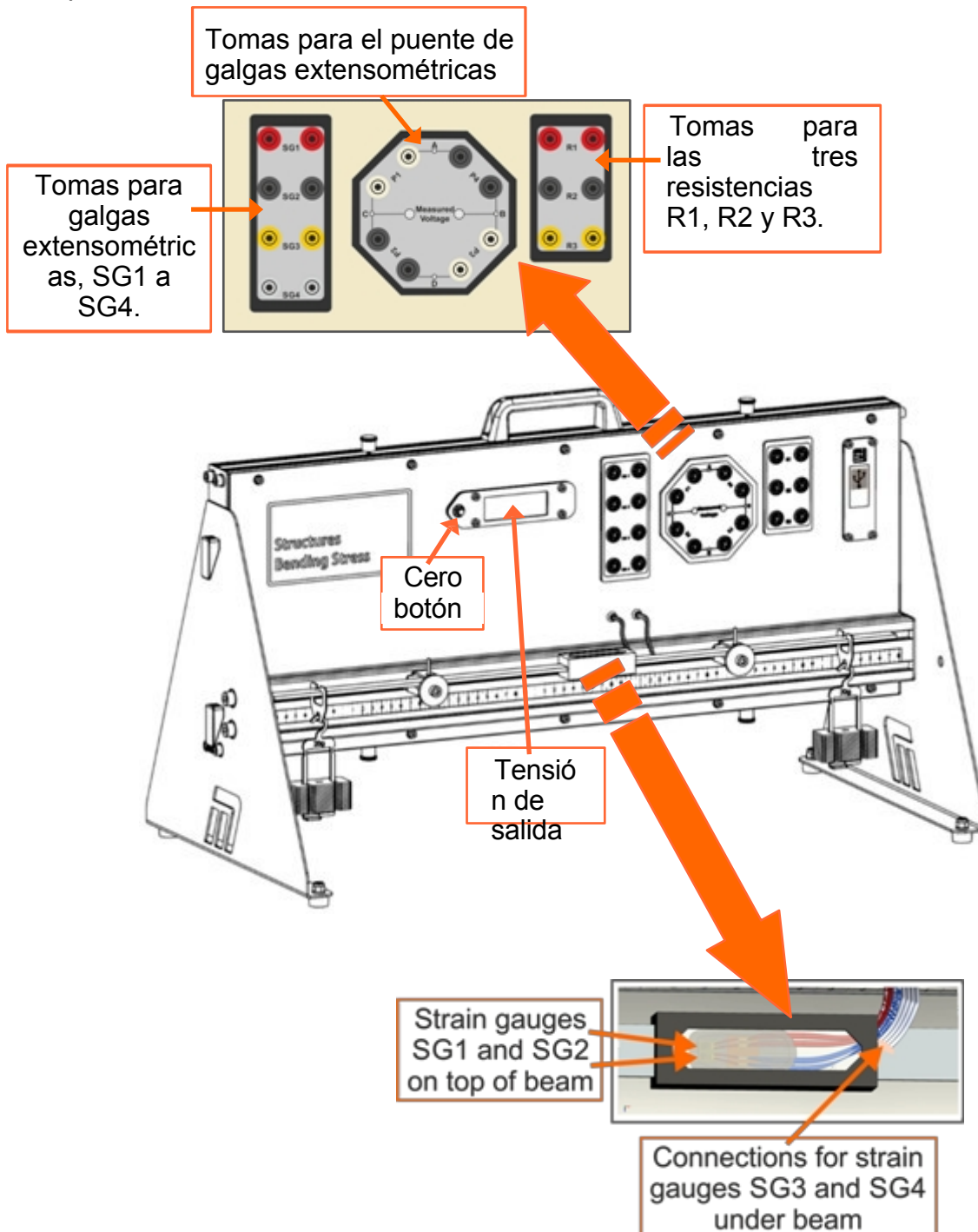
Típicamente, R_4 se elige para tener un valor igual a la resistencia de la galga extensométrica sin fuerza aplicada. Las otras dos resistencias (R_1 y R_3) son iguales. Por lo tanto, el puente estará equilibrado cuando la fuerza aplicada a la galga extensométrica sea cero.



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.



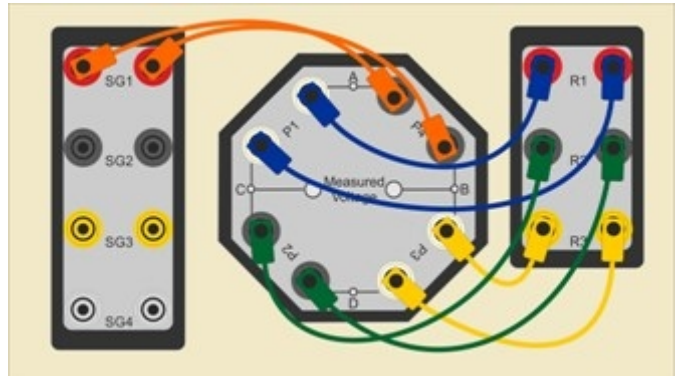
Ficha 1

El cuarto puente

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

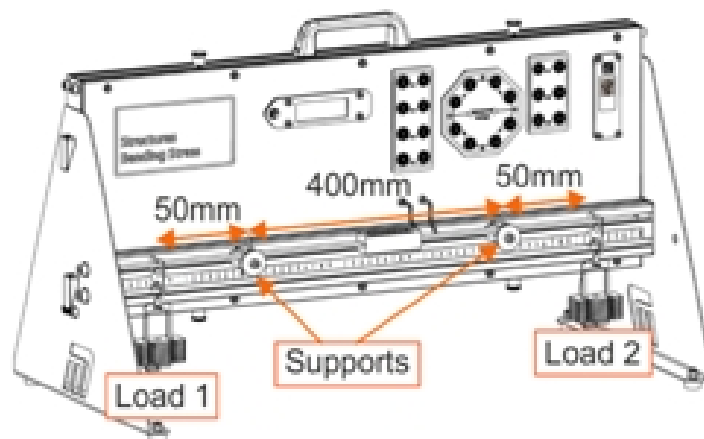
Es el que se muestra en el esquema del circuito al final de la página 5. Una de las cuatro resistencias del puente de Wheatstone se sustituye por una galga extensométrica.

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:

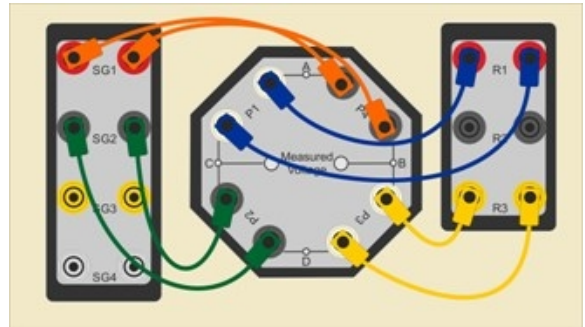
- Investiga qué ocurre cuando mueves la galga extensométrica **SG1** a cada una de las cuatro posiciones, **P1**, **P2**, **P3** y **P4**, sucesivamente, (manteniendo las resistencias en las otras tres posiciones del puente).
- Comenta tus conclusiones en el Student Handout.

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:

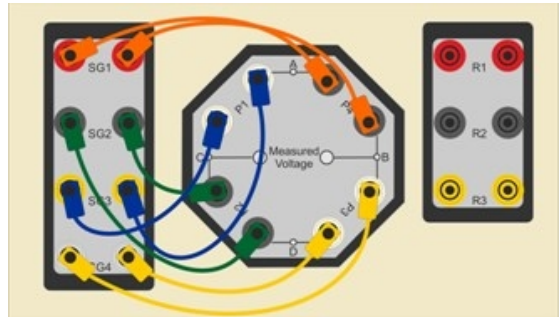
- Investiga el efecto de colocar las galgas extensométricas **SG1** y **SG2** en otras posiciones alrededor de la red de puentes.
- Comenta tus conclusiones en el Student Handout.

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.

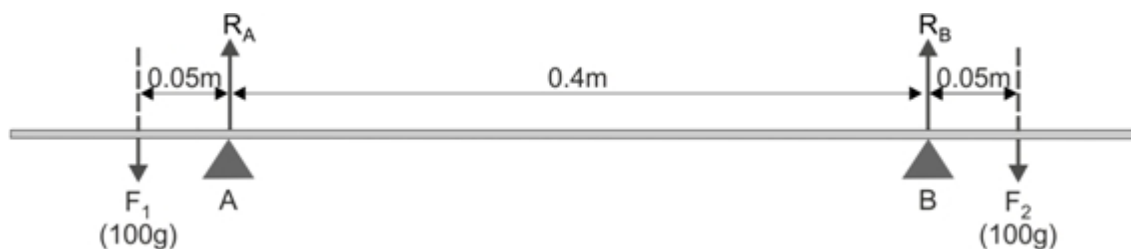
Sin embargo, es tranquilizador poder confirmar los resultados a través de la teoría.

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

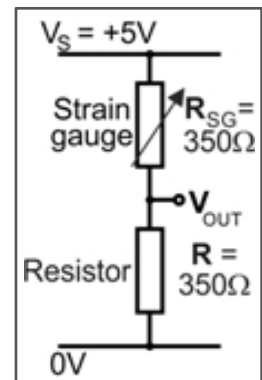
$$V'_{OUT} = V_S \times R / (R + R_{SG}) = 5 \times 350 / (350 + 350,013) \\ = 2.49995V$$

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

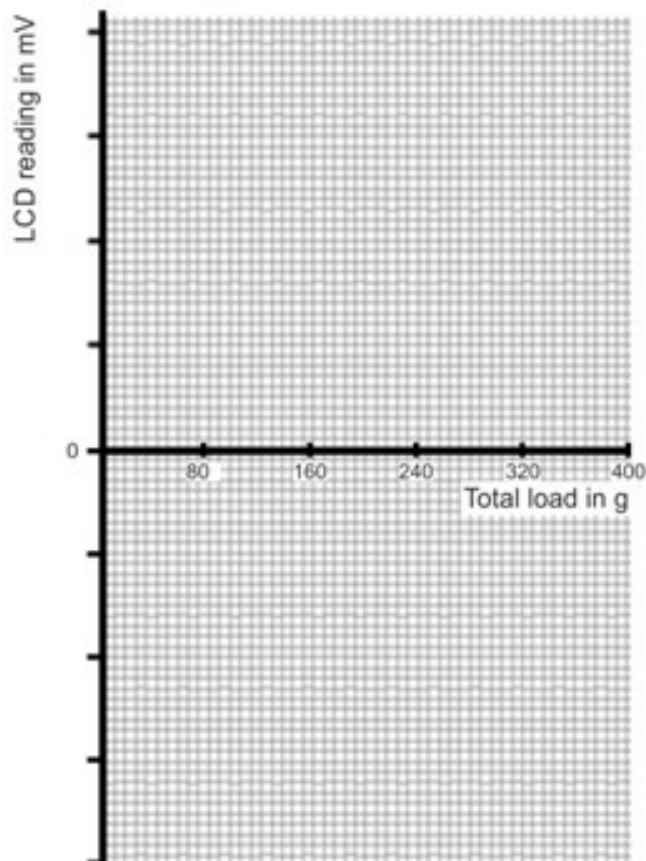
Folleto para el alumno

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.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

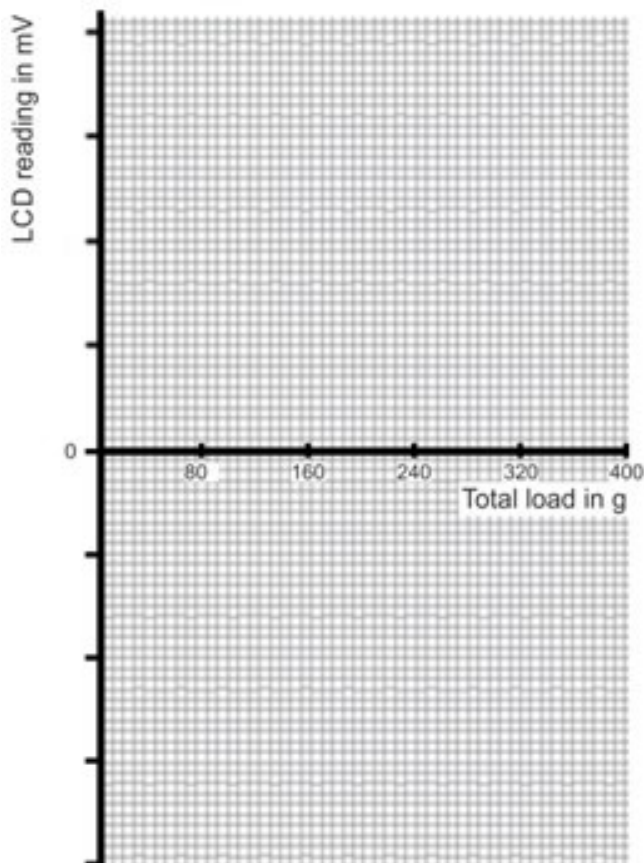
Folleto para el alumno

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 2 Desafío:

- ¿Qué ocurre si conectas las galgas extensométricas **SG1** y **SG2** en otras posiciones alrededor de la red de puentes?

Comente sus conclusiones.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

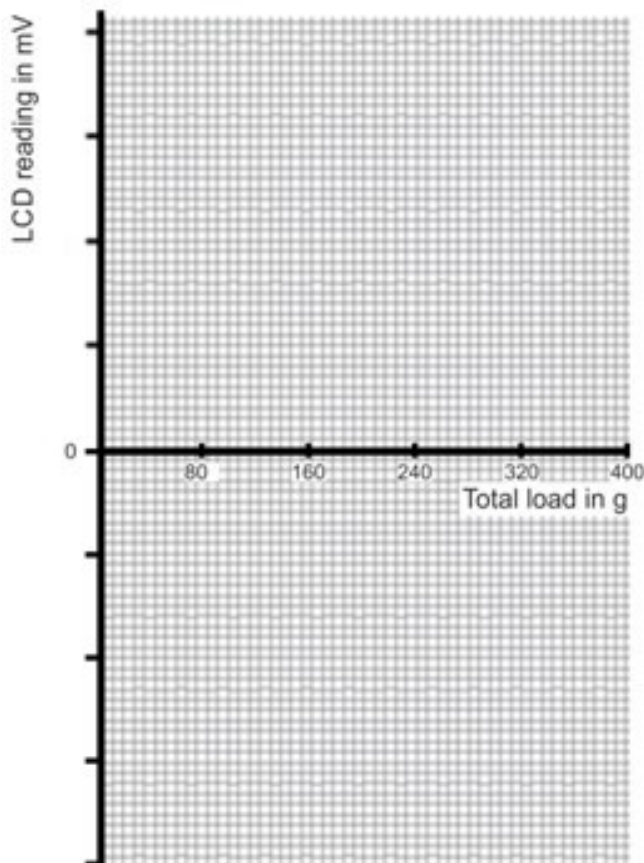
Folleto para el alumno

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".



Folleto para el alumno

Ficha 3

Desafío:

Estima los gradientes de las gráficas obtenidas en las hojas de ejercicios 1, 2 y 3.

Red	Gradiente de la lectura LCD frente al gráfico de carga en $mV g^{-1}$
Cuarto de puente	
Medio puente	
Puente completo	

Utiliza estos gradientes para comparar las sensibilidades de las tres redes. Comenta tus conclusiones.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Folleto para el alumno

Ficha 4 - Predecir el resultado

Desafío:

Valores calculados del cambio en la lectura del LCD producido por tres valores de carga:

Masa total en g	Cambio en la lectura LCD en mV
80	
200	
320	

Utiliza estos gradientes para comparar los valores teóricos y medidos de estas cargas. Comenta tus conclusiones.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Notas para el Instructor

Sobre este curso

Introducción

El módulo "Estructuras - Esfuerzos de flexión" introduce a los estudiantes en el uso de tres tipos de puente extensométrico para examinar los resultados de aplicar una carga a una viga.

Utilizando el kit, los alumnos completan una serie de hojas de trabajo que se centran en una serie de temas que se encuentran en el BTEC Higher National y cursos equivalentes. Al principio, estas hojas de trabajo proporcionan todos los detalles de las investigaciones. Con el tiempo, ese "andamiaje" se reduce, animando a los alumnos a demostrar sus conocimientos y comprensión en situaciones nuevas.

Objetivo

El curso enseña a los estudiantes las relaciones entre las cargas aplicadas y el esfuerzo de flexión resultante.

Conocimientos previos

Se espera que los estudiantes hayan seguido un curso introductorio de ciencias que les permita tomar, registrar y analizar observaciones científicas. Se requiere cierta capacidad matemática: capacidad para tomar lecturas de una escala analógica, capacidad para comprender la transposición de fórmulas, capacidad para utilizar una calculadora para realizar cálculos y capacidad para trazar un gráfico.

Usando este curso:

Se espera que las hojas de trabajo y el Student Handout se impriman / fotocopien, preferiblemente en color, para uso de los alumnos.

El Student Handout es un registro de las medidas tomadas en cada hoja de trabajo y preguntas relacionadas con

para ellos. Los estudiantes no necesitan una copia permanente de las hojas de trabajo, pero sí necesitan su propia copia del Student Handout.

Este formato fomenta el autoaprendizaje y permite a los alumnos trabajar al ritmo que mejor se adapte a sus capacidades. Corresponde al profesor comprobar que los alumnos comprenden las fichas a medida que las van completando. Una forma de hacerlo es "firmar" cada hoja de trabajo, a medida que el alumno la completa, y en el proceso tener una breve charla para evaluar la comprensión del alumno de las ideas involucradas en los ejercicios que contiene.

Somos conscientes de que usted, como profesional de la materia, es quien determina cómo y qué aprenden los alumnos. Las hojas de trabajo no pretenden suplantar estos u otros conocimientos de apoyo que decida impartir.

Para los expertos en la materia, las "Notas para los instructores" se proporcionan simplemente para revelar el pensamiento que subyace al enfoque adoptado. Para el personal cuyo conocimiento básico de la materia no pertenezca al ámbito cubierto por el curso, estas notas pueden servir tanto de aclaración como de orientación.

Hora:

Los alumnos tardarán entre tres y cinco horas en completar las hojas de trabajo. Se necesitará un periodo de tiempo similar para apoyar el aprendizaje resultante.

Objetivos de aprendizaje

Al finalizar con éxito este curso, el alumno será capaz de:

- Dibuja el esquema de un puente de Wheatstone;
- derivar la fórmula que relaciona las resistencias que se encuentran en el puente de Wheatstone;
- explicar qué se entiende por puente "equilibrado";
- describen la estructura de un tipo de galga extensométrica resistiva;
- explicar los cambios de resistencia que se producen cuando una galga extensométrica de este tipo se somete a un esfuerzo de flexión;
- dibuje el esquema de los siguientes tipos de puente de galgas extensométricas:
 - cuarto de puente;
 - medio puente;
 - puente completo.
- conectar galgas extensométricas y resistencias para crear estos tipos de puente de galgas extensométricas;
- indique dos ventajas de la red de medio puente y puente completo sobre la red de cuarto de puente;
- explicar la necesidad de "poner a cero" la pantalla LCD antes de tomar lecturas;
- explicar por qué algunas lecturas de la tensión de salida son positivas mientras que otras son negativas;
- Dibuja un diagrama de cuerpo libre para representar las fuerzas que actúan sobre la viga en este aparato;
- enumera tres consecuencias de que la viga esté en equilibrio;
- calcular el momento de una fuerza alrededor de algún punto del aparato;
- utilizar las condiciones de equilibrio y el principio de los momentos para obtener los valores de los momentos flectores en los dos apoyos de la viga;
- utiliza las siguientes fórmulas para obtener una estimación teórica de la salida del cuarto de puente:

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

- $$\sigma = \frac{M \times y}{I}$$

- $$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

- $$\Delta R = \epsilon \times R \times GF$$

Notas para el instructor

Hoja de trabajo	Notas
<p>Introducción</p> <p>Calendario 15 - 20 minutos</p>	<p>Conceptos implicados: Puente de Wheatstone divisor de tensión galga extensométrica factores que afectan a la resistencia de un conductor</p> <p>La introducción comienza con el puente de Wheatstone. Los estudiantes con una formación limitada en teoría eléctrica pueden necesitar ayuda para comprender la red del puente. Considerarlo como dos divisores de tensión puede ayudar. La idea de un puente equilibrado puede requerir más explicaciones. Los alumnos deben comprender que la tensión de salida del puente se muestra en la pantalla LCD.</p> <p>El profesor puede explicar los factores que influyen en la resistencia de un conductor (longitud, sección transversal, etc.) al introducir el funcionamiento de las galgas extensométricas. Algunos alumnos pueden necesitar ejemplos numéricos para ilustrar el funcionamiento del puente de galgas extensométricas.</p> <p>Una visión general de la disposición del aparato puede reducir el número de errores de conexión posteriores.</p>
<p>1 El trimestre puente</p> <p>Cronometraje 30 - 45 minutos</p>	<p>Conceptos implicados: cuarto puente resistencia y temperatura masa pesointensidad del campo gravitatorio</p> <p>El primer obstáculo es el cableado correcto de la red de puentes. Si no se ha hecho, previamente, el instructor debe señalar la posición de las galgas extensométricas en la viga, ya que los alumnos necesitan esta información para resolver la respuesta a la pregunta planteada sobre la polaridad de la medición y para dar sentido a los resultados del desafío.</p> <p>El eterno problema es la distinción entre masa y peso. Los instructores deben insistir en que los términos no pueden utilizarse indistintamente.</p> <p>Los instructores pueden comprobar que los alumnos comprenden el significado de la carga total.</p>
<p>2 La mitad puente</p> <p>Cronometraje 30 - 45 minutos</p>	<p>Conceptos implicados: medio puente sensibilidad carga longitudinal frente a carga axial</p> <p>Los instructores deben comprobar el cableado del puente para asegurarse de que las galgas extensométricas están conectadas en diferentes brazos del puente.</p> <p>Los alumnos no reciben instrucciones paso a paso para esta investigación, sino que simplemente se les dice que "es como la de la ficha 1". Se espera que sean capaces de hacerlo.</p> <p>La cuestión de la dirección de la carga se plantea en el resumen y puede necesitar más refuerzo por parte del instructor.</p>

Notas para el instructor

Hoja de trabajo	Notas
<p>3</p> <p>El puente completo</p> <p>Cronometraje 40 - 60 minutos</p>	<p>Conceptos implicados: puente completo</p> <p>La tarea de cableado es realmente más sencilla para este circuito. No importa qué galga extensométrica se conecte y en qué posición.</p> <p>Al igual que en la ficha 2, los alumnos no reciben instrucciones paso a paso, sino simplemente que es el mismo que en la hoja de trabajo 1.</p> <p>El reto consiste en comparar las sensibilidades de los tres tipos de circuito de puente de galgas extensométricas. Esto podría hacerse como una presentación en grupo a la clase.</p>
<p>4</p> <p>Predecir el resultado</p> <p>Cronometraje 40 - 60 minutos</p>	<p>Conceptos implicados:</p> <ul style="list-style-type: none"> diagrama de equilibrio de cuerpo libre momento de una fuerza módulo Young segundo momento de inercia tensión de tracción deformación por tracción factor de deformación fórmula del divisor de tensión <p>El proceso de obtención de los valores teóricos de la tensión de salida consta de varias etapas y es complicado. No se espera que los alumnos lo recuerden de memoria, pero sí que sean capaces de seguirlo en los apuntes.</p> <p>Las etapas se indican en negrita y los resultados en recuadros rojos.</p> <p>El reto consiste en calcular la tensión de salida teórica para otros dos valores de carga. Si los alumnos han utilizado una hoja de cálculo, merece la pena pedirles que obtengan salidas teóricas para todos los valores de carga.</p>