



**MATRIX** | STRUCTURES

## Arco de dos y tres clavijas



**MATRIX**

CP4922

[www.matrixtsl.com](http://www.matrixtsl.com)

Copyright 2024 Matrix Technology Solutions Limited

	Introducción	3
Ficha 1	Efecto de la posición del punto de carga arco de dos pilares arco de tres pivotes	6
Ficha 2	Efecto del UDL arco de dos clavijas arco de tres pivotes	9
Ficha 3	Efecto de la mitad de UDL arco de dos clavijas arco con tres clavijas	10
	Material para el alumno	15



Los arcos se han utilizado para sostener puentes durante siglos. El puente de Zhaozhou, mostrado arriba, data del año 605 d.C.

Ofrecen una serie de ventajas para la construcción de puentes. Por ejemplo, por la misma cantidad de material, puede tener mayor luz y soportar más peso que un puente de viga plana.



Los puentes de arco se construyen como arco fijo, arco de dos pernos (articulado) o arco de tres pernos. arco (abatible).

- El arco fijo se utiliza sobre todo para vanos relativamente cortos, normalmente contruidos en hormigón.
- El arco de dos pernos se utiliza para salvar vanos más largos y permite que la estructura se mueva con mayor libertad.
- El arco de tres pivotes suele tener un pivote adicional situado en su centro, lo que le permite una libertad de movimiento aún mayor para compensar, por ejemplo, los efectos de los cambios de temperatura.

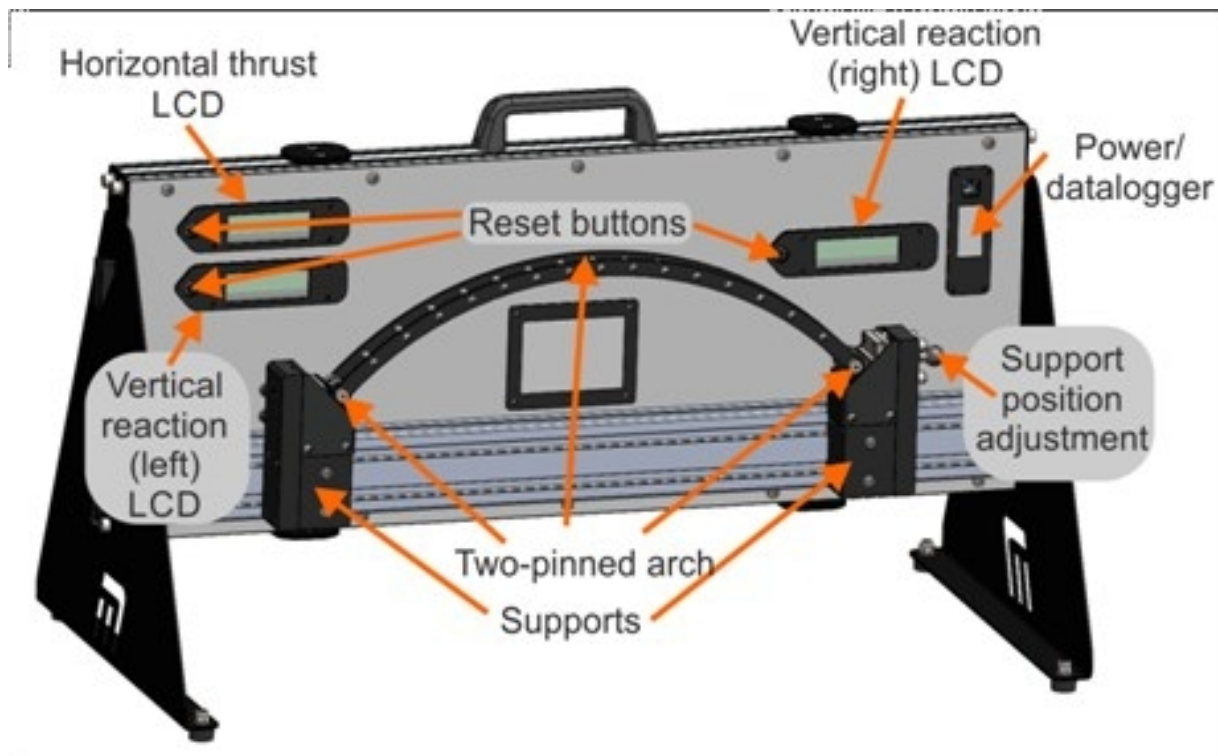
## Arco de dos y tres clavijas

Este módulo examina los factores que afectan al diseño de los arcos. Éstos se encuentran soportando una amplia gama de objetos, desde tableros de puentes hasta aberturas en muros y bancos de parques. Su principal ventaja estructural sobre una viga recta es que pueden soportar cargas mucho mayores.

El kit permite a los estudiantes aplicar cargas a un arco circular de dos pivotes y a un arco circular de tres pivotes, con el fin de explorar las fuerzas resultantes en los apoyos.

Por ejemplo, pueden desplazar una carga concentrada a lo largo de la luz del arco o aplicar tipos de UDL y medir las fuerzas resultantes, lo que permitirá comparar valores teóricos y experimentales. Aunque no lo parezca, al desplazar la carga de un peldaño a otro aumenta el desplazamiento horizontal de la carga en 25 mm cada vez.

El siguiente diagrama identifica los principales componentes del equipo.



Dos células de carga, conectadas a pantallas LCD, miden la fuerza de reacción vertical,  $V_L$  y el empuje horizontal,  $H$ , producidos en el extremo izquierdo del kit. En el extremo derecho, una disposición similar muestra la fuerza de reacción vertical,  $V_R$ . (Como el arco está en equilibrio, en este extremo se aplica al arco un empuje horizontal igual pero opuesto).

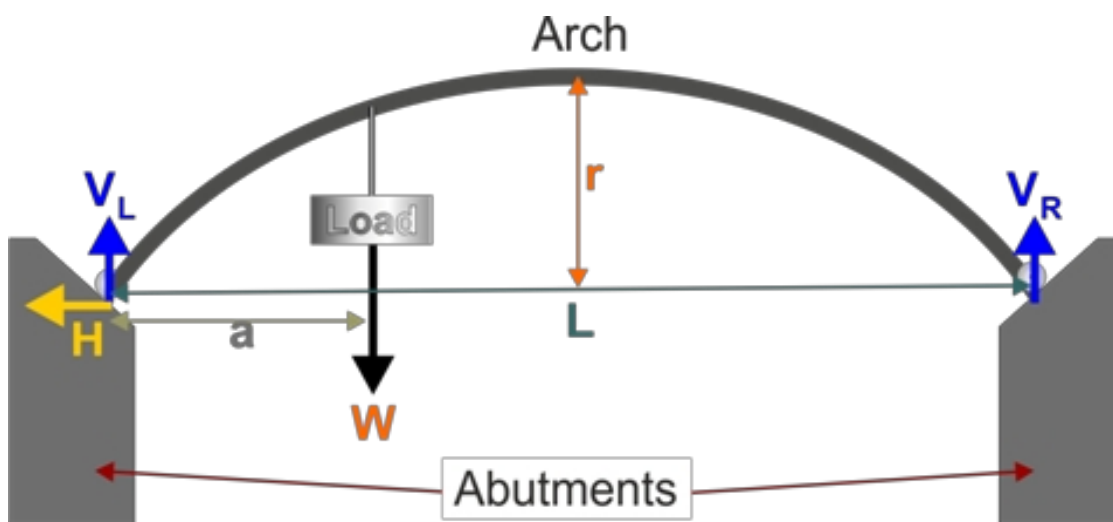
La posición horizontal del soporte derecho puede modificarse mediante el tornillo de ajuste situado en el soporte del extremo.

## Arco de dos y tres clavijas

### Toma de medidas:

Internamente, las células de carga se controlan mediante un software que incluye una función de sensibilidad. Si la sensibilidad es demasiado baja, las lecturas fluctuarán debido al ruido eléctrico del sistema. Si se ajusta demasiado alta, las células de carga se vuelven insensibles a los cambios en la carga.

Por tanto, el ajuste utilizado para la sensibilidad es un compromiso. El aumento de la carga en una pequeña cantidad puede no producir un cambio en la lectura de la pantalla LCD si es menor que el "paso" de sensibilidad. Para solucionar este problema, presione suavemente la parte superior del arco hasta que cambie la lectura de la pantalla LCD. Cuando suelte esta presión, la lectura mostrará el nuevo valor verdadero de carga.



### Clave de los símbolos:

- $a$  = distancia horizontal desde el pasador izquierdo hasta el punto de suspensión en mm
- $H$  = empuje horizontal medido en el apoyo izquierdo en g
- $V_L$  = fuerza de reacción vertical medida en el apoyo izquierdo en g
- $V_R$  = fuerza de reacción vertical medida en el apoyo derecho en g
- $W$  = carga aplicada
- $L$  = luz del arco= 400mm
- $r$  = altura del arco= 85mm

# Ficha 1

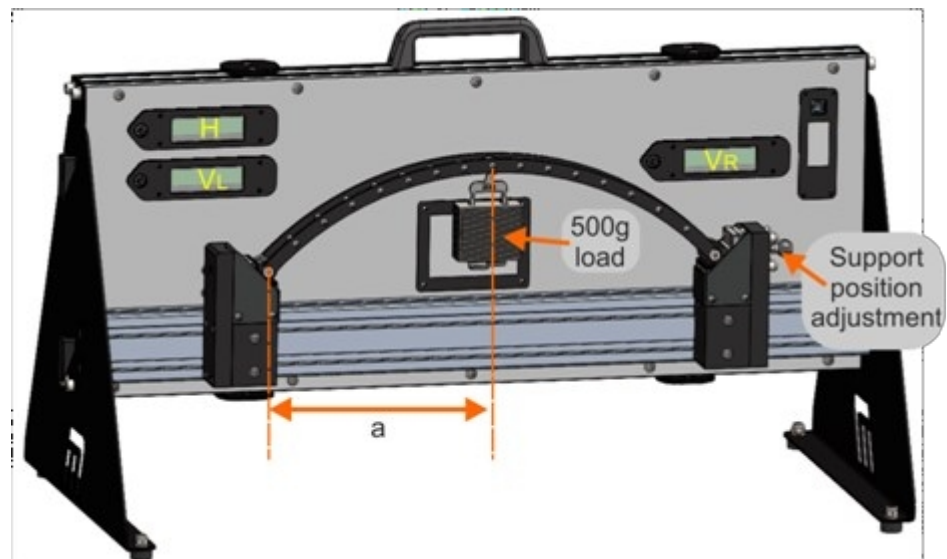
## Efecto de la posición de la carga puntual

### Arco de dos y tres clavijas



En el diseño de puentes, las fuerzas generadas por un vehículo cambian a medida que se desplaza. El diseño debe garantizar que los elementos y soportes utilizados en el puedan hacer frente a esta situación.

#### A. Arco de dos clavijas sobre ti:



- Coloque el equipo como se muestra en el diagrama, con el arco tocando el soporte de la izquierda.
- Gire el ajuste de posición del soporte para mover el soporte derecho hacia dentro hasta que toque justo el otro extremo del arco. (En este punto, la lectura en uno de los LCD cambiará).
- Pulse el botón de reinicio de cada pantalla LCD para inicializar las lecturas.
- Suspenda una carga de 500g del segundo peldaño del arco, (distancia  $a= 50\text{mm}$ .)
- Recuerde tocar suavemente la corona del arco para asegurarse de que las células de carga registran el cargar correctamente.
- Observa los valores de las lecturas  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$ .
- Anota estas medidas en la tabla 1 del Student Handout.
- Retire la carga y reinicie las pantallas LCD.
- Ahora suspenda la carga de 500g del tercer peldaño del arco, (distancia  $a= 75\text{mm}$ .)
- Repite el procedimiento.
- Repite este procedimiento para las demás distancias indicadas en la tabla 1.

# Ficha 1

## Efecto de la posición de la carga puntual

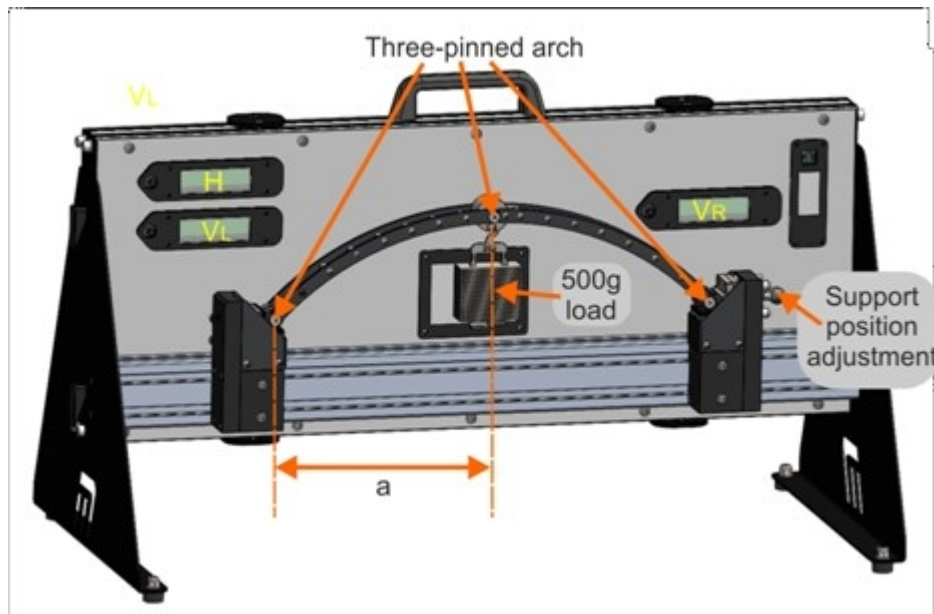
### Arco de dos y tres clavijas

#### Y qué:

- Utiliza los ejes que aparecen en el Material para el alumno para trazar gráficos de:
  - reacción vertical,  $V_L$ , en el extremo izquierdo del arco, frente a la distancia  $a$ ;
  - reacción vertical,  $V_R$ , en el extremo derecho del , frente a la distancia  $a$ ;
  - empuje **horizontal H** vs distancia  $a$ .
- Dibuja curvas suaves a través de tus puntos experimentales.
- Utiliza las fórmulas que aparecen en el Student Handout para calcular los valores teóricos de  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  para los valores de distancia  $a$  utilizados en el experimento y añádelos a la tabla de resultados.
- Representa estos valores en el gráfico y traza rectas que los atraviesen.

#### B. Arco de tres clavijas

##### Cambio:



- Sustituya el arco de dos clavijas por el arco de tres clavijas, como se muestra en el diagrama, manteniendo el soporte derecho en la misma posición.
- Pulse el botón de reinicio de cada pantalla LCD para inicializar las lecturas.
- Repita el mismo procedimiento que en la parte A, desplazando la carga a las posiciones indicadas en la tabla 2.
- Observa los valores de las lecturas  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$ .
- Anota estas medidas en la tabla 2 del Student Handout.

# Ficha 1

## Efecto de la posición de la carga puntual

### Arco de dos y tres clavijas

#### Y qué:

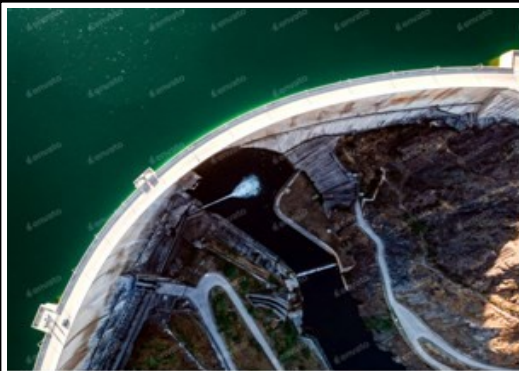
- Como antes:
  - Utiliza los ejes proporcionados en el Student Handout, para trazar gráficos de:
    - reacción vertical,  $V_L$ , en el extremo izquierdo del arco, frente a la distancia  $a$ ;
    - reacción vertical,  $V_R$ , en el extremo derecho del , frente a la distancia  $a$ ;
    - empuje **horizontal H** vs distancia  $a$ .
  - dibujar curvas suaves a través de sus puntos experimentales.
  - calcula los valores teóricos de  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  para los valores de distancia  $a$  utilizados en el experimento y añádelos a la tabla de resultados.
  - traza estos valores en el gráfico y dibuja líneas rectas que los atraviesen.

#### Desafío:

- Para las partes A y B, compara las curvas teóricas y experimentales y comenta la comparación en el Student Handout.

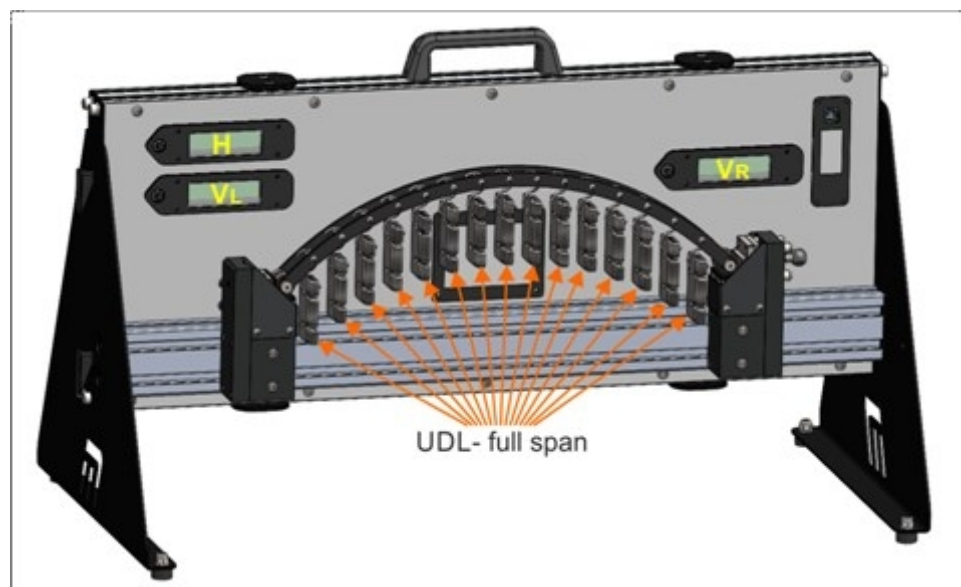


### Arco de dos y tres clavijas



En la ficha 1 se examinan los efectos de carga puntual, decir, concentrada en un punto concreto. Una carga distribuida se reparte a lo largo del arco. En realidad, la mayoría de las cargas son, por ejemplo, las fuerzas debidas a la presión del agua en la presa que se muestra en la fotografía. En una carga uniformemente distribuida (UDL), la fuerza por unidad de longitud sobre la estructura es la misma en todos los puntos.

#### A. Arco de dos clavijas Sobre ti:



- Coloque el herraje como se muestra, con el arco tocando el soporte izquierdo.
- Gire el ajuste de la posición del soporte para mover el soporte derecho hacia dentro hasta que toque el otro extremo del arco, indicado por un cambio en la lectura de uno de los LCD.
- Pulse el botón de reinicio de cada pantalla LCD para inicializar las lecturas.
- Suspende quince cargas de 20 g utilizando ganchos en S, para representar una carga uniformemente distribuida.
- Recuerde tocar suavemente la corona del arco para superar el problema de la sensibilidad.
- Como antes, observa las lecturas  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  y anótalas en la primera fila de la tabla 3 del Student Handout.
- Añada una carga adicional de 20 g a cada uno de los ganchos en S para obtener carga total de 600 g.
- Registra los valores de  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  en la segunda fila de la tabla 3.
- Continúe así hasta que cada gancho en S soporte 100 g, decir, una carga total de 1500 g.

## Ficha 2

### Efecto del UDL

### Arco de dos y tres clavijas

#### Y qué:

- Completa la segunda columna de la tabla 3 en el Student Handout calculando la carga por unidad de longitud,  $w$ , para cada UDL investigada.
- Utiliza tus resultados para trazar gráficas que muestren cómo varían  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  con  $w$  (en los mismos ejes.) Traza rectas que pasen por los puntos experimentales.
- Puede demostrarse que las fuerzas de reacción vertical  $V_L$  y  $V_R$  vienen dadas por:

$$V_L = V_R = (w \times L) / 2$$

y el empuje horizontal  $H$  por

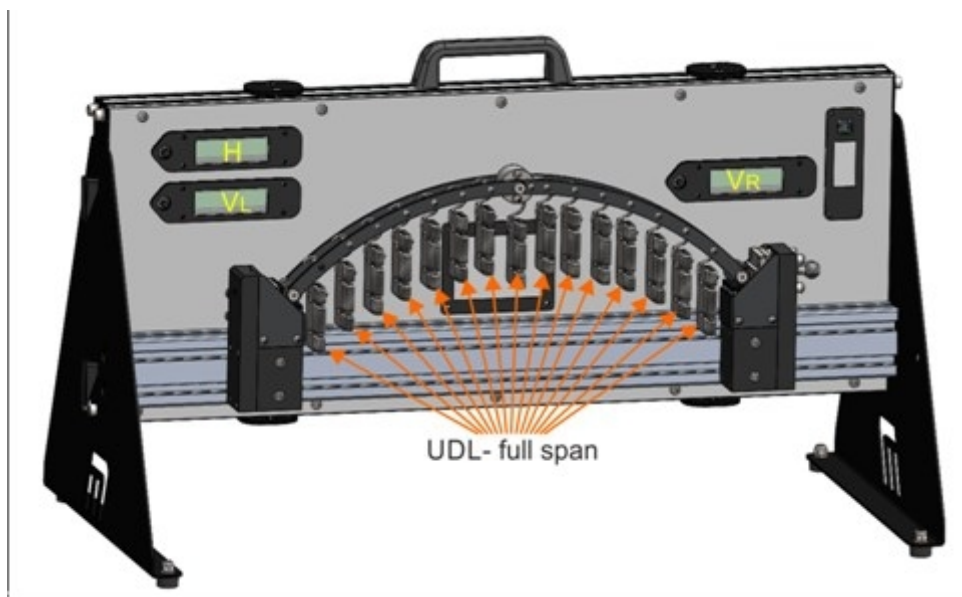
$$H = \frac{w \times L^2}{8r}$$

Estos predicen que los gráficos de  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  frente a  $w$  deben ser lineales.

- Utilízalos para calcular los valores teóricos de  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  y añádelos a la tabla 3.
- Representalos en el gráfico y traza líneas rectas que los atraviesen.

#### B. Arco de tres clavijas

##### Cambio:



- Sustituya el arco de dos clavijas por el arco de tres clavijas, manteniendo el soporte derecho en la misma posición.
- Pulse el botón de reinicio de cada pantalla LCD para inicializar las lecturas.
- Repite el mismo procedimiento que en la parte A, suspendiendo quince cargas de 20 g, para representar un UDL y registrando los valores resultantes de  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  en la tabla 4 del Material para el alumno.
- Como antes, aumente progresivamente las cargas suspendidas hasta que cada gancho en S soporte 100 g, registre en la tabla los valores resultantes de  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$ .

## Ficha 2

### Efecto del UDL

### Arco de dos y tres clavijas

#### Y qué:

- Completa la segunda columna de la tabla 4 del Material para el alumno calculando la carga por unidad de longitud,  $w$ , para cada UDL.
- Utiliza tus resultados para trazar gráficas que muestren cómo varían  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  con  $w$  (en los mismos ejes.) Traza rectas que pasen por los puntos experimentales.
- Como antes, las fuerzas de reacción vertical  $V_L$  y  $V_R$  vienen dadas por:

$$V_L = V_R = (w \times L) / 2$$

y el empuje horizontal,  $H$ , por:

$$H = \frac{w \times L^2}{8r}$$

- Utilízalos para calcular los valores teóricos de  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  y añádelos a la tabla 4.
- Representalos en el gráfico y traza líneas rectas que los atraviesen.

#### Desafío:

1. Como el arco está en equilibrio estático, todas las fuerzas verticales se anulan, todas las fuerzas horizontales se anulan y el momento total de todas las fuerzas sobre cualquier punto del puente es cero.

En el Student Handout, muestra cómo esta información conduce a la fórmula para  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$ .

2. Considera si el peso del propio arco o el peso de los ganchos en S es significativo. Coméntalo en el Student Handout.

## Ficha 3

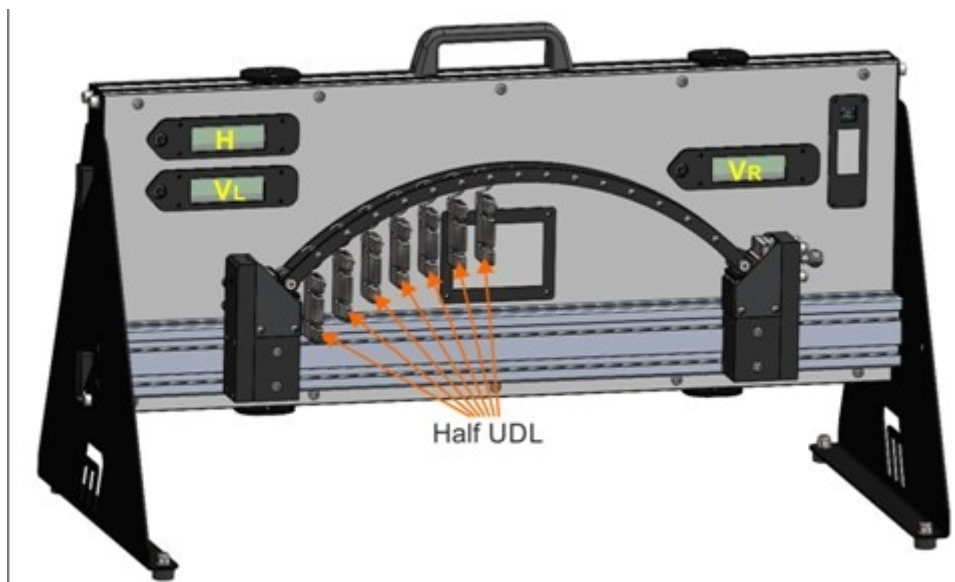
### Efecto de la mitad de UDL

### Arco de dos y tres clavijas



Las cargas que soportan los puentes arco no son necesariamente estáticas. Tampoco son cargas puntuales. A veces, se distribuyen pero sólo actúan sobre una parte de la estructura. Esta actividad examina una carga de este , conocida como media-UDL.

#### A. Arco de dos clavijas Sobre ti:



- Coloque el herraje, con el arco de dos clavijas colocado como antes.
- Pulse el botón de reinicio de cada pantalla LCD para inicializar las lecturas.
- Añada siete cargas de 20 g de ganchos en S como se muestra, lo que representa medio UDL.
- Toque suavemente la corona del arco para superar el problema de sensibilidad.
- Toma las lecturas de  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  y anótalas en la primera fila de la tabla 5 en el Student Folleto.
- Añada una carga adicional de 20 g a cada uno de los ganchos en S, lo que da una carga total de 280 g.
- Registra los valores de  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  en la segunda fila de la tabla 5.
- Continúe así hasta que cada gancho en S soporte 100 g, decir, una carga total de 700 g.

# Ficha 3

## Efecto de la mitad de UDL

### Arco de dos y tres clavijas

#### Y qué:

- Complete la segunda columna de la tabla 5 calculando la carga por unidad de longitud,  $w$ , para cada medio UDL investigado. En este caso,  $w = \text{carga} / 200$ .
- Para la media UDL, las fuerzas de reacción vertical  $V_L$  y  $V_R$  vienen dadas por:

$$V_L = \frac{3 (w \times L)}{8} \quad \text{y} \quad V_R = \frac{w \times L}{8}$$

y el empuje horizontal,  $H$ , por  $H = \frac{w \times L^2}{16r}$

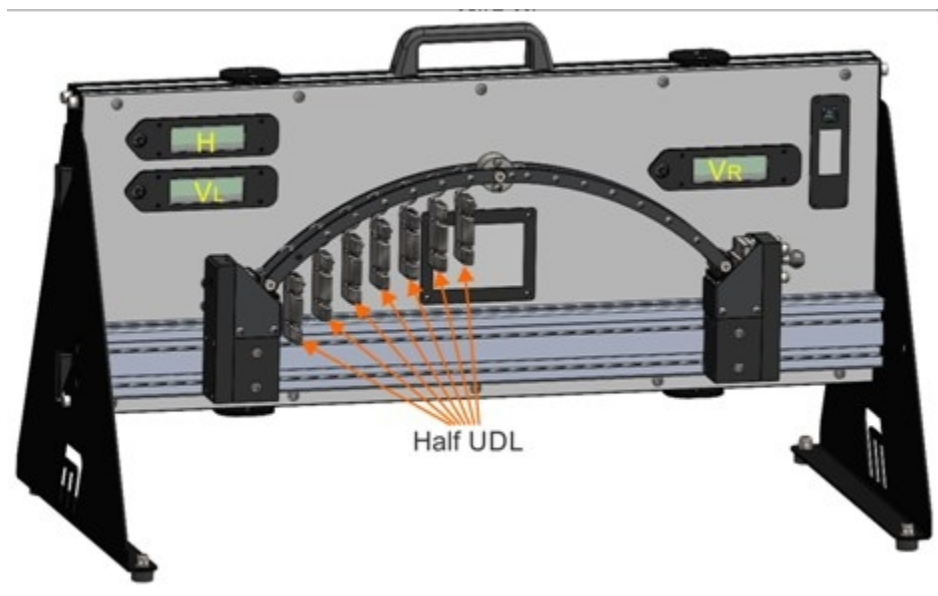
Una vez más, éstas predicen gráficos de líneas rectas de  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  frente a  $w$ .

En los mismos ejes, traza tres gráficos que muestren cómo varían  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  con  $w$  utilizando tus mediciones y traza rectas que pasen por los puntos experimentales.

- Utiliza las fórmulas para calcular los valores teóricos de  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$ . Añádelos a la tabla 5.
- Representalos en el gráfico y traza líneas rectas que los atraviesen.

#### B. Arco de tres clavijas

##### Cambio:



- Sustituya el arco de dos clavijas por el arco de tres clavijas, manteniendo el soporte derecho en la misma posición.
- Pulse el botón de reinicio de cada pantalla LCD para inicializar las lecturas.
- Repite el mismo procedimiento que en la parte A, suspendiendo siete cargas de 20 g, como medio UDL y registrando los valores resultantes de  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  en la tabla 6 del Material para el alumno.
- Como antes, aumente progresivamente las cargas suspendidas hasta que cada gancho en S soporte 100 g, registre en la tabla los valores resultantes de  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$ .

# Ficha 3

## Efecto de la mitad de UDL

### Arco de dos y tres clavijas

#### Y qué:

- Complete la segunda columna de la tabla 6 calculando la carga por unidad de longitud,  $w$ , para cada medio UDL investigado. En este caso,  $w = \text{carga} / 200$ .
- En los mismos ejes, traza tres gráficas que muestren cómo varían  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  con  $w$  utilizando tus mediciones y traza rectas que pasen por los puntos experimentales.
- Utiliza las fórmulas de la página anterior para calcular los valores teóricos de  $V_L$ ,  $V_R$  y  $H$  y añádelas a la tabla 6.
- Representalos en el gráfico y traza líneas rectas que los atraviesen.

#### Desafío:

Comparar el comportamiento de arcos de dos y tres pernos cuando soportan cargas puntuales y UDL, utilizando:

- tus conclusiones de las tres hojas de ejercicios;
- investigación en Internet y otros medios.

Escribe los resultados de tu comparación en el Student Handout.

# Folleto para el alumno

**Arco de dos y tres clavijas**

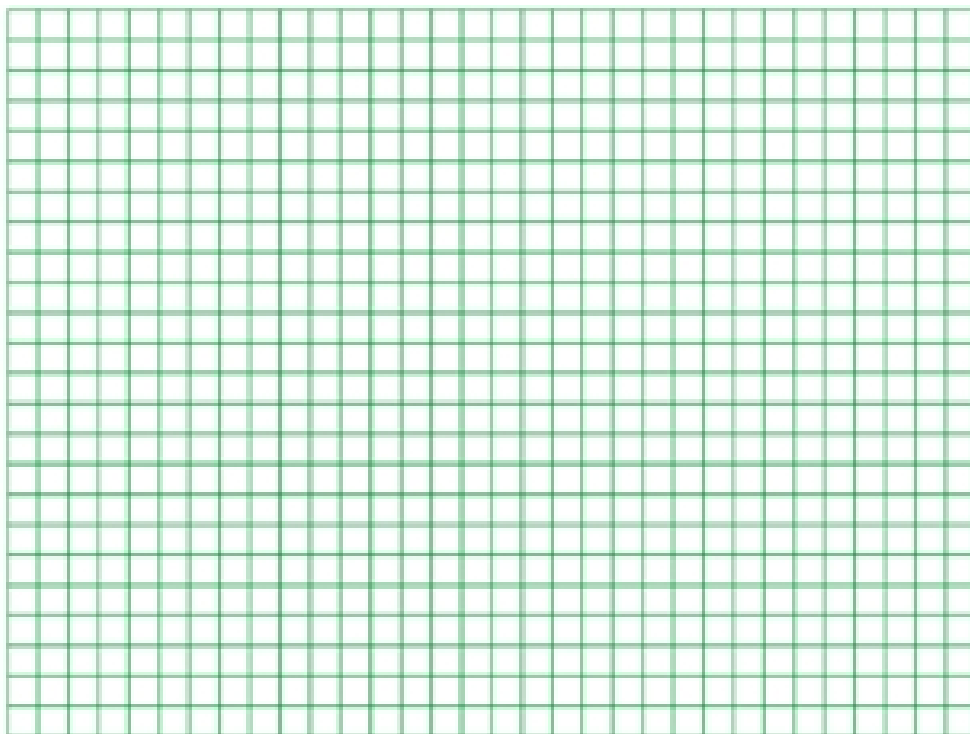
**Ficha 1 - Efecto de la posición de la carga puntual**

**A. Arco de dos clavijas**

Cuadro 1

a mm	Experimental			Calculado		
	H g	V <sub>L</sub> g	V <sub>R</sub> g	H g	V <sub>L</sub> g	V <sub>R</sub> g
50						
75						
100						
125						
150						
175						
200						
225						
250						
275						
300						
326						
350						

Reaction force in g



Distance a in mm



**Arco de dos y tres clavijas**

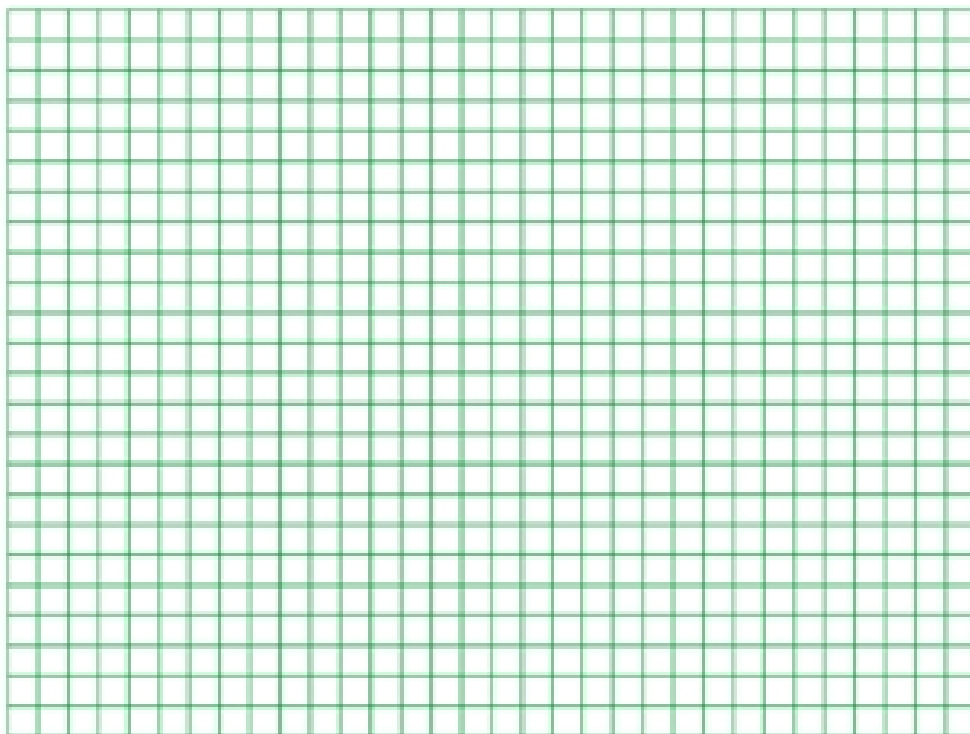
**Ficha 1 - Efecto de la posición de la carga puntual**

**B. Arco de tres pivotes**

Cuadro 2

a mm	Experimental			Calculado		
	H g	V <sub>L</sub> g	V <sub>R</sub> g	H g	V <sub>L</sub> g	V <sub>R</sub> g
50						
75						
100						
125						
150						
175						
200						
225						
250						
275						
300						
326						
350						

Reaction force in g



Distance a in mm



**Arco de dos y tres clavijas**

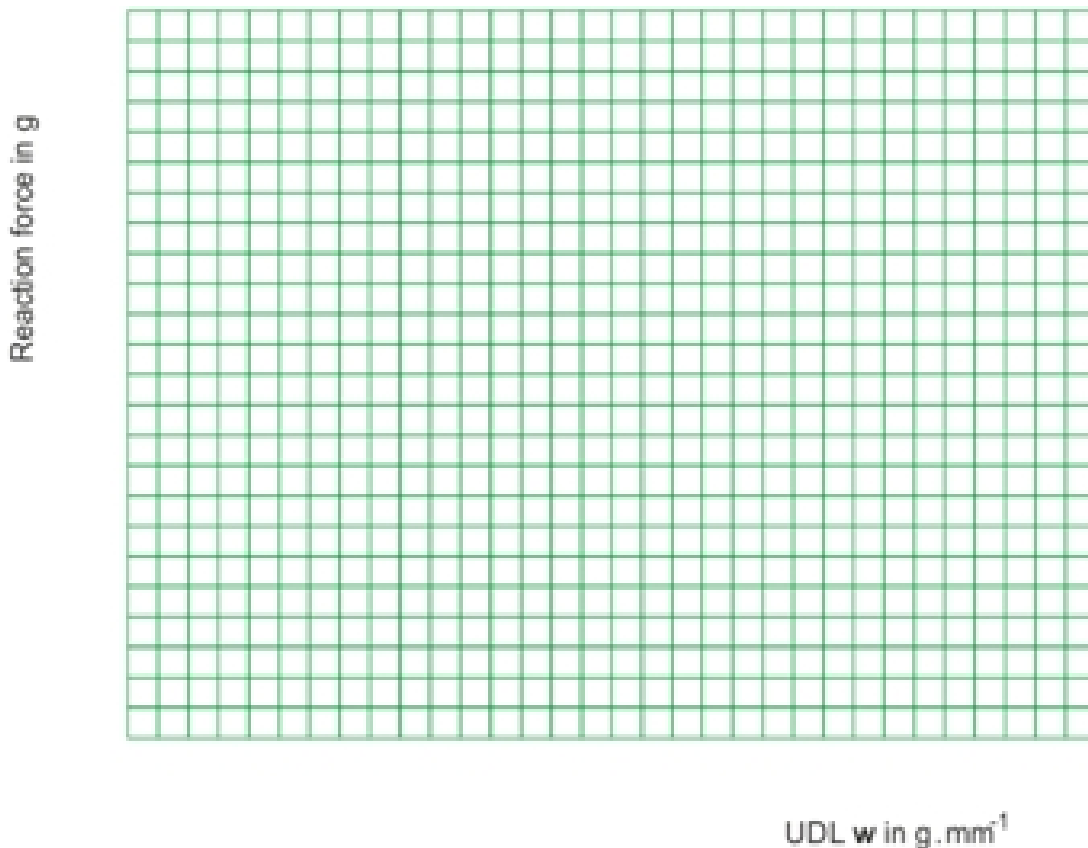
**Ficha 2 - Efecto del UDL**

**A. Arco de dos clavijas**

Cuadro 3

Total carga g	w g. mm <sup>-1</sup>	Experimental			Calculado		
		H g	V <sub>L</sub> g	V <sub>R</sub> g	H g	V <sub>L</sub> g	V <sub>R</sub> g

Gráficos de V<sub>L</sub>, V<sub>R</sub> y H frente a w:



**Arco de dos y tres clavijas**

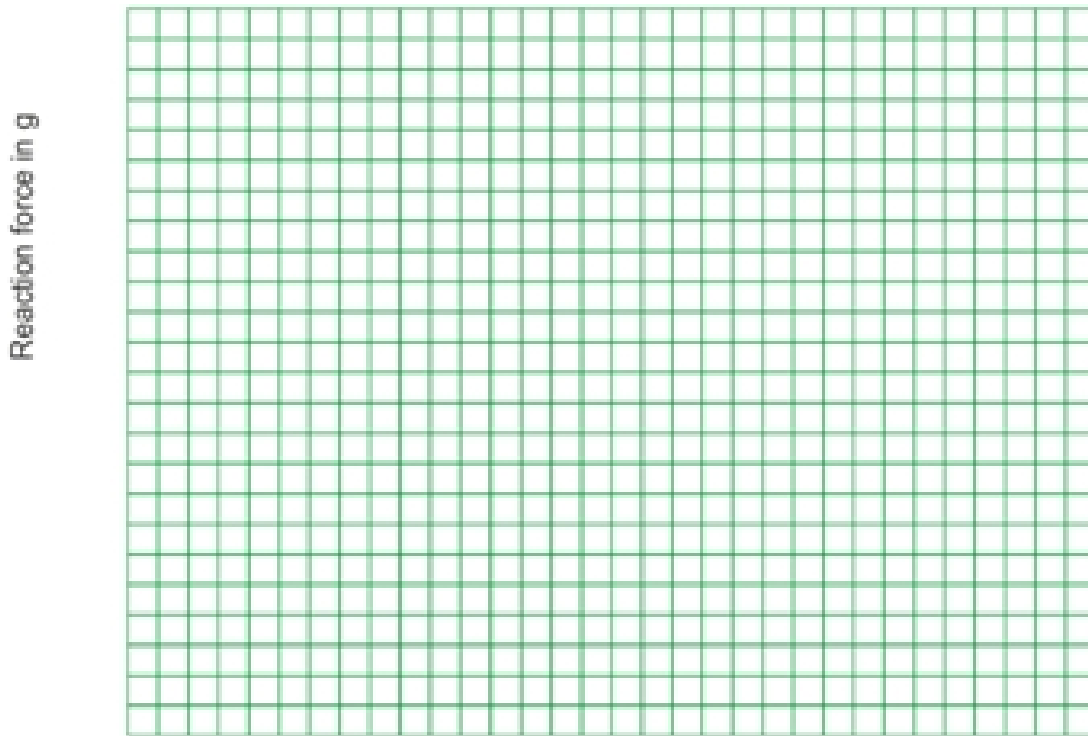
**Ficha 2 - Efecto del UDL**

**B. Arco de tres pivotes**

Cuadro 4

Total carga g	w g. mm <sup>-1</sup>	Experimental			Calculado		
		H g	V <sub>L</sub> g	V <sub>R</sub> g	H g	V <sub>L</sub> g	V <sub>R</sub> g

Gráficos de V<sub>L</sub>, V<sub>R</sub> y H frente a w:





**Arco de dos y tres clavijas**

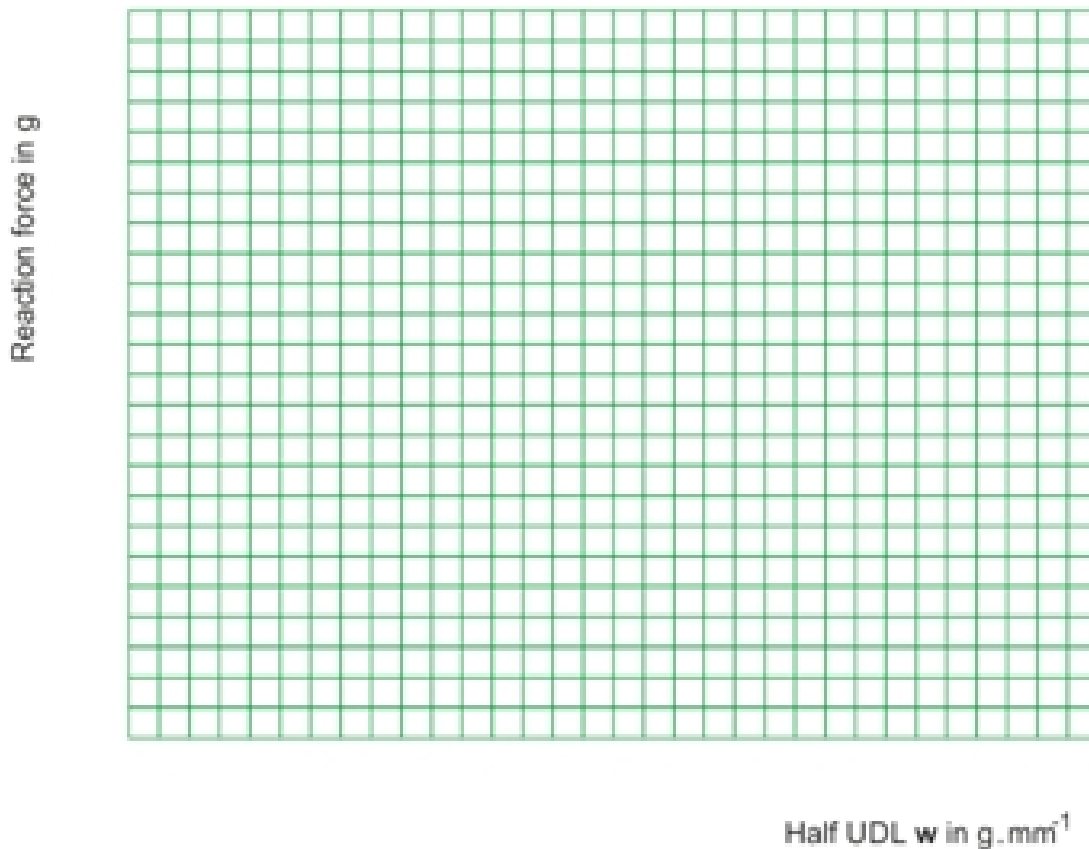
**Ficha 3 - Efecto de la mitad de UDL**

**A. Arco de dos clavijas**

Cuadro 5

Total carga g	w g. mm <sup>-1</sup>	Experimental			Calculado		
		H g	V <sub>L</sub> g	V <sub>R</sub> g	H g	V <sub>L</sub> g	V <sub>R</sub> g

Gráficos de V<sub>L</sub>, V<sub>R</sub> y H frente a w:



**Arco de dos y tres clavijas**

**Ficha 3 - Efecto de la mitad de UDL**

**B. Arco de tres pivotes**

Cuadro 6

Total carga g	w g. mm <sup>-1</sup>	Experimental			Calculado		
		H g	V <sub>L</sub> g	V <sub>R</sub> g	H g	V <sub>L</sub> g	V <sub>R</sub> g

Gráficos de V<sub>L</sub>, V<sub>R</sub> y H frente a w:

