

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

GUÍA DE LABORATORIO PARA ENSAYO DE DEMOSTRACION DE LA CARGA CRÍTICA DE PANDEO DE EULER

Contenido

1. RESUMEN.....	2
2. OBJETIVOS	2
2.1. Determinar la fuerza de pandeo critica para diferentes condiciones de apoyo en una barra delgada metálica.	2
2.2. Evaluar los resultados experimentales en contraste con los cálculos teóricos.	2
2.3. Comprender las generalidades e importancia del análisis de pandeo en elementos estructurales.	2
3. MARCO TEÓRICO.....	2
3.1. Carga crítica de Euler.....	3
4. MONTAJE	6
4.1. Extremo empotrado libre	6
3.2 Extremo articulado – articulado.....	6
3.3 Extremo empotrado – articulado	6
3.4 Extremo empotrado – empotrado.....	6
5. PROCEDIMIENTO	8
6. CALCULOS	8

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ejemplos de elementos estructurales en donde se puede presentar pandeo. a) Pandeo en columnas de edificios, b) pandeo en las barras de armaduras.....	3
Ilustración 2. Pandeo de una barra con carga axial.....	3
Ilustración 3. Casos de equilibrio: a) equilibrio estable, b) equilibrio inestable, c) equilibrio indiferente.....	4
Ilustración 4. Detalle de los cuatro casos de Euler para pandeo.....	6
Ilustración 5. Configuración de los cuatro casos de apoyo para demostración de pandeo de Euler.....	7

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

1. RESUMEN

En la práctica de demostración de Pandeo de Euler se demuestran de manera ilustrativa los cuatro casos de pandeo de Euler. Para esto se apoyan de diferentes maneras cuatro barras en un bastidor y se someten a cargas de compresión hasta llegar a la falla por estabilidad (pandeo).

2. OBJETIVOS

- 2.1. Determinar la fuerza de pandeo crítica para diferentes condiciones de apoyo en una barra delgada metálica.
- 2.2. Evaluar los resultados experimentales en contraste con los cálculos teóricos.
- 2.3. Comprender las generalidades e importancia del análisis de pandeo en elementos estructurales.

3. MARCO TEÓRICO

Los diferentes elementos que conforman una estructura pueden “fallar” por diferentes motivos, dependiendo de los materiales utilizados, tipos de cargas, ligaduras y apoyos. Muchos de estos tipos de falla, se evitan dimensionando los elementos estructurales de tal forma que las tensiones y deformaciones máximas se produzcan de tal forma que permanezcan dentro de los límites admisibles. Se habla entonces de fallas asociadas a deficiente resistencia o rigidez del elemento.

No obstante, existen otros tipos de falla, como es la falla por inestabilidad o pandeo, el cual puede tener lugar en el caso de elementos estructurales esbeltos sometidos a compresión. En estos casos, en el elemento puede aparecer una flexión lateral que puede llegar a ser grande y hacer “fallar” al elemento.

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

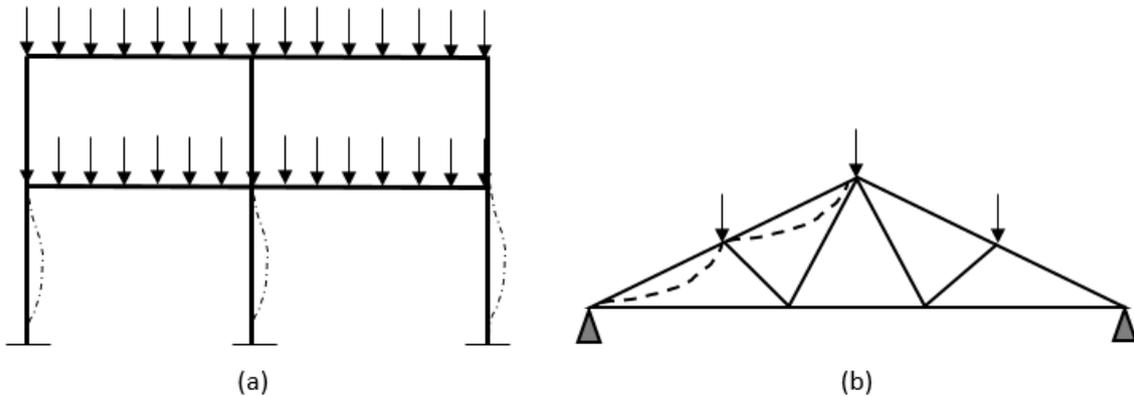


Ilustración 1. Ejemplos de elementos estructurales en donde se puede presentar pandeo. a) Pandeo en columnas de edificios, b) pandeo en las barras de armaduras.

En casi todos los ámbitos de la ingeniería, el pandeo desempeña un papel importante. Entre los ejemplos se encuentran:

- Las columnas y apoyos en el área de construcción y en las estructuras de acero.
- Los émbolos de pistón de los cilindros hidráulicos
- Los husillos de los elevadores
- Las varillas de tope y las bielas de los motores

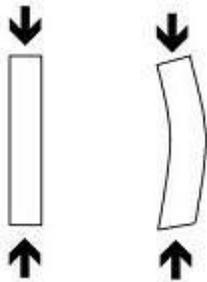


Ilustración 2. Pandeo de una barra con carga axial.

3.1. Carga crítica de Euler

El estudio teórico del pandeo, que es debido a Euler, se planteó como un estudio de equilibrio. Así, si se tiene una pieza simple sometida a una fuerza N de compresión, y se encuentra en equilibrio, posición (1), su equilibrio podrá ser: estable, inestable o indiferente.

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

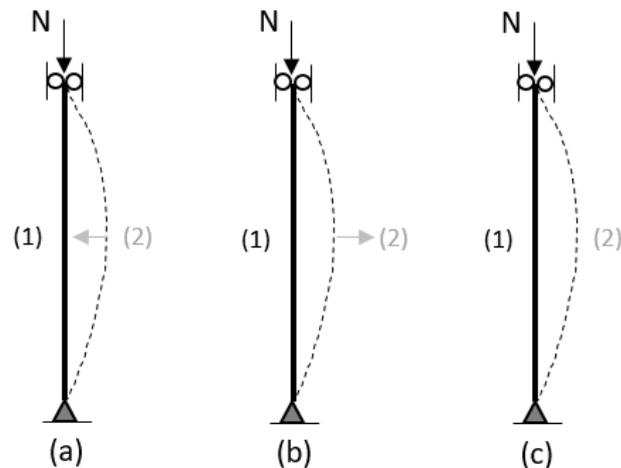


Ilustración 3. Casos de equilibrio: a) equilibrio estable, b) equilibrio inestable, c) equilibrio indiferente.

Equilibrio estable: si al separarla un poco, a la pos. (2) y soltar, vuelve a la pos. (1)

Equilibrio inestable: si al separarla un poco, a la pos. (2) y soltar, se aleja de la pos. (1)

Equilibrio indiferente: al separarla un poco, a la pos. (2) y soltar, se queda en la pos. (2)

El que un elemento dado adopte uno u otro tipo de equilibrio, va a depender del valor de la carga N de compresión a la que se le someta.

Se denomina: carga crítica de Euler (N_{cr}) “al valor de la carga N de compresión que hace que se alcance el equilibrio indiferente.

Así pues, se tendrá:

- Si $N = N_{cr} \rightarrow$ Equilibrio indiferente
- Si $N < N_{cr} \rightarrow$ Equilibrio estable
- Si $N > N_{cr} \rightarrow$ Equilibrio inestable

En la teoría de la estabilidad, los cuatro casos de pandeo de Euler representan el pandeo elástico por flexión lateral de barras rectas sometidas a cargas de compresión. A partir de la carga crítica de pandeo, se producen una pérdida de la estabilidad y una creciente deformación de la barra. El eje de la barra se curva lateralmente. La carga crítica de pandeo, según Euler se calcula como:

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_k^2}$$

Donde:

N_{cr} = Carga crítica de pandeo

E = Módulo de elasticidad del material

I = Momento de inercia de la sección transversal en la dirección débil del elemento

L_k = Longitud crítica de pandeo = $k \cdot L$

L = Longitud de la columna

k = Factor de longitud efectiva de pandeo

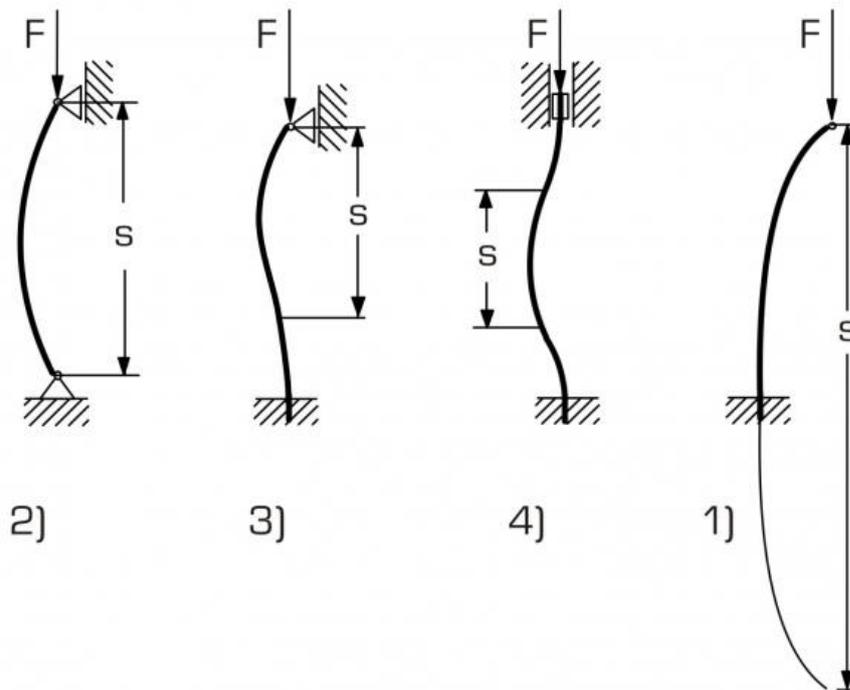
Euler describe cuatro casos de pandeo de la barra elástica, con una fuerza de compresión centrada y con distintas formas de apoyo. Dependiendo de las condiciones de apoyo se tendrá una mayor o menor longitud efectiva de la barra y por ende se necesitará una mayor o menor carga hasta que se alcanza la carga crítica de pandeo y los ejes de las barras se deformen lateralmente. En el ensayo, la longitud de pandeo se puede reconocer directamente ante la pared posterior blanca con una reticulación impresa.

Los cuatro casos de apoyo básicos y sus coeficientes de longitud efectiva son los siguientes:

- a) Extremo empotrado libre, $k = 2$
- b) Extremo articulado – articulado, $k = 1$
- c) Extremo empotrado – articulado, $k = 0.7$
- d) Extremo empotrado – empotrado, $k = 0.5$

Se resalta entonces que en cuanto mayor rigidez tengan las condiciones de apoyo, menor será la longitud efectiva y, por lo tanto, se necesitará una carga mayor para alcanzar la condición de inestabilidad por pandeo.

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	



Longitud de pandeo dependiente de las condiciones de apoyo de las barras:

- 1) Caso de Euler 1: barra empotrada-libre
 - 2) Caso de Euler 2: barra articulada-articulada
 - 3) Caso de Euler 3: barra empotrada-articulada
 - 4) Caso de Euler 4: barra empotrada-empotrada;
- F carga de compresión, s longitud de pandeo

Ilustración 4. Detalle de los cuatro casos de Euler para pandeo.

4. MONTAJE

El montaje del ensayo es sencillo: simplemente se configuran las barras y se le provee a cada una las condiciones de apoyo anteriormente mencionadas:

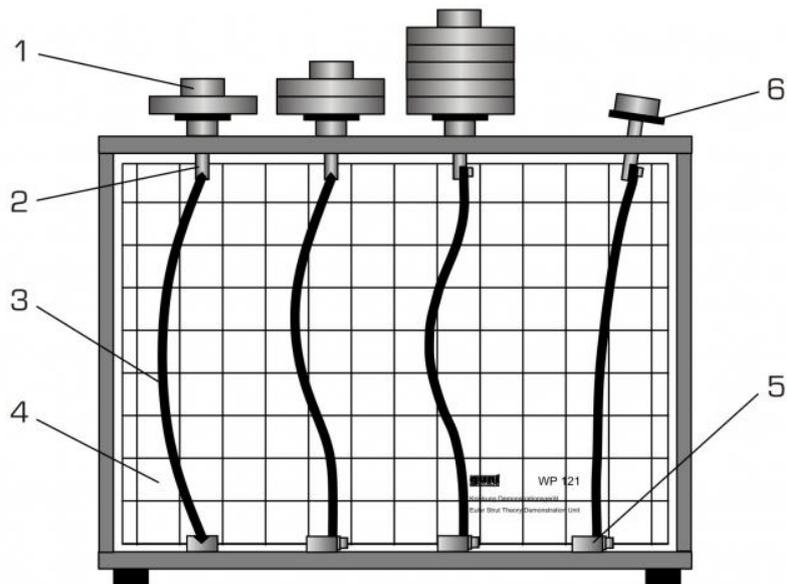
- 4.1. Extremo empotrado libre
- 3.2 Extremo articulado – articulado
- 3.3 Extremo empotrado – articulado
- 3.4 Extremo empotrado – empotrado

Las barras de probeta son de acero inoxidable para resortes y permanecen en el campo elástico durante el ensayo. Estas pueden estar libres o sustentadas mediante

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

empotramiento o articulación, de este modo, se implementan todos los casos de pandeo de Euler con los diferentes apoyos.

Para la colocación de los pesos se han previsto acoplamientos en los apoyos superiores. Las barras de probeta se someten a carga en pequeños escalones. De esta forma se puede mostrar claramente el inicio de la pérdida de estabilidad, es decir, el pandeo.



1 peso, 2 apoyo articulado, 3 barras, 4 pared posterior con reticulación impresa, 5 empotramiento, 6 recepción para pesos

Ilustración 5. Configuración de los cuatro casos de apoyo para demostración de pandeo de Euler.

 UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS	FORMATO DE PRÁCTICAS ACADÉMICAS	Código: GD-PR-010-FR-008	
	Macroproceso: Gestión Académica	Versión: 02	
	Proceso: Gestión de Docencia	Fecha de Aprobación: 04/10/2017	

5. PROCEDIMIENTO

Inicialmente se deben montar las cuatro barras y sus condiciones de apoyo que simularan las columnas a evaluar. Posteriormente, ya durante el ensayo se aumenta paso a paso la carga para cada caso. Resulta razonable aumentar el peso únicamente con pequeños incrementos, de una forma aproximada a la carga de pandeo calculada (en pesos de 1 N). Así se puede mostrar de manera especialmente ilustrativa la repentina aparición de la inestabilidad, esto es, el pandeo.

6. CALCULOS

6.1. Determinación de la fuerza de pandeo F_k

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_k^2}$$

El módulo de elasticidad E para el acero es de 210000 N/mm². El momento de inercia de superficie I_y para la sección del rectángulo de 0.5 x 12 de la barra de pandeo, es:

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{12 \cdot 0.5^3}{12} = 0.125 \text{ mm}^4$$

Todas las barras tienen una longitud de $L = 180 \text{ mm}$