



Estructuras de madera

7.5. Arriostramientos

1. Introducción
2. Estabilidad de la estructura
3. Resistencia y transmisión de fuerzas
4. Reducción de luces de pandeo
5. Disposiciones constructivas

Estructuras de madera

7.5. Arriostramientos

1. **Introducción**

2. Estabilidad de la estructura
3. Resistencia y transmisión de fuerzas
4. Reducción de luces de pandeo
5. Disposiciones constructivas

Estructuras de madera

7.5. Arriostramientos

INTRODUCCIÓN

CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

1. PIEZAS PRINCIPALES

Vigas, pórticos, arcos u otras formas estructurales

2. PIEZAS SECUNDARIAS

Correas o viguetas que apoyan sobre las piezas principales

3. CERRAMIENTO

Cerramiento de cubierta y de fachada

4. SISTEMA DE ARRIOSTRAMIENTO

Sistema formado por vigas de gran canto, constituidas por las piezas principales (actuando como cordones comprimido y traccionado) y diagonales formadas por las correas o viguetas y diagonales, cruces de San Andrés o arriostramientos en K

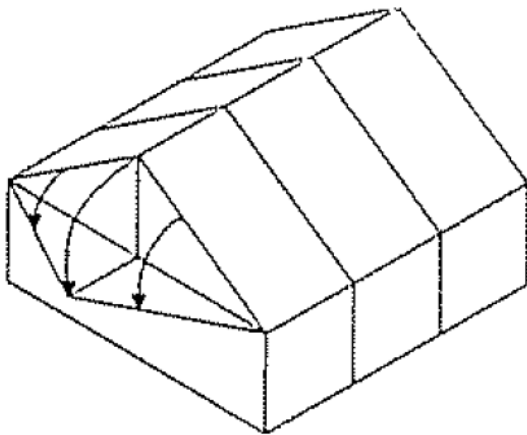
Argüelles y Arriaga, 2000



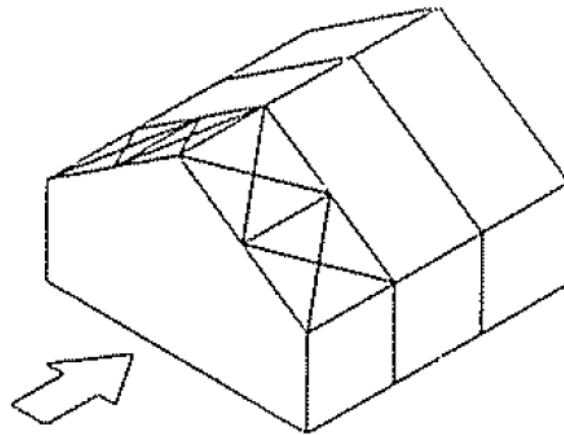
INTRODUCCIÓN

FUNCIONES DEL SISTEMA DE ARRIOSTRAMIENTO

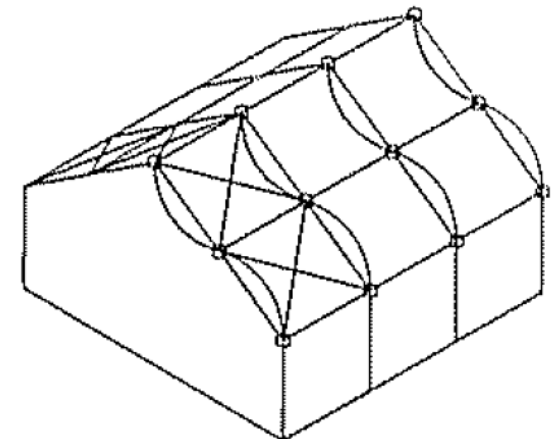
- a) Estabilidad de de la estructura (los pórticos) frente a esfuerzos horizontales
- b) Resistencia y transmisión al suelo de las acciones horizontales (como viento, terremotos, fuerzas generadas por excentricidades, entre otras)
- c) Generación de puntos fijos en los elementos propensos a sufrir fallos por estabilidad, a fin de reducir las luces de pandeo (por compresión o flexión)



a)



b)



c)

INTRODUCCIÓN

INFLUENCIA DEL SISTEMA DE ARRIOSTRAMIENTO

Influencia de un arriostramiento diagonal en la rigidez de un marco “rígido” de MLE:

El ejemplo muestra que el uso de diagonales incrementa notablemente la rigidez, incluso utilizando tensores metálicos de diámetros chicos en comparación con los elementos del pórtico

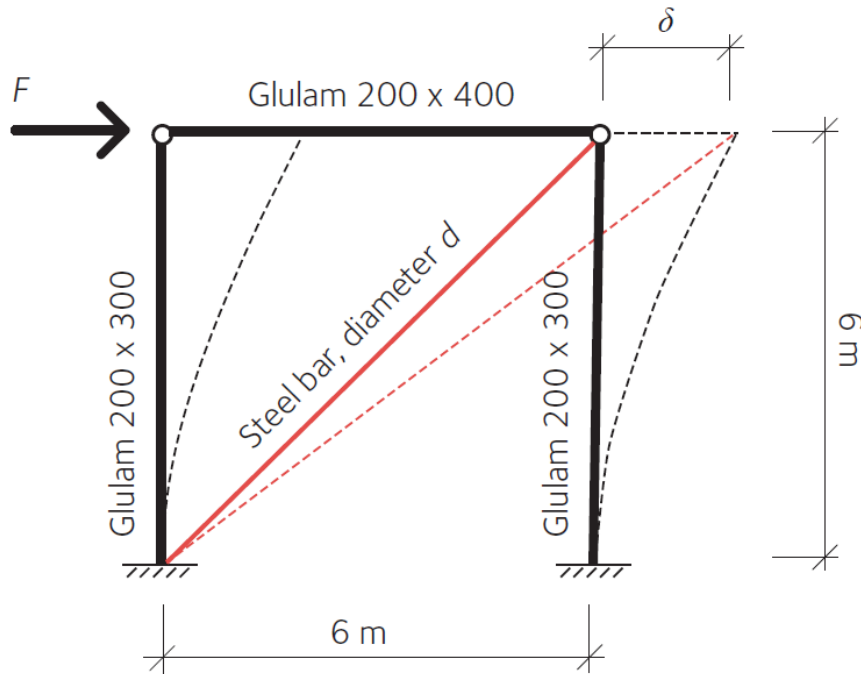


Table 6.1

Diameter	Horizontal stiffness $k = F/\delta$
No diagonal	$k = k_0$
$d = 10 \text{ mm}$	$k \approx 7 \cdot k_0$
$d = 20 \text{ mm}$	$k \approx 25 \cdot k_0$
$d = 30 \text{ mm}$	$k \approx 50 \cdot k_0$

Crocetti, Horizontal stabilization
En Borgström (2016), Design of timber structures

1. Introducción
2. **Estabilidad de la estructura**
3. Resistencia y transmisión de fuerzas
4. Reducción de luces de pandeo
5. Disposiciones constructivas

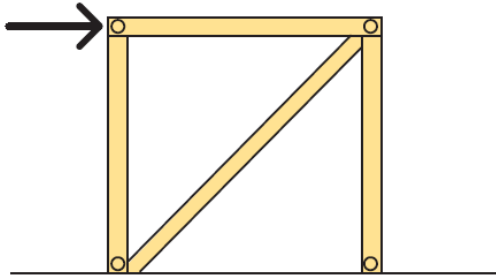
Estructuras de madera

7.5. Arriostramientos

ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA

TIPOS DE ARRIOTRAMIENTO DE PÓRTICOS

Formas de arriostrar un pórtico en su plano:

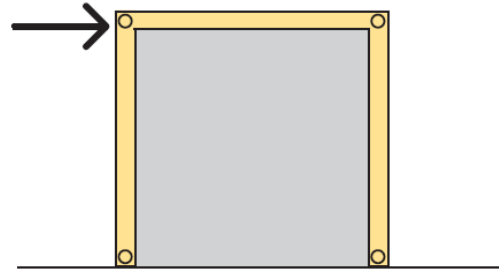


a)



Arriostramiento mediante diagonales

- De madera (tracción y compresión)
- De acero (en general, tracción)

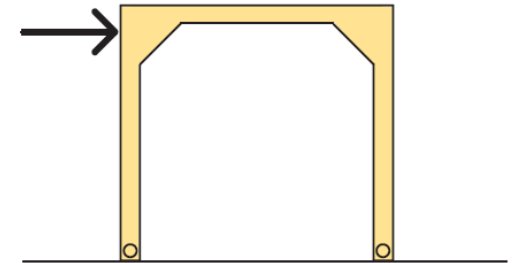


b)



Arriostramiento mediante muros de corte

- De madera (entramado ligero o CLT, por ejemplo)
- De mampostería u hormigón



c)



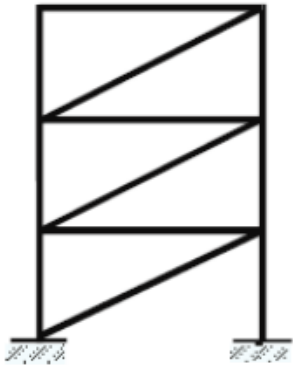
Arriostramiento mediante nudos rígidos

- Difícil de lograr en madera
- Salvo casos especiales, no se recomienda

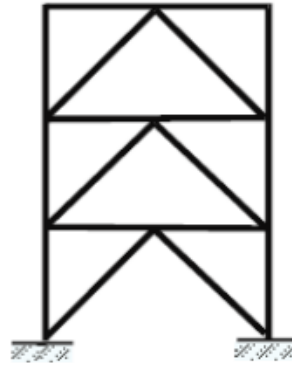
Veremos el caso a), que es el más frecuente en estructuras de madera de entramado pesado

ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA

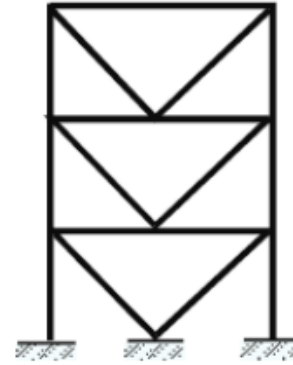
TIPOS DE ARRIOTRAMIENTO DE PÓRTICOS



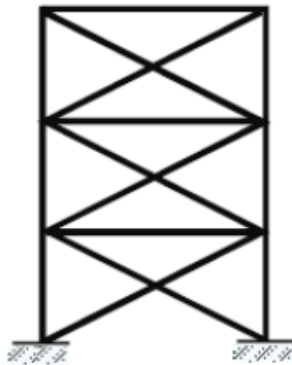
(a)



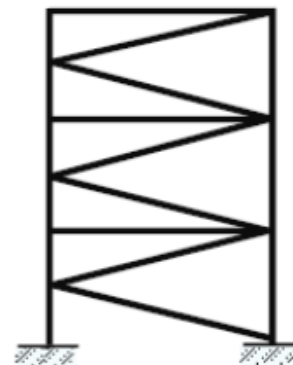
(b)



(c)



(d)

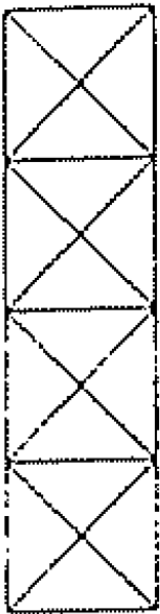
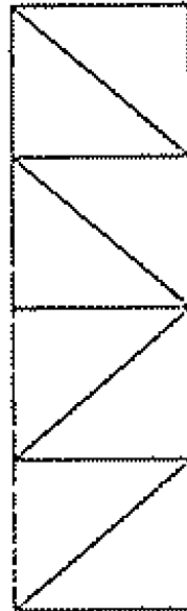
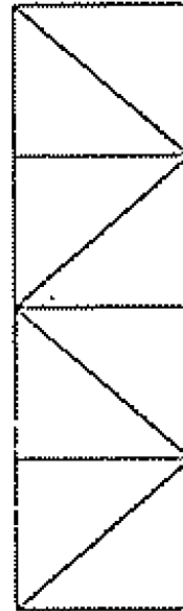
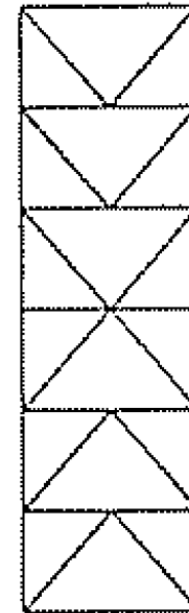


(e)

- a. Diagonalmente arriostrado
- b. Arriostramiento en V invertida
- c. Arriostramiento en V
- d. Arriostramiento en X
- e. Arriostramiento en K

ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA

TIPOS DE ARRIOTRAMIENTO DE CUBIERTAS

a) CRUZ DE
SAN ANDRESSolo **tracción**b) VIGA
TIPO PRATTCompresión y **tracción**c) VIGA
TIPO WARRENd) ARRIOTRAMIENTO
EN KSolo **tracción**

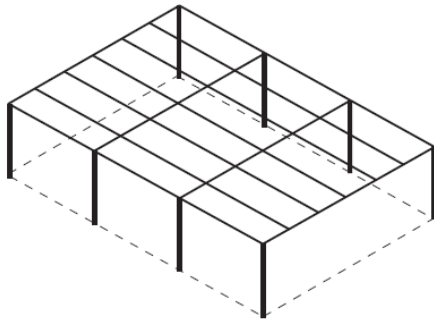
Estabilidad
tridimensional

ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA

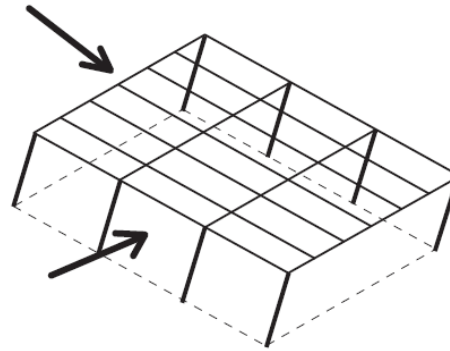
ESTABILIDAD TRIDIMENSIONAL

Formas de garantizar la estabilidad de una estructura tridimensional:

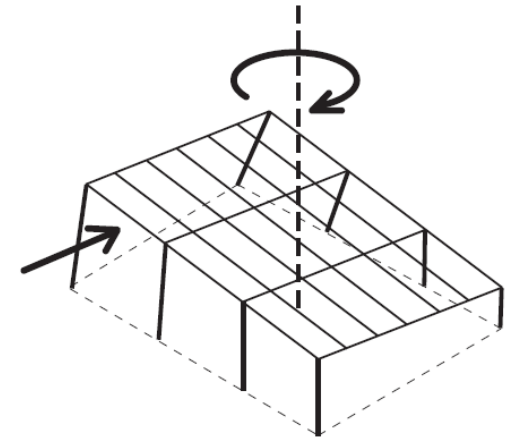
- a) Si hay diafragmas de piso o de cubierta: deben disponerse al menos tres diafragmas verticales no concurrentes (para evitar c) ni paralelos (para evitar b)



a)



b)



c)

- b) Si no hay diafragmas de piso o de cubierta: deben disponerse los diafragmas suficientes (al menos cuatro) para que la estructura sea estable – **No recomendable**

Se recomienda que los paneles se dispongan de forma simétrica. Se debe considerar la excentricidad

1. Introducción
2. Estabilidad de la estructura
3. **Resistencia y transmisión de fuerzas**
4. Reducción de luces de pandeo
5. Disposiciones constructivas

Estructuras de madera

7.5. Arriostramientos

RESISTENCIA Y TRANSMISIÓN DE FUERZAS

VIGAS DE CONTRAVENTO

El rol de los techos, además de resistir las cargas, es **transferir las cargas** a los arriostramientos

Cálculo de las fuerzas que actúan sobre la viga:

1. MODELO NUMÉRICO

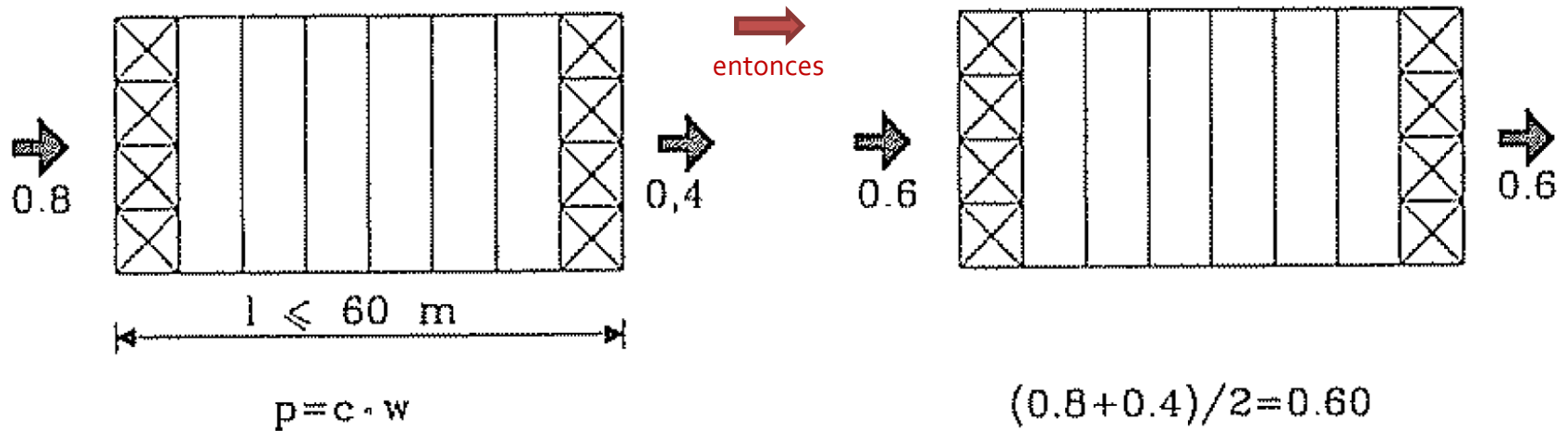
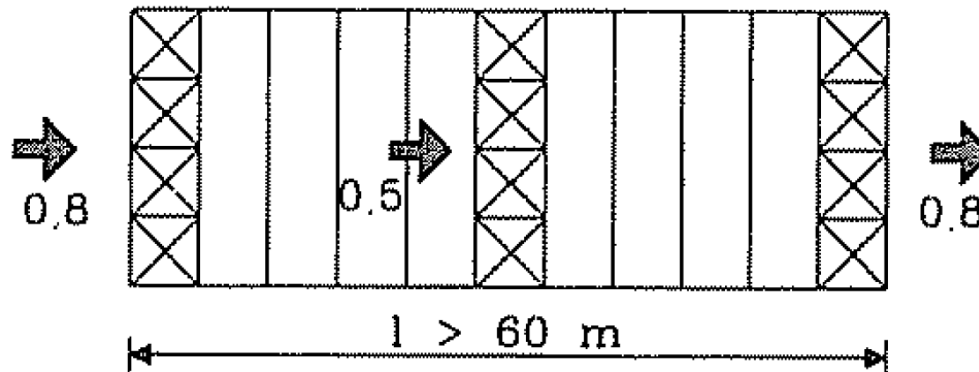
- a) Puede realizarse por medio de modelos simplificados (en general, en los planos de trabajo) o de un modelo tridimensional
- b) En caso de utilizar tensores que solo resisten tracción, se debe imponer esta condición y realizar un análisis no lineal

2. CÁLCULO SIMPLIFICADO

- a) Se simplifica, inicialmente, a un reticulado (teniendo en cuenta el punto b explicado para el caso del modelo numérico)
- b) Se descomponen las fuerzas considerando la inclinación del faldón
- c) Se consideran las fuerzas verticales originadas por el cambio de directriz de la viga o cercha
- d) Este cálculo se presenta con más detalle en las próximas diapositivas

RESISTENCIA Y TRANSMISIÓN DE FUERZAS

VIGAS DE CONTRAVENTO – CÁLCULO SIMPLIFICADO

 $l \leq 60 \text{ m}$  $l > 60 \text{ m}$ 

Argüelles y Arriaga, 2000

RESISTENCIA Y TRANSMISIÓN DE FUERZAS

VIGAS DE CONTRAVENTO – CÁLCULO SIMPLIFICADO

Cuando la luz principal de la estructura es elevada y la longitud de la construcción es grande, la viga de arriostramiento contra el viento se puede formar con un canto variable

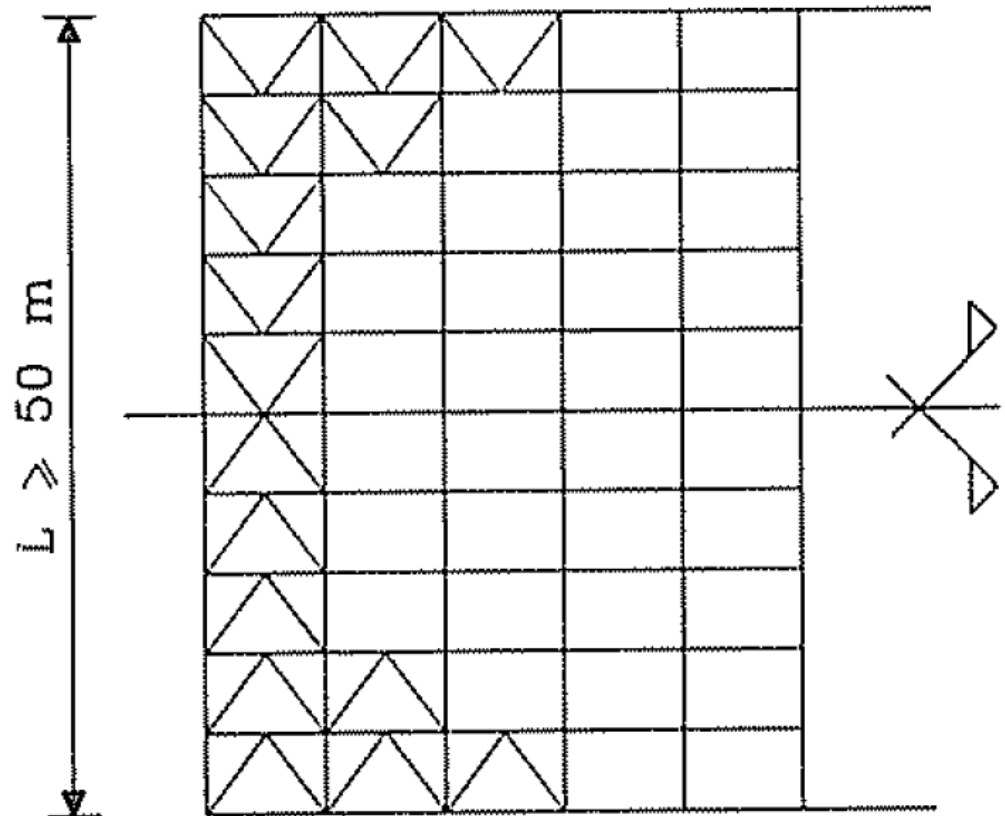
Ejemplo:

$L > 50 \text{ m}$

Esta es una recomendación general

En general depende de que la viga tenga la Resistencia y rigidez suficiente

La rigidez necesaria depende de los desplazamientos horizontales admitidos y de los requerimientos para reducir las luces de pandeo

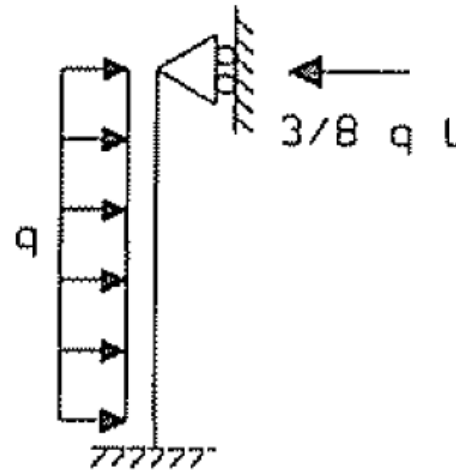
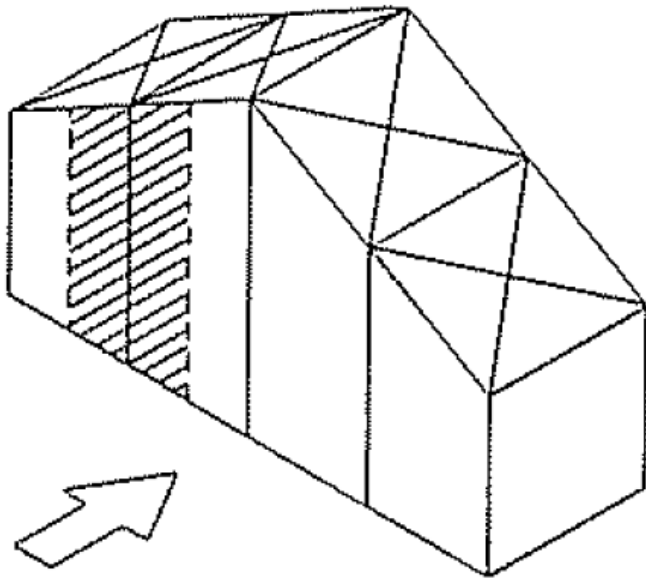


RESISTENCIA Y TRANSMISIÓN DE FUERZAS

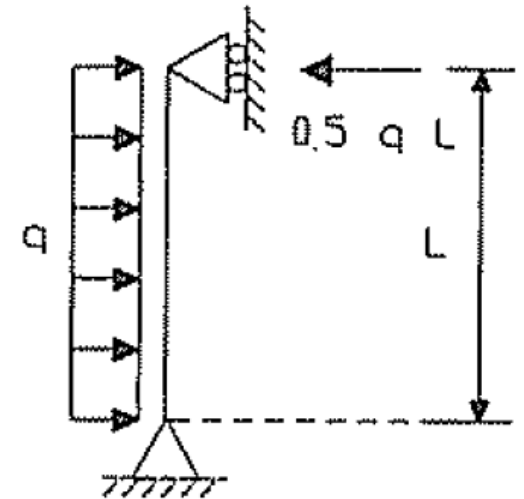
VIGAS DE CONTRAVENTO – CÁLCULO SIMPLIFICADO

Se debe considerar el área de influencia de la fachada y las condiciones de apoyo

Ejemplo:



Empotrado-apoyado

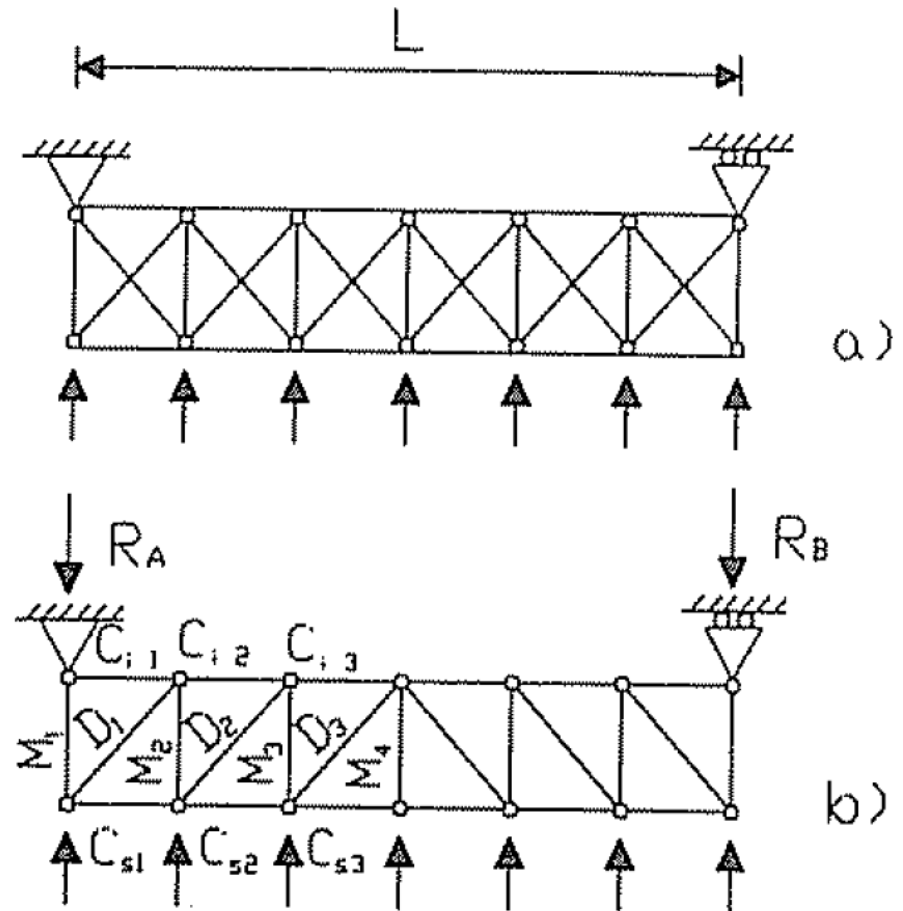
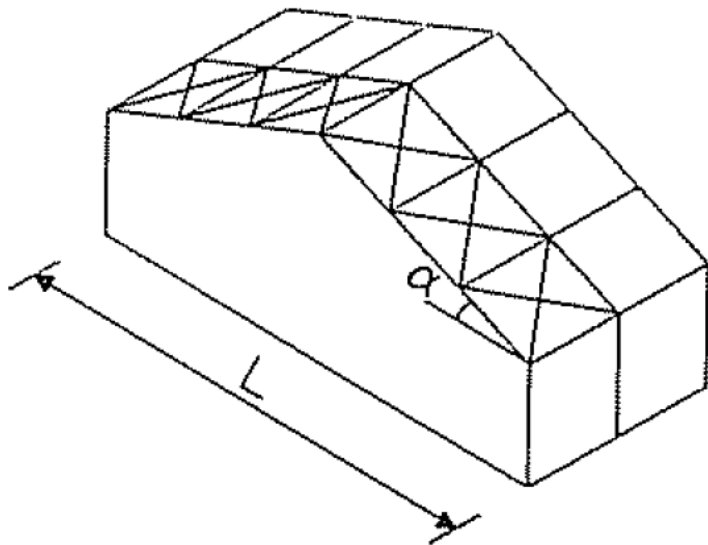


Apoyado-apoyado

RESISTENCIA Y TRANSMISIÓN DE FUERZAS

VIGAS DE CONTRAVENTO – CÁLCULO SIMPLIFICADO

Caso con cruces de San Andrés
Cálculo simplificado



Argüelles y Arriaga, 2000

RESISTENCIA Y TRANSMISIÓN DE FUERZAS

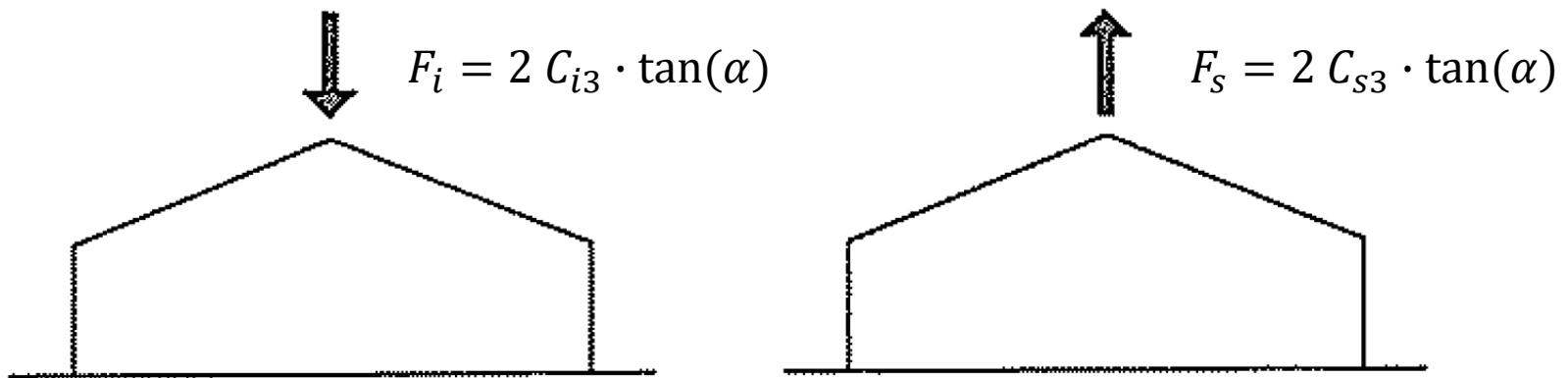
VIGAS DE CONTRAVENTO – CÁLCULO SIMPLIFICADO

Caso con cruces de San Andrés

Cálculo simplificado

Las fuerzas obtenidas mediante el reticulado plano son únicamente reales para las barras no inclinadas (es decir, para los montantes que constituyen las correas)

Para obtener el verdadero valor en los cordones y en las diagonales se debe dividir los valores obtenidos por el coseno del ángulo que forma cada barra con su proyección horizontal. En los cordones este ángulo es la pendiente del faldón (α), y en las diagonales un valor ligeramente menor



Argüelles y Arriaga, 2000

RESISTENCIA Y TRANSMISIÓN DE FUERZAS

ARRIOSTRAMIENTOS EN FACHADA – MUROS DE MAMPOSTERÍA

Los esfuerzos horizontales absorbidos por las fachadas y por la cubierta son transmitidos a los **sistemas resistentes de cargas laterales** que tiene el edificio

Las vigas de contravento se apoyan en **diafragmas verticales**, generalmente coincidentes con las paredes frontales y laterales

En estructuras chicas, los sistemas resistentes de cargas laterales pueden estar dados por los muros de mampostería, aunque se deben cuidar los detalles constructivos por los esfuerzos y las posibles patologías asociadas



RESISTENCIA Y TRANSMISIÓN DE FUERZAS

ARRIOSTRAMIENTOS EN FACHADA – ENTRAMADOS FRONTALES Y LATERALES

Los esfuerzos horizontales absorbidos por las fachadas y por la cubierta son transmitidos a los **sistemas resistentes de cargas laterales** que tiene el edificio

Las vigas de contravento se apoyan en **diafragmas verticales**, generalmente coincidentes con las paredes frontales y laterales



En estructuras chicas, los sistemas resistentes de cargas laterales pueden estar dados por los muros de mampostería, aunque se deben cuidar los detalles constructivos por los esfuerzos y las posibles patologías asociadas

En estructuras mayores, se suele utilizar un cerramiento liviano y una estructura entramada de madera (y acero)

El cálculo se realiza con las mismas consideraciones que en el caso de las vigas

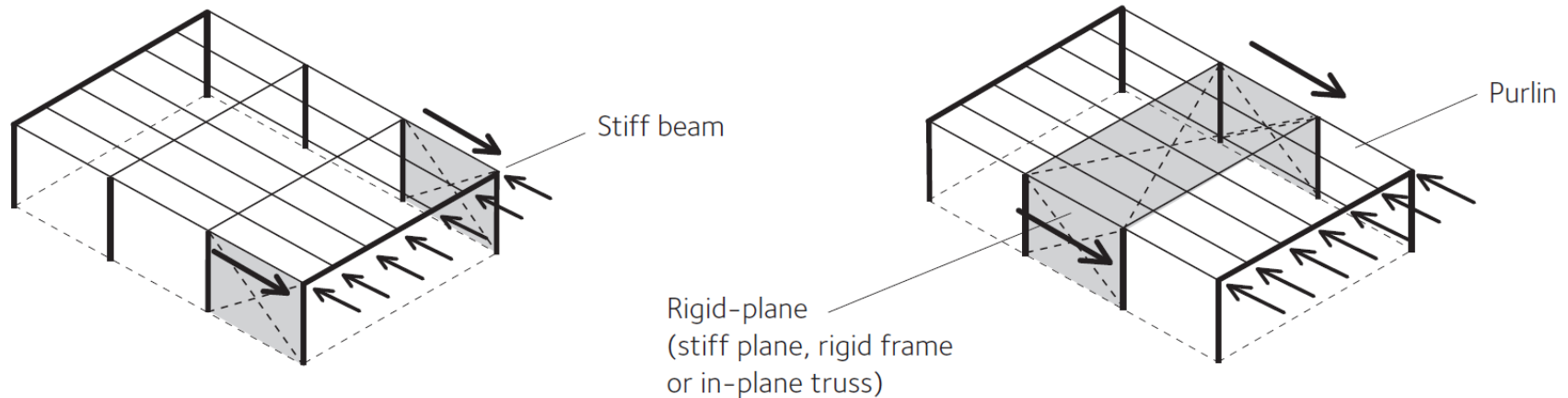


RESISTENCIA Y TRANSMISIÓN DE FUERZAS

ARRIOSTRAMIENTOS EN FACHADA – ENTRAMADOS FRONTALES Y LATERALES

Los esfuerzos horizontales absorbidos por las fachadas y por la cubierta son transmitidos a los **sistemas resistentes de cargas laterales** que tiene el edificio

Las vigas de contravento se apoyan en **diafragmas verticales**, generalmente coincidentes con las paredes frontales y laterales

**Loading on gables**

a) Forces from secondary frames are resisted by an edge beam with high lateral strength and stiffness, and carried directly to side shear walls or diaphragms (typically small structures only).

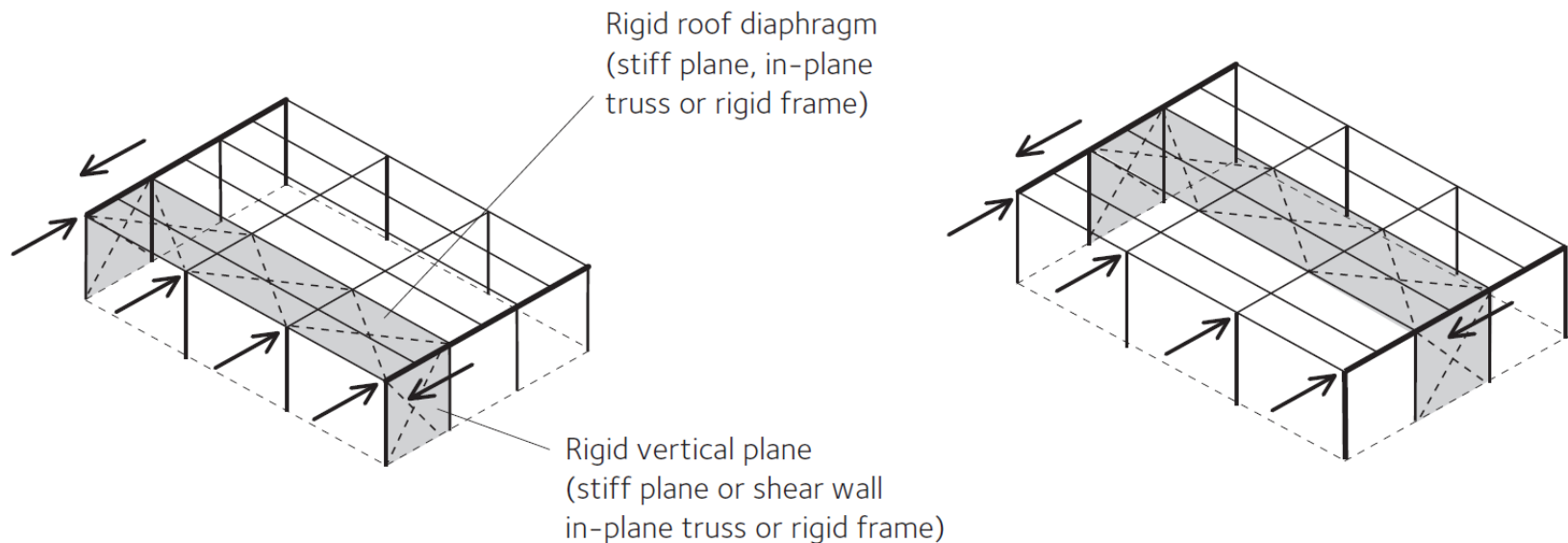
b) Forces are transferred through roof members to the roof diaphragm which transfers loads to side diaphragms (note that in this case purlins must be designed to carry both compressive forces and bending from vertical load).

RESISTENCIA Y TRANSMISIÓN DE FUERZAS

ARRIOSTRAMIENTOS EN FACHADA – ENTRAMADOS FRONTALES Y LATERALES

Los esfuerzos horizontales absorbidos por las fachadas y por la cubierta son transmitidos a los **sistemas resistentes de cargas laterales** que tiene el edificio

Las vigas de contravento se apoyan en **diafragmas verticales**, generalmente coincidentes con las paredes frontales y laterales

**Loading on longitudinal faces**

c) Forces from secondary framing are picked up by rigid roof plane or diaphragm and transmitted to rigid side planes

d) Horizontal and vertical rigid planes or diaphragms can be placed anywhere as long as loads can be transmitted to them.

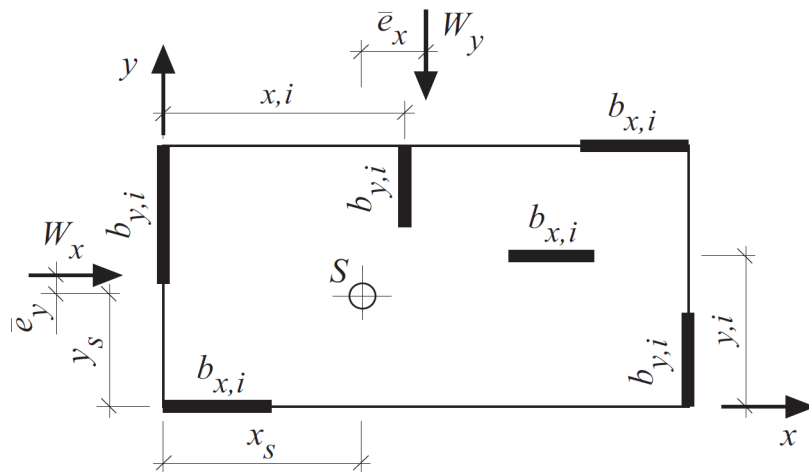
RESISTENCIA Y TRANSMISIÓN DE FUERZAS

ARRIOSTRAMIENTOS EN FACHADA – PANELES DE MADERA

El arriostramiento también se puede lograr mediante paneles (CLT o entramado ligero)

El cálculo está contemplado en los puntos 9.2.3 y 9.2.4 del Eurocódigo 5

La distribución de esfuerzos rasantes se calcula como se haría en hormigón, pero el cálculo depende principalmente del comportamiento de los medios de fijación



RESISTENCIA Y TRANSMISIÓN DE FUERZAS

ARRIOSTRAMIENTOS EN FACHADA – PANELES DE MADERA



1. Introducción
2. Estabilidad de la estructura
3. Resistencia y transmisión de fuerzas
- 4. Reducción de luces de pandeo**
5. Disposiciones constructivas

Estructuras de madera

7.5. Arriostramientos

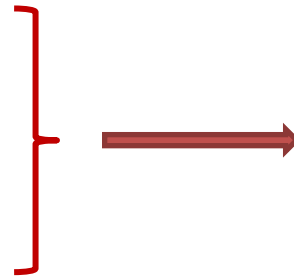
REDUCCIÓN DE LUCES DE PANDEO

REQUERIMIENTOS DE LOS ARRIOSTRAMIENTOS

Además de para hacer estable la estructura y de resistir y transmitir los esfuerzos horizontales, los arriostramientos se disponen para **reducir las luces de pandeo**

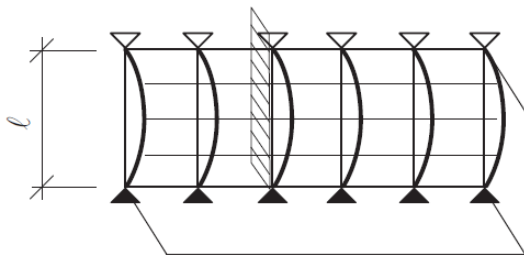
Se busca:

- a) Prevenir la inestabilidad o deformación excesiva
- b) Considerar las imperfecciones geométricas y estructurales, y las generadas por deformaciones inducidas



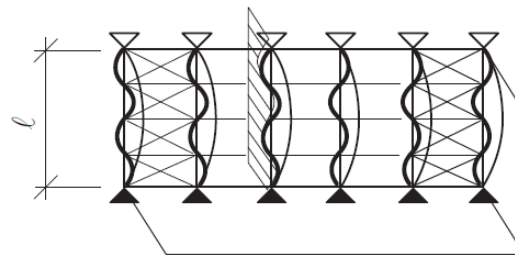
Para ello se exige:

- a) RIGIDEZ
- b) RESISTENCIA



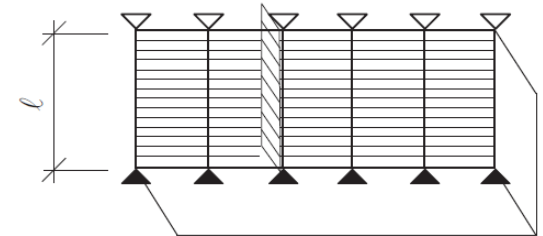
Buckling length = l

a)



Buckling length = $l/4$

b)



Buckling length = 0

c)

- a) Unbraced. Buckling length of the main beams $l_{ef} = l$.
- b) Braced with crossing pairs of steel rods. Buckling length of the main beams $l_{ef} = l/4$.
- c) Braced with profiled metal sheathing. Buckling length of the main beams $l_{ef} = 0$.

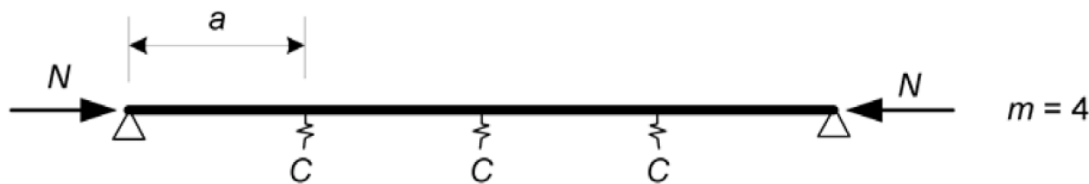
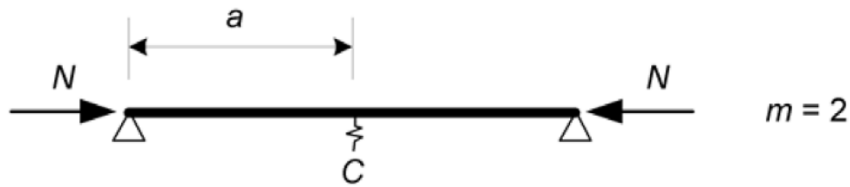


REDUCCIÓN DE LUCES DE PANDEO

RIGIDEZ MÍNIMA EN PIEZAS COMPRIMIDAS

Coefficiente de rigidez mínimo, C
Eurocódigo 5

$$C = k_s \frac{N_d}{a}$$

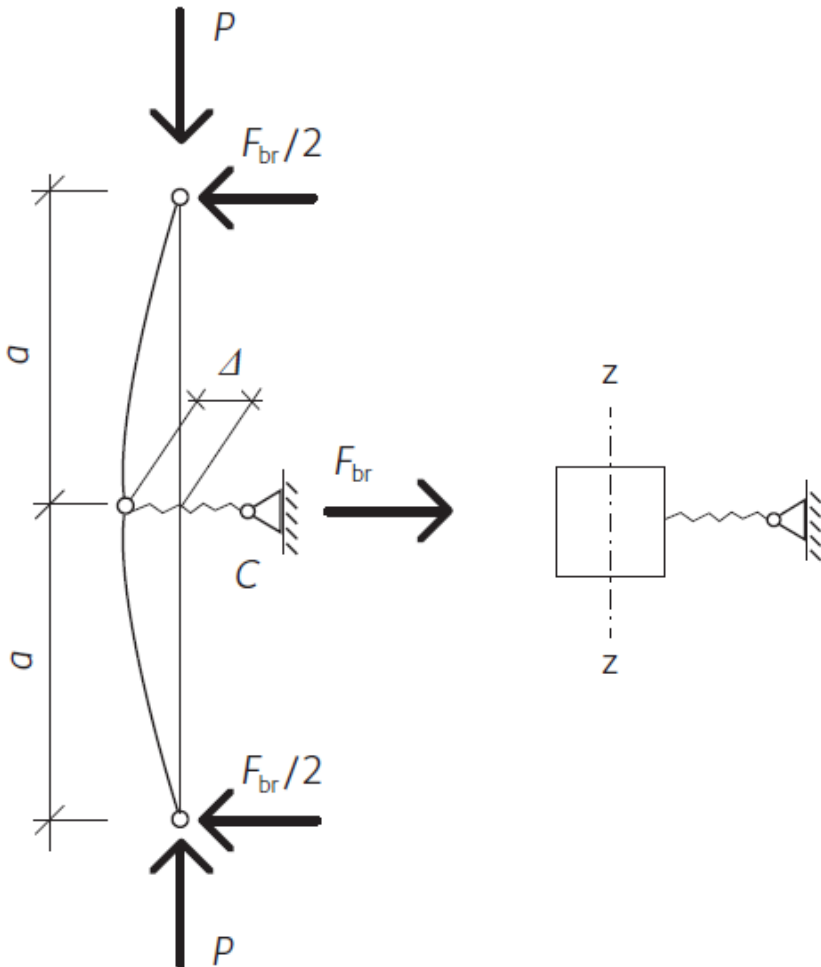


Factor de modificación	Rango
k_s	<u>4</u> a 1
$k_{f,1}$	<u>50</u> a 80
$k_{f,2}$	<u>80</u> a 100
$k_{f,3}$	<u>30</u> a 80

N_d es el valor de cálculo de medio del axil de compresión en la pieza

REDUCCIÓN DE LUCES DE PANDEO

RIGIDEZ MÍNIMA EN PIEZAS COMPRIMIDAS



$$\sum M = 0 \Rightarrow P \cdot \Delta - \frac{F_{br}}{2} \cdot a = 0 \Rightarrow \underbrace{P \cdot \Delta}_{M_{unst}} = \underbrace{\frac{C \cdot \Delta}{2} \cdot a}_{M_{st}}$$

$$\text{Unstable } M_{unst} > M_{st} \Rightarrow P > \frac{C \cdot a}{2} \Rightarrow C < \frac{2 \cdot P}{a}$$

$$\text{Stable } M_{unst} < M_{st} \Rightarrow P < \frac{C \cdot a}{2} \Rightarrow C > \frac{2 \cdot P}{a}$$

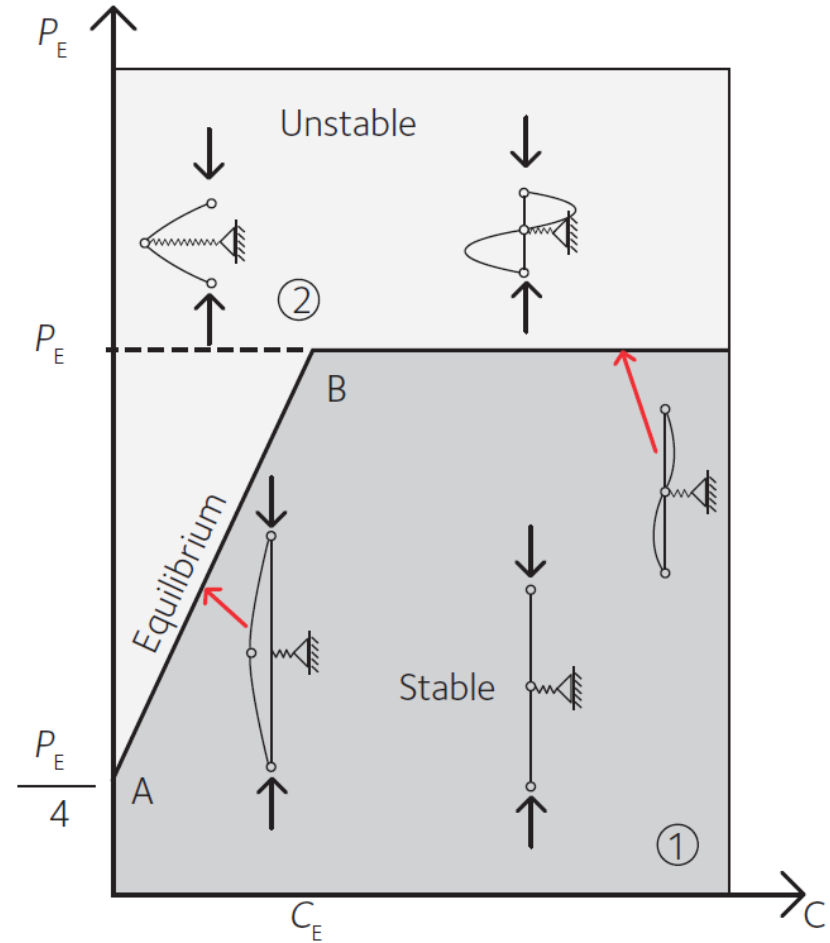
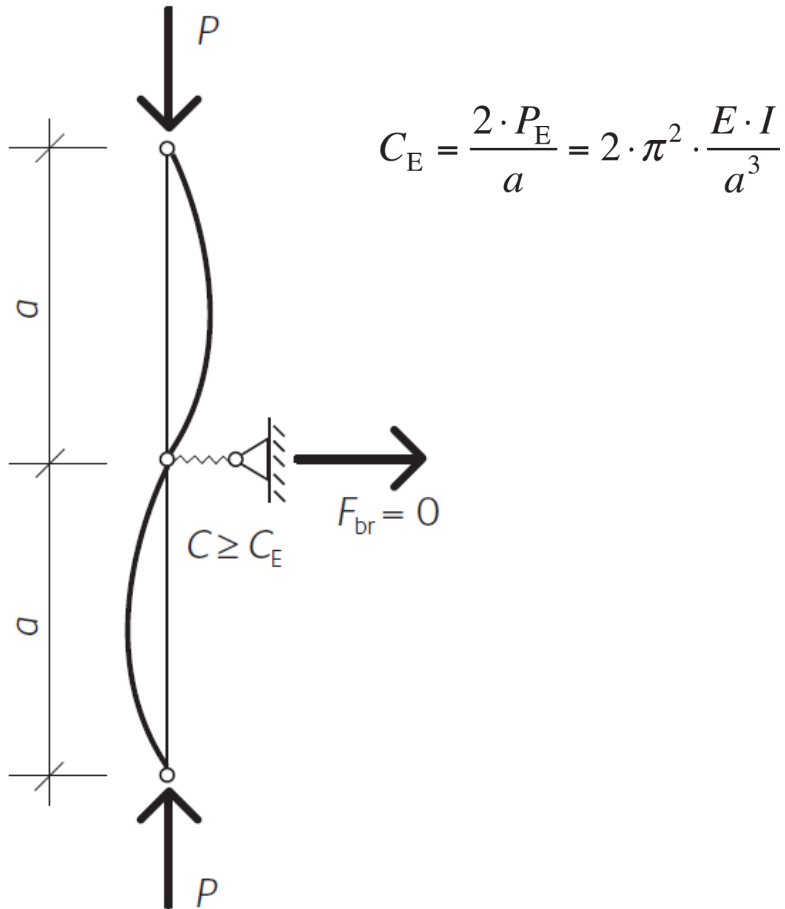
$$\text{Critical } M_{unst} = M_{st} \Rightarrow P = \frac{C \cdot a}{2} \Rightarrow C = \frac{2 \cdot P}{a}$$

$$P \leq P_E = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I}{a^2} \quad \rightarrow \quad C_E = \frac{2 \cdot P_E}{a} = 2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I}{a^3}$$

Crocetti, Horizontal stabilization
En Borgström (2016), Design of timber structures

REDUCCIÓN DE LUCES DE PANDEO

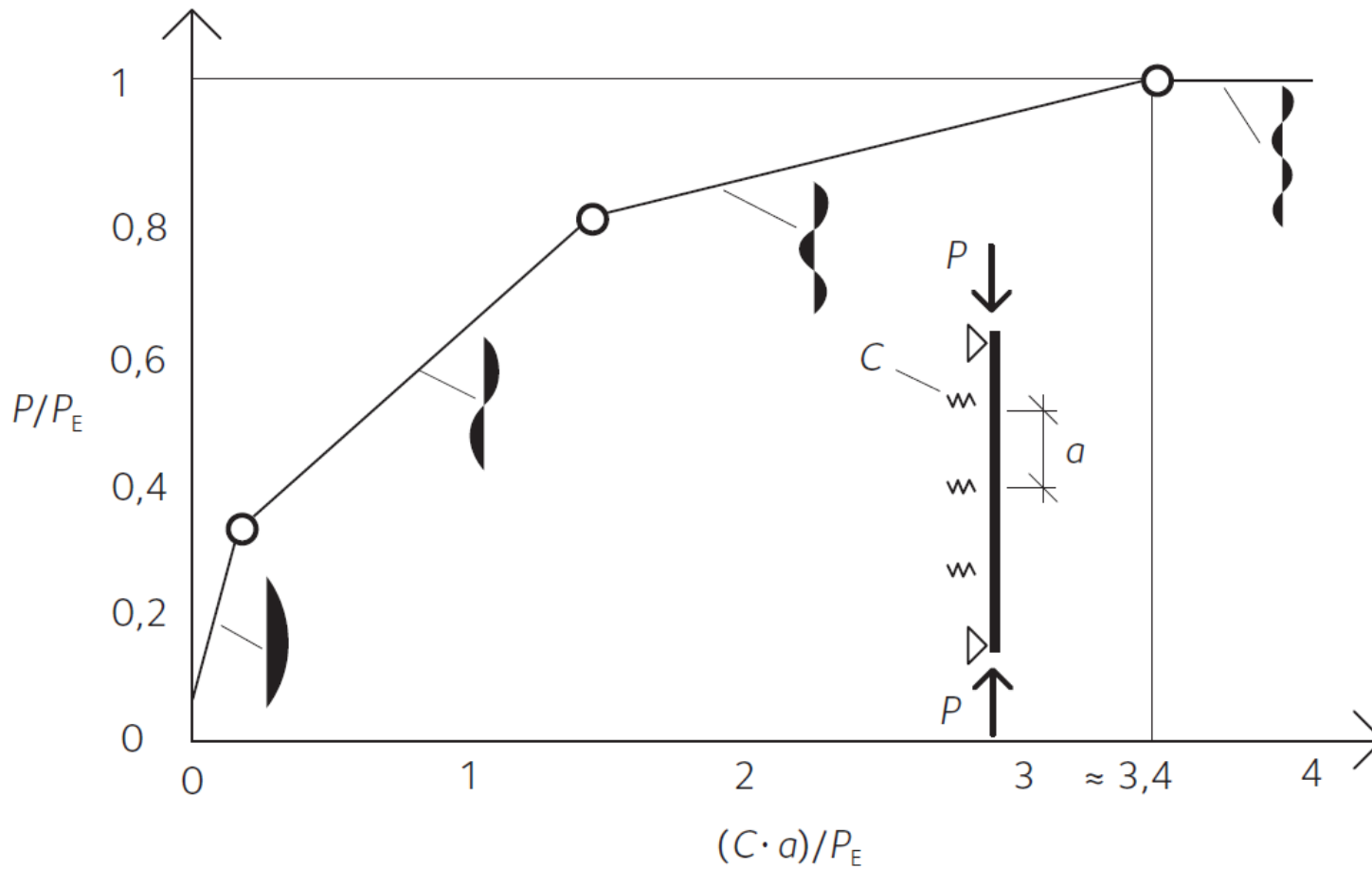
RIGIDEZ MÍNIMA EN PIEZAS COMPRIMIDAS



Crocetti, Horizontal stabilization
En Borgström (2016), Design of timber structures

REDUCCIÓN DE LUCES DE PANDEO

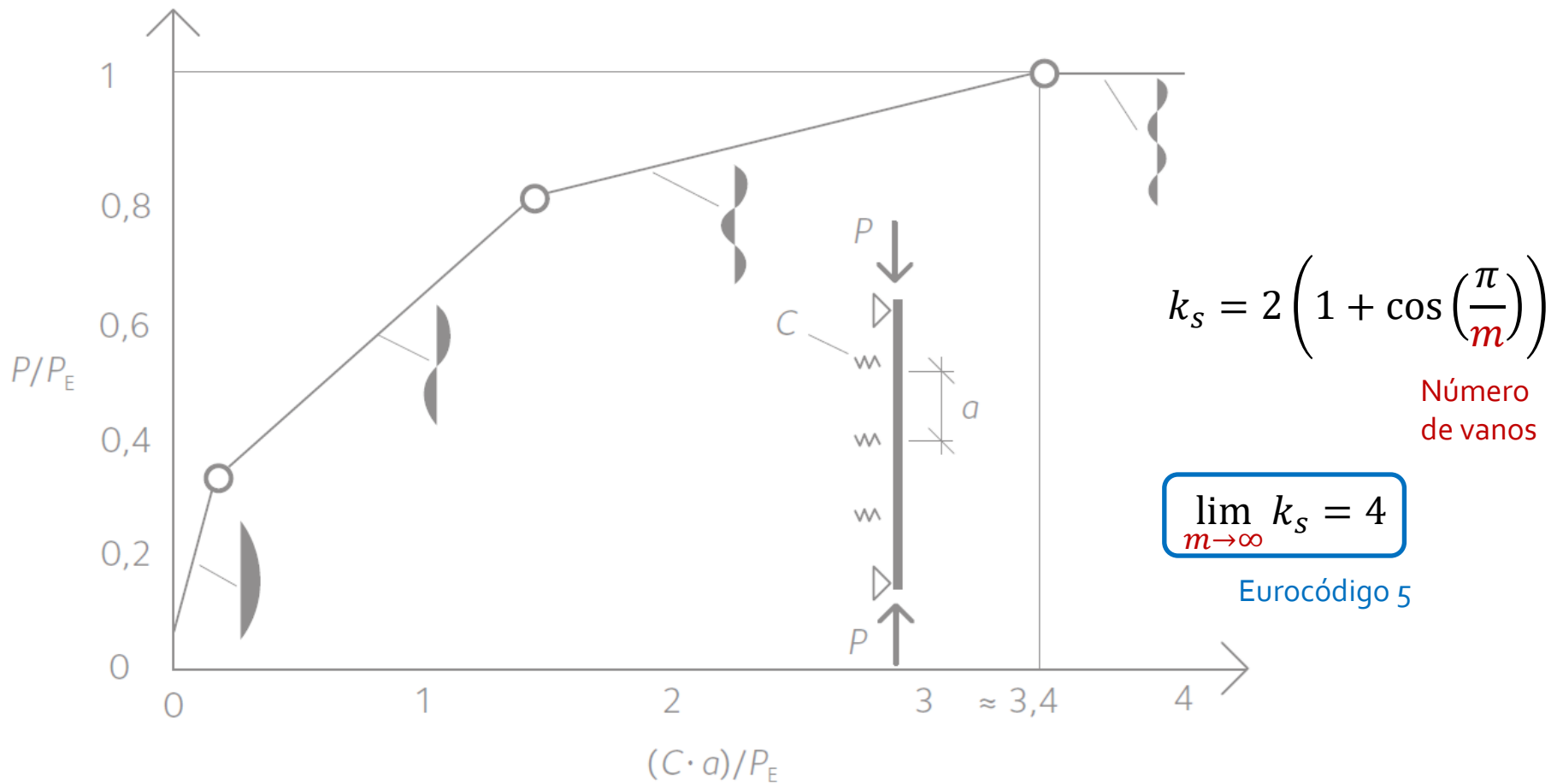
RIGIDEZ MÍNIMA EN PIEZAS COMPRIMIDAS



Crocetti, Horizontal stabilization
En Borgström (2016), Design of timber structures

REDUCCIÓN DE LUCES DE PANDEO

RIGIDEZ MÍNIMA EN PIEZAS COMPRIMIDAS



Crocetti, Horizontal stabilization
En Borgström (2016), Design of timber structures

REDUCCIÓN DE LUCES DE PANDEO

RESISTENCIA MÍNIMA EN PIEZAS COMPRIMIDAS

Valor de la fuerza estabilizadora, F_d

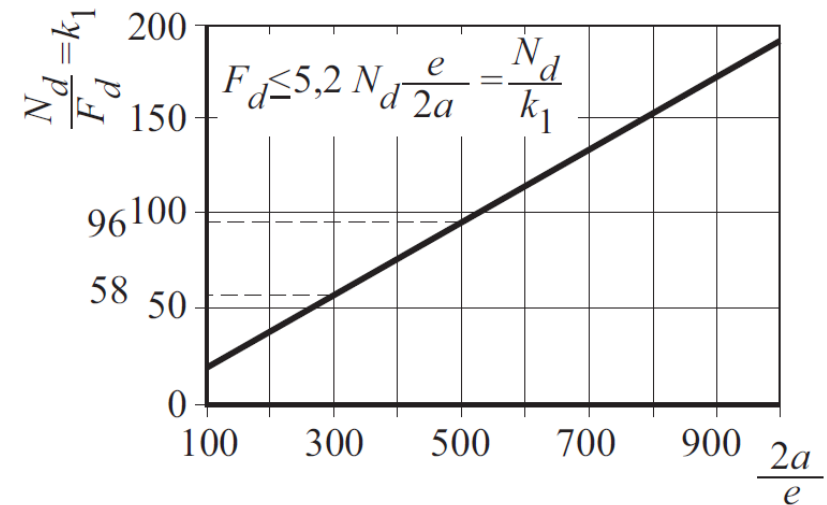
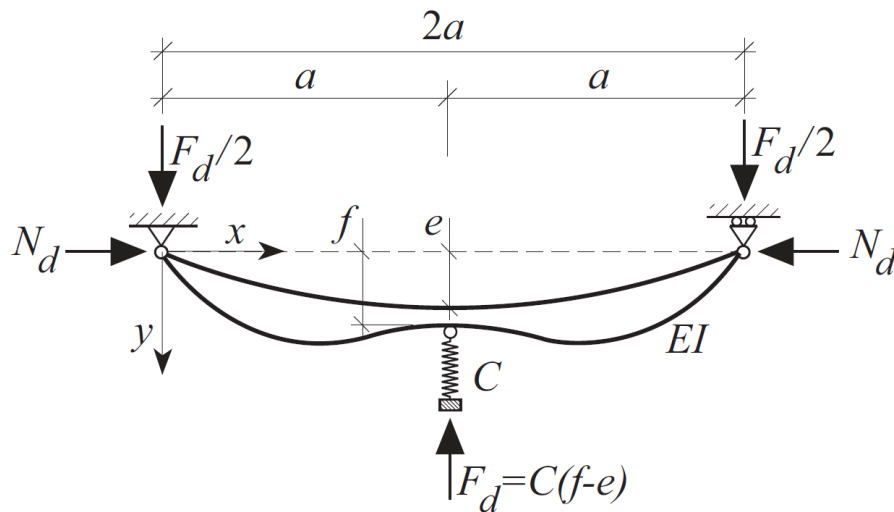
Eurocódigo 5

Asmarker *et al*, Diaphragms and bracings

En Blaß and Sandhaas (2017), Timber Engineering. Principles for Design

$$F_d = \begin{cases} \frac{N_d}{k_{f,1}} & \text{para madera maciza} \\ \frac{N_d}{k_{f,2}} & \text{para madera laminada encolada} \\ \frac{N_d}{k_{f,2}} & \text{para madera microlaminada (LVL)} \end{cases}$$

Factor de modificación	Rango
k_s	4 a 1
$k_{f,1}$	50 a 80
$k_{f,2}$	80 a 100
$k_{f,3}$	30 a 80



REDUCCIÓN DE LUCES DE PANDEO

PIEZAS FLECTADAS

Obtención de F_d equivalente en piezas flectadas

Eurocódigo 5

(4) El valor de cálculo de la fuerza estabilizadora F_d para el borde comprimido de una viga de sección rectangular debería determinarse de acuerdo con el párrafo (3) del apartado 9.2.5.2.

donde

$$N_d = (1 - k_{\text{crit}}) \frac{M_d}{h} \quad (9.36)$$

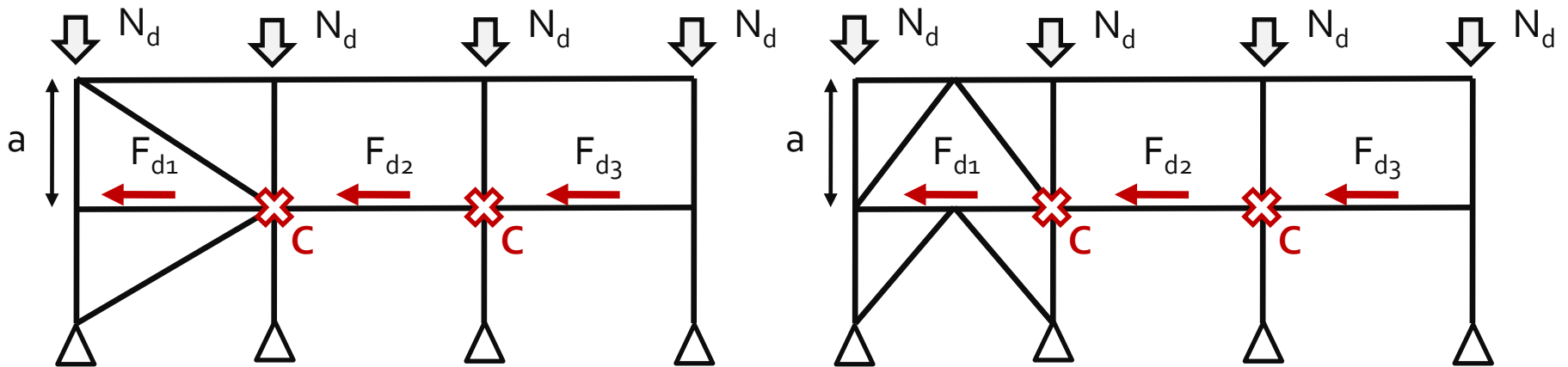
El valor de k_{crit} debería determinarse a partir del párrafo (4) del apartado 6.3.3 para el caso de la viga sin arriostramiento, y M_d es el valor de cálculo del momento máximo que actúa en la viga de canto h .

Con el valor de N_d se halla la rigidez y resistencia de la misma forma que para piezas comprimidas

REDUCCIÓN DE LUCES DE PANDEO

ARRIOSTRAMIENTO DE VARIAS PIEZAS

¿Qué ocurre cuando se deben arriostrar varias piezas (vigas o columnas, por ejemplo)?

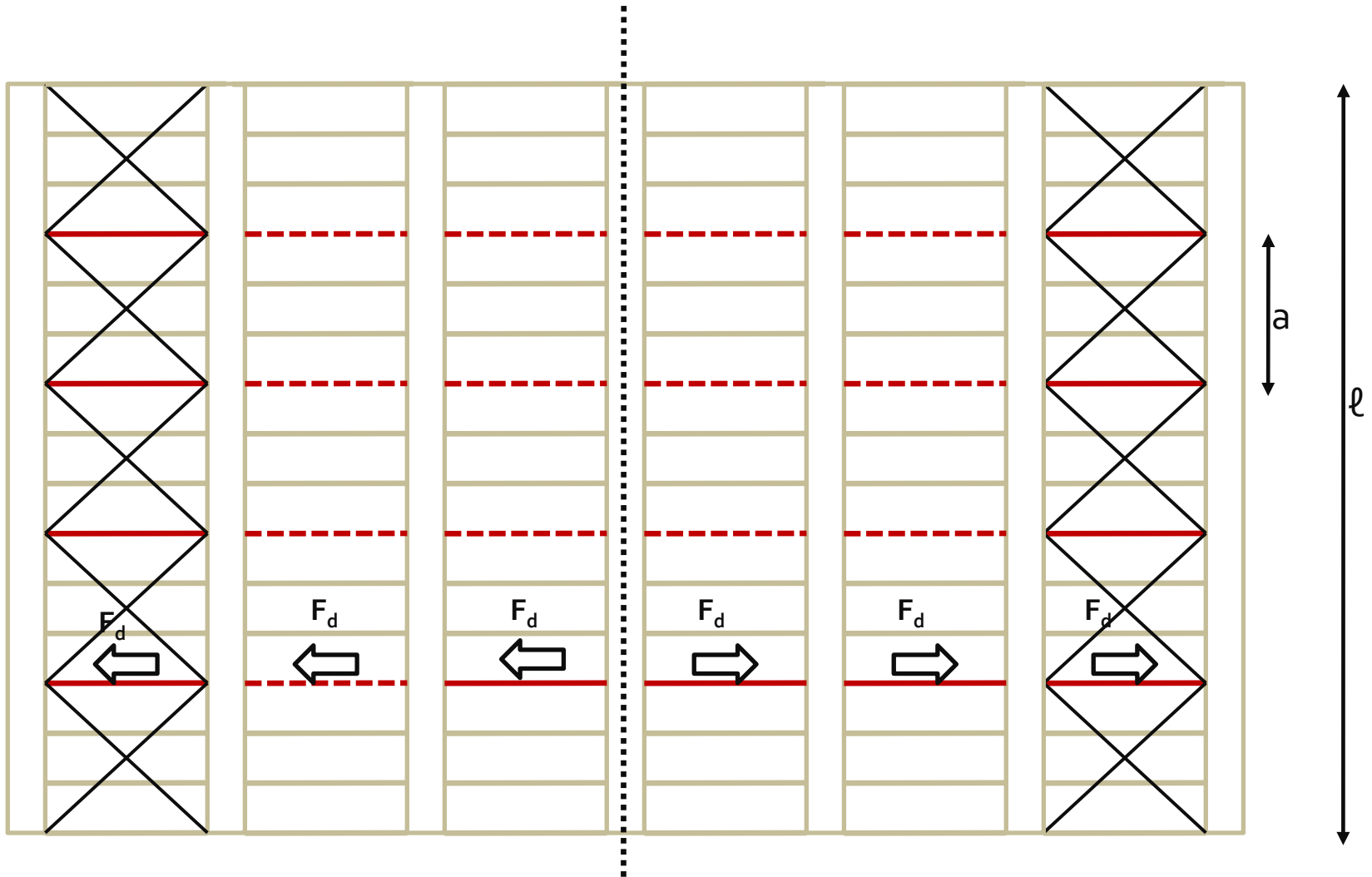


$$F_d = F_{d1} + F_{d2} + F_{d3}$$

$$F_d = F_{d1} + F_{d2} + F_{d3}$$

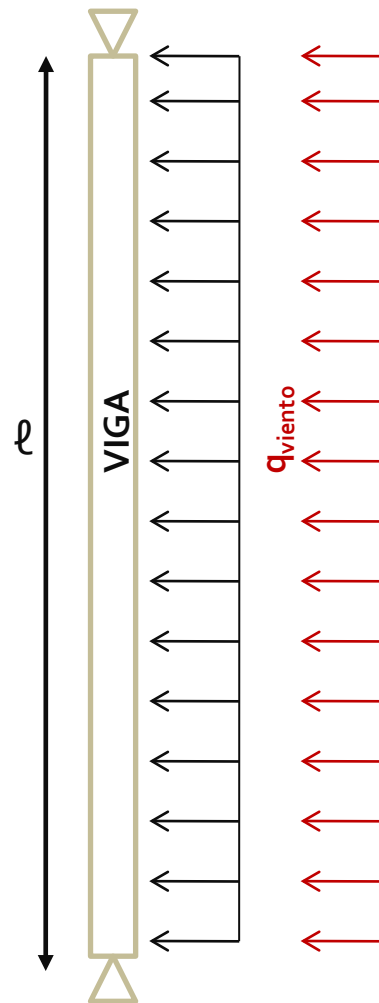
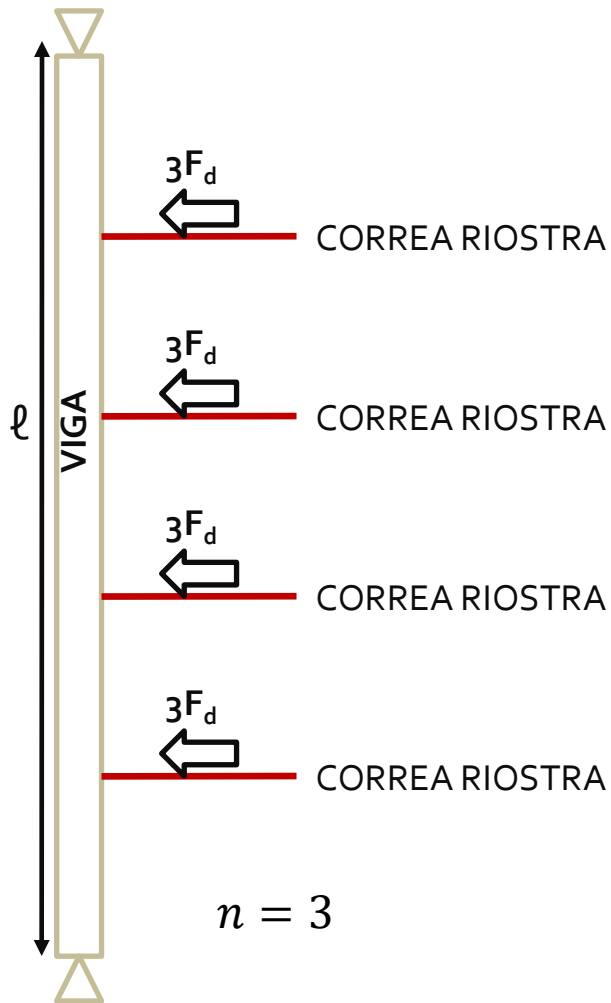
REDUCCIÓN DE LUCES DE PANDEO

ARRIOSTRAMIENTO DE VARIAS PIEZAS



REDUCCIÓN DE LUCES DE PANDEO

ARRIOSTRAMIENTO DE SISTEMAS DE VIGAS O CERCHAS



Sistemas equivalentes

$$q_d = k_l \frac{n N_d}{k_{f,3l}}$$

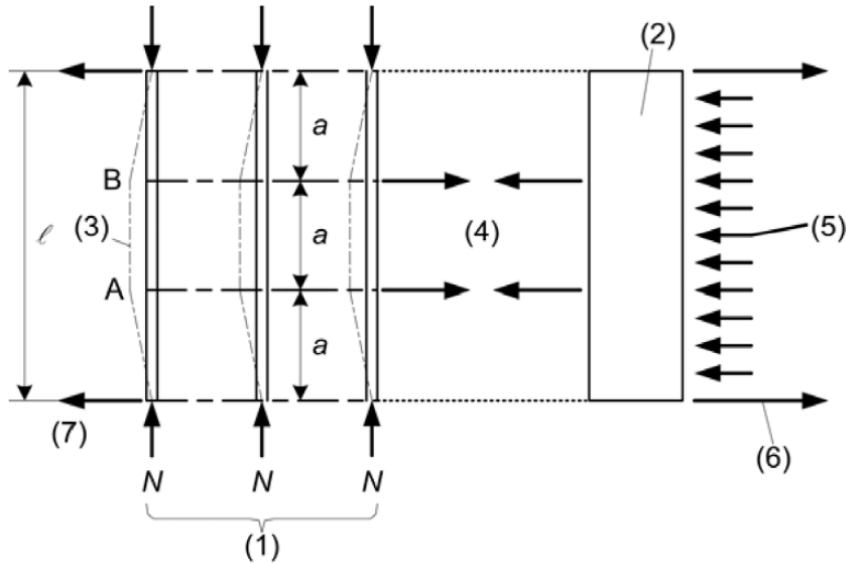
$$k_l = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \sqrt{\frac{15}{l}} \end{array} \right.$$

REDUCCIÓN DE LUCES DE PANDEO

ARRIOSTRAMIENTO DE SISTEMAS DE VIGAS O CERCHAS

Obtención de q_d equivalente en sistemas de vigas o cerchas

Eurocódigo 5



Factor de modificación	Rango
k_s	4 a 1
$k_{f,1}$	50 a 80
$k_{f,2}$	80 a 100
$k_{f,3}$	30 a 80

- (1) n piezas del sistema de cerchas
- (2) Arriostramiento
- (3) Deformación del sistema de cerchas debido a las imperfecciones y a los efectos de segundo orden
- (4) Fuerzas de estabilización
- (5) Carga externa sobre el arriostramiento
- (6) Reacciones del arriostramiento debidas a las cargas externas
- (7) Reacciones del sistema de cerchas debidas a las fuerzas de estabilización

(2) La deformación horizontal del sistema de arriostramiento debida a la fuerza q_d y a cualquier otra carga externa (como por ejemplo el viento), no debería exceder $l/500$.

1. Introducción
2. Estabilidad de la estructura
3. Resistencia y transmisión de fuerzas
4. Reducción de luces de pandeo
5. **Disposiciones constructivas**

Estructuras de madera

7.5. Arriostramientos

Ver diapositivas
de Estabilidad

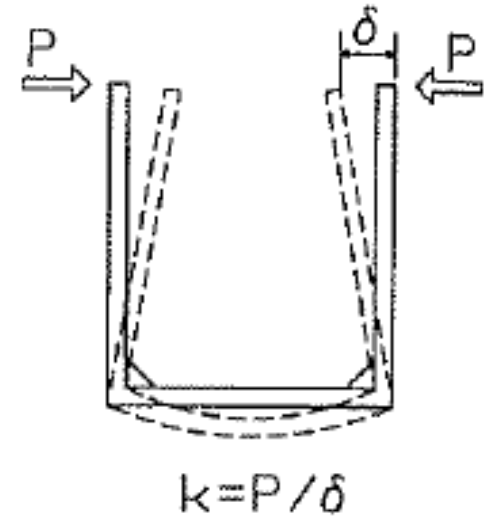
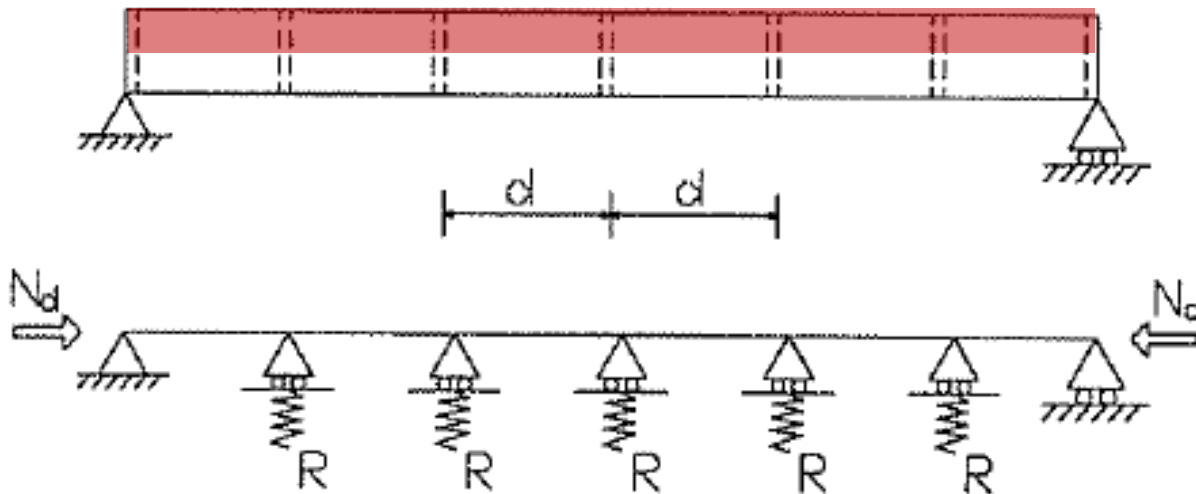
DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS

IMPOSIBILIDAD DE ARRIOSTRAR CON ELEMENTOS SECUNDARIOS LA ZONA COMPRIMIDA

Comprobación simplificada:

Considerar la parte comprimida de la viga como un pilar ($h/2$) sometido a un axil N_d

$$N_d = \frac{\sigma_{m,d} \cdot b \cdot \frac{h}{2}}{2}$$



Comprobación para un pilar comprimido con apoyos elásticos a una distancia "d":



Ejercicios

Letra

Examen diciembre 2020

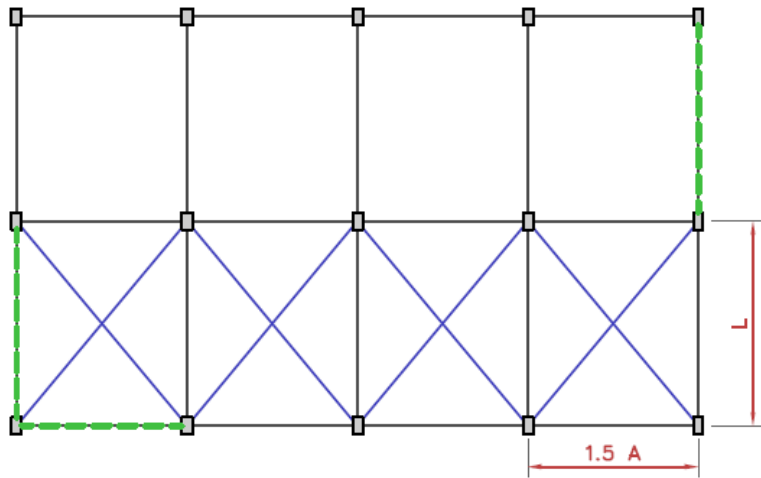
Ejercicio 2

Considérese una estructura de madera, de vigas simplemente apoyadas sobre pilares (tipo entrepiso), sobre la que actúa una carga permanente de 1.4 kN/m^2 (incluyendo el peso propio de la estructura) y una sobrecarga de uso uniforme de 2.5 kN/m^2 ($\psi_1 = 0.5$).

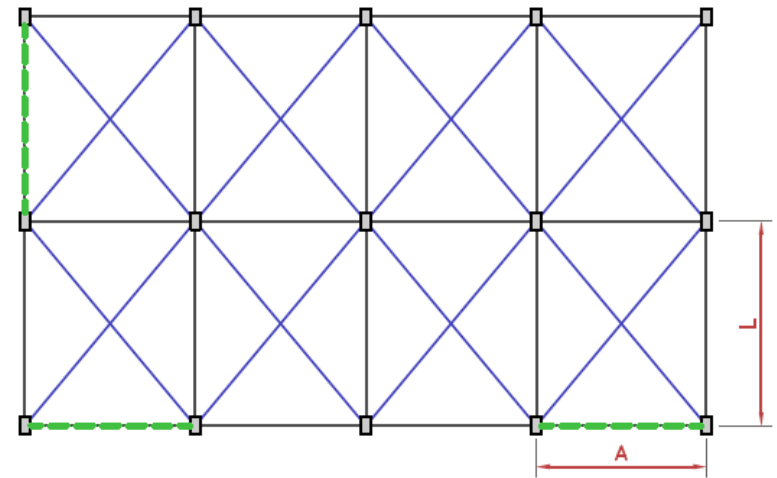
La estructura está emplazada en el interior de un edificio y está resuelta con madera laminada encolada de *Abies alba*, GL24h. Las vigas tienen una sección rectangular de $130 \times 493 \text{ mm}^2$, mientras que los pilares tienen una sección de $130 \times 365 \text{ mm}^2$. Estos últimos tienen una longitud de pandeo de 4.10 m respecto al eje fuerte y de la mitad respecto al eje débil.

Parte a

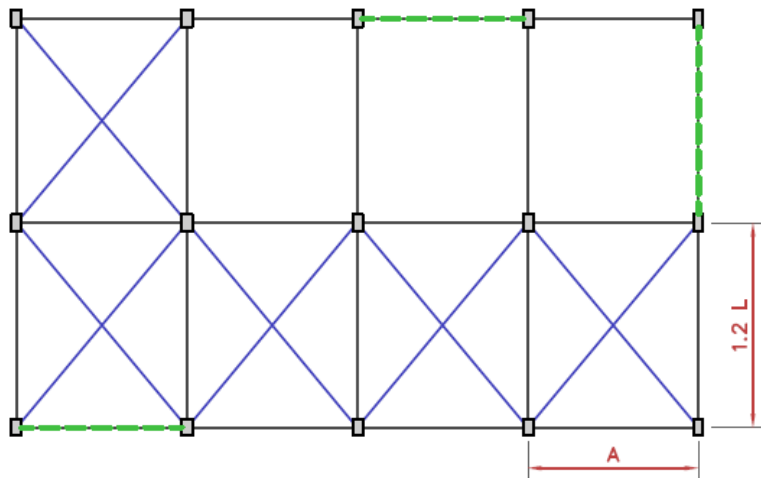
Para resolver el arriostramiento global de la estructura, se plantean cuatro soluciones distintas, como se muestra en la figura. En azul se representan los tensores a nivel de planta y en verde los planos arriostrados a nivel de fachadas. Cada una de las plantas tienen distintas dimensiones, con $A = 4.60 \text{ m}$, y $L = 3.80 \text{ m}$.



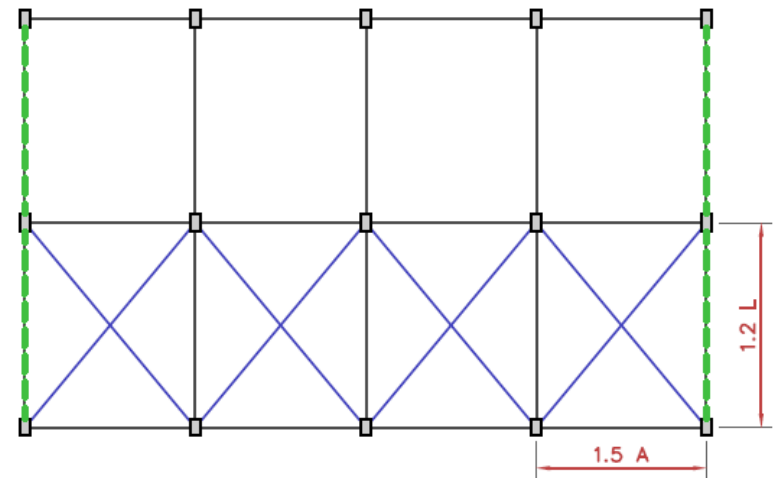
PLANTA I



PLANTA II



PLANTA III



PLANTA IV

Letra

Examen diciembre 2020

Ejercicio 2

Parte a

Para resolver el arriostramiento global de la estructura, se plantean cuatro soluciones distintas, como se muestra en la figura. En azul se representan los tensores a nivel de planta y en verde los planos arriostrados a nivel de fachadas. Cada una de las plantas tienen distintas dimensiones, con $A = 4.60$ m, y $L = 3.80$ m.

Determinar la carga de compresión que resiste el pilar más exigido de la única estructura que está correctamente arriostrada (se pide la carga de la combinación más desfavorable, en ELU). Ingresar el valor en kN, con al menos una cifra después de la coma.

Parte b

Calcular el coeficiente de verificación de la comprobación a directa con inestabilidad, considerando que solo actúa la carga correcta del ejercicio anterior perfectamente centrada. Ingresar el coeficiente con al menos tres cifras después de la coma.



**Muchas gracias
por la atención**