



8.1. Estados Límite de Servicio (ELS) - Deformaciones



1. Introducción

2. Deformación de la madera
3. Cálculo de las deformaciones verticales y valores límite según EC-5 y CTE
4. Influencia del contenido de humedad en la deformación

8.1. Estados Límite de Servicio (ELS) - Deformaciones



ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO Y ÚLTIMOS

ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

SEGURIDAD DE PERSONAS

SEGURIDAD DE LA ESTRUCTURA

ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

COMODIDAD Y CONFORT DE USUARIOS

APARIENCIA Y ESTÉTICA DE CONSTRUCCIONES

FUNCIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA O DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES BAJO USO NORMAL



ESTADOS LÍMITE DE DEFORMACIONES

DEFORMACIONES VERTICALES

DEFORMACIONES HORIZOTALES

ESTADOS LÍMITE DE VIBRACIONES



COMBINACIONES ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO

COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA

Normalmente p/ efectos debido a acciones de corta duración irreversibles.

$$\sum_{j \geq 1} \overset{\text{VALOR CARACTERÍSTICO}}{G_{k,j}} + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \overset{\text{VALOR DE COMBINACIÓN}}{\Psi_{0,i}} \cdot Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$: acción permanente j.
 $Q_{k,1}$: valor característico de la acción variable predominante (podría ser cualquier acción).
 $Q_{k,i}$: valor característico de la acción acción variable concomitante.
 $\Psi_{0,i}$: coeficientes de simultaneidad para la acción variable i.

COMBINACIÓN FRECUENTE

Normalmente p/ efectos debido a acciones de larga duración reversibles.

$$\sum_{j \geq 1} \overset{\text{VALOR FRECUENT}}{G_{k,j}} + \overset{E}{\Psi_{1,1}} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \overset{\text{VALOR CUASI-PERMANENTE}}{\Psi_{2,i}} \cdot Q_{k,i}$$

COMBINACIÓN CUASI-PERMANENTE

Normalmente para efectos a largo plazo y para la apariencia de la estructura.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \overset{\text{VALOR CUASI-PERMANENTE}}{\Psi_{2,i}} \cdot Q_{k,i}$$

VALOR DE COMBINACIÓN ($Fk \cdot \psi_0$)

Valor de la carga en caso que actúe simultáneamente con otra carga en su máxima intensidad.

VALOR FRECUENTE ($Fk \cdot \psi_1$)

Valor de la carga sobrepasado durante un período corto de tiempo respecto a la vida útil de la estructura.

VALOR CUASI-PERMANENTE ($Fk \cdot \psi_2$)

Valor de la carga sobrepasado durante gran parte de la vida útil de la estructura.



ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO

¿POR QUÉ LIMITAR LAS DEFORMACIONES?

COMODIDAD Y CONFORT DE USUARIOS



LIMITAR LA FLECHA INSTANTANEA O VIBRACIONES

APARIENCIA O ESTÉTICA DE CONSTRUCCIONES



LIMITAR LA FLECHA A LARGO PLAZO

FUNCIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA O DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES BAJO USO NORMAL



LIMITAR LA FLECHA ACTIVA (*)

(*) FLECHA ACTIVA DE UN ELEMENTO: FLECHA A LARGO PLAZO, CONSIDERANDO SOLO LAS DEFORMACIONES QUE SE PRODUCEN DESPUES DE LA PUESTA EN OBRA DEL ELEMENTO. EJEMPLO: MURO



1. Introducción

2. Deformación de la madera

3. Cálculo de las deformaciones verticales y
valores límite según EC-5 y CTE

4. Influencia del contenido de humedad en la
deformación

8.1. Estados Límite de Servicio (ELS) - Deformaciones



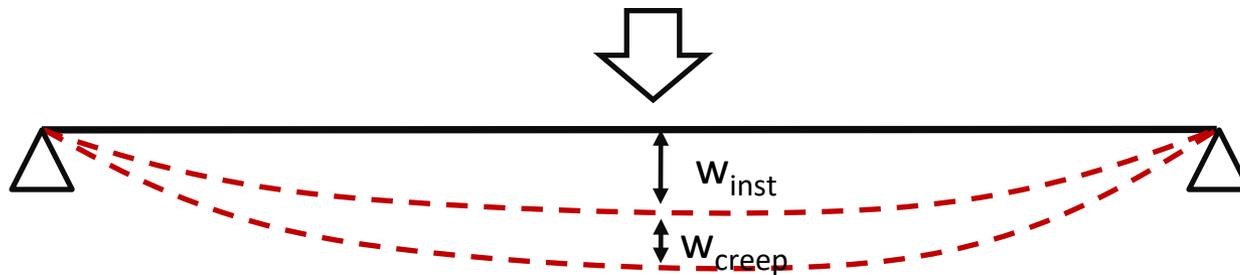
DEFORMACIÓN DE LA MADERA

DEFORMACIÓN EN MADERA

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA (w_{inst})2. DEFORMACIÓN DIFERIDA (w_{creep})

3. DEFORMACIÓN DIFERIDA REMANENTE

- COMPROBACIÓN CRÍTICA DEBIDO AL BAJO MÓDULO DE ELASTICIDAD E DE LA MADERA
- INFLUENCIA DE G EN LA DEFORMACION
- DEFORMACIÓN DIFERIDA

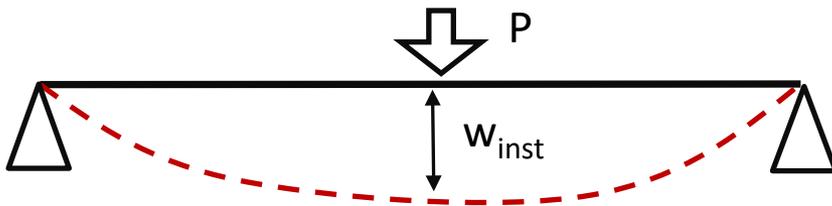


DEFORMACIÓN DE LA MADERA

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA (w_{inst})

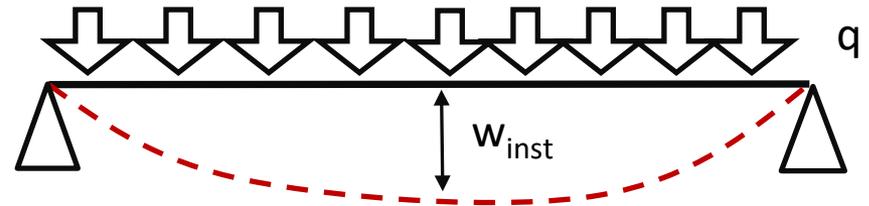
VIGAS DE SECCIÓN UNIFORME

CARGA PUNTUAL EN VIGA BIAPOYADA



$$w_{inst} = \frac{P l^3}{48 E I}$$

CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA



$$w_{inst} = \frac{5 q l^4}{384 E I}$$

INFLUENCIA DEL CORTANTE (G) EN LA DEFORMACIÓN

En la madera, la influencia del cortante en la deformación es mayor que en otros materiales debido al reducido valor de G con respecto a E ($E/G \approx 16$). Referencia: acero ($E/G \approx 2,6$); hormigón ($E/G \approx 2,5$)

CARGA PUNTUAL EN VIGA BIAPOYADA

$$w_{inst} = \frac{P l^3}{48 E I} \left[1 + \frac{6 E}{5 G} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$$

CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA

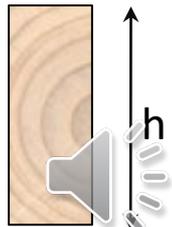
$$w_{inst} = \frac{5 q l^4}{384 E I} \left[1 + \frac{24 E}{25 G} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$$

E y G: valores medios del módulo de elasticidad longitudinal y transversal, respectivamente

I: momento de inercia de la sección transversal de la viga

h: canto de la sección transversal de la viga

l: luz libre de la viga

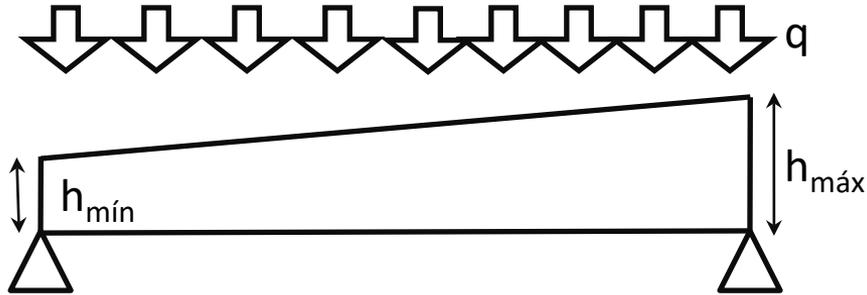


DEFORMACIÓN DE LA MADERA

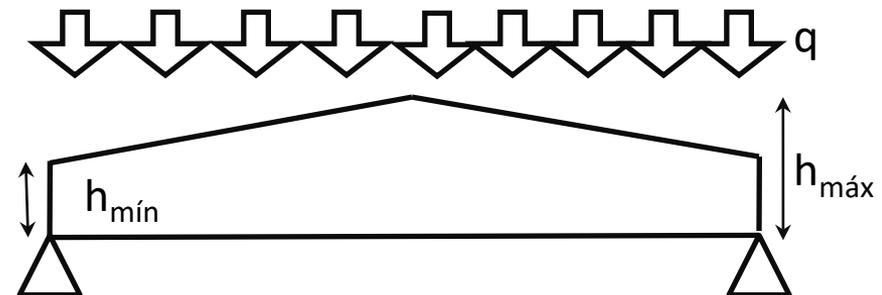
1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA (w_{inst})

VIGAS DE CANTO VARIABLE C/ CARGA UNIFORM. REPARTIDA

VIGA A 1 AGUA

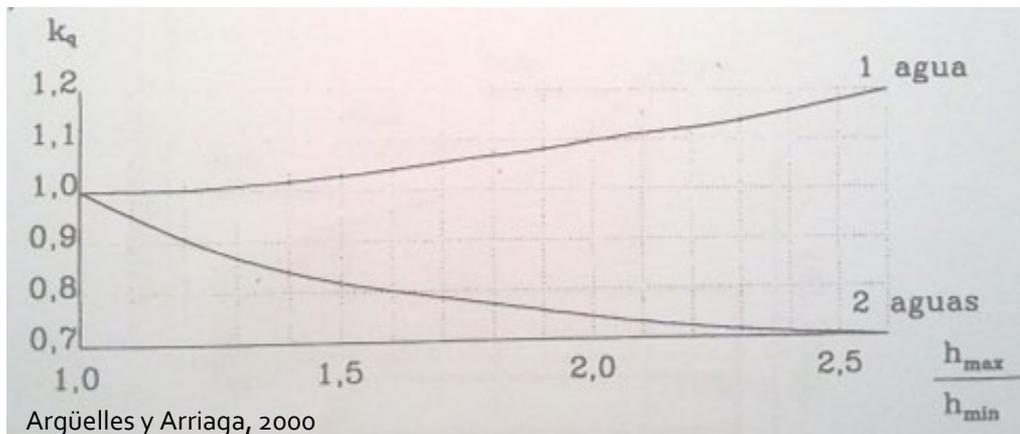


VIGA A 2 AGUAS



$$w_{inst} = K_q \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_m} + \frac{0,35 \cdot q \cdot l^2}{G \cdot b \cdot (h_{max} + h_{min})}$$

(Giordano, Ceccoti, Uzielli, 1993)

 I_m : momento de inercia de la sección media k_q : coeficiente para el cálculo de la flecha en vigas de sección variable:

Argüelles y Arriaga, 2000

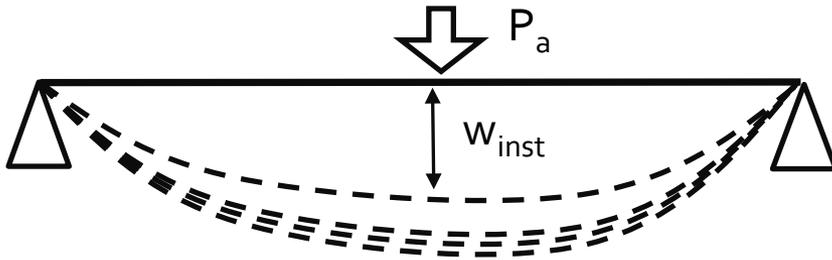
$$I_m = \frac{b \cdot \frac{(h_{min} + h_{max})}{2}}{12}$$



DEFORMACIÓN DE LA MADERA

2. DEFORMACIÓN DIFERIDA (w_{creep})

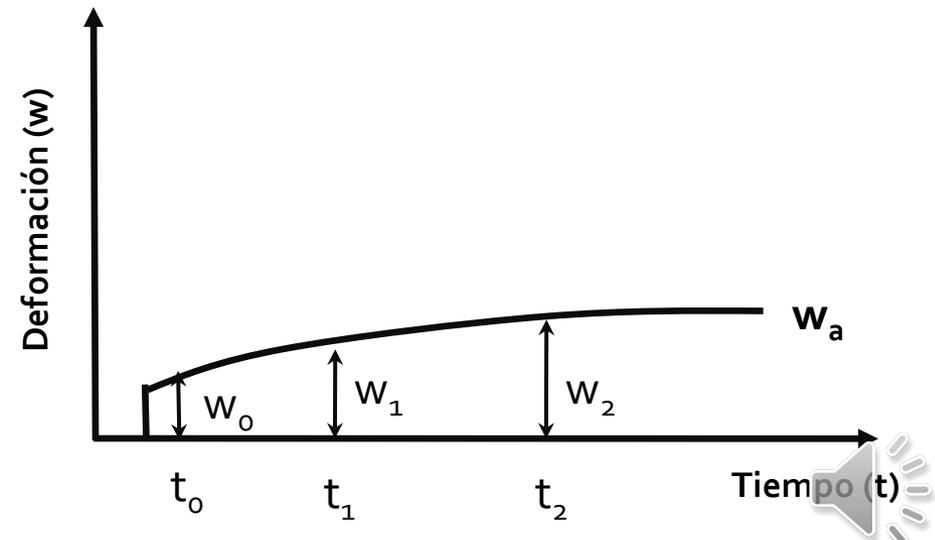
INFLUENCIA DEL TIEMPO EN LA DEFORMACIÓN

CARGA PEQUEÑA PUNTUAL PERMANENTE EN VIGA BIAPOYADA (P_a)

tiempo	deformaciones
t_0	W_{inst}
t_1	W_1
t_2	W_2
...	...
t_a	W_a

$$w = \frac{P_a \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} \left[1 + \frac{6}{5} \cdot \frac{E}{G} \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$$

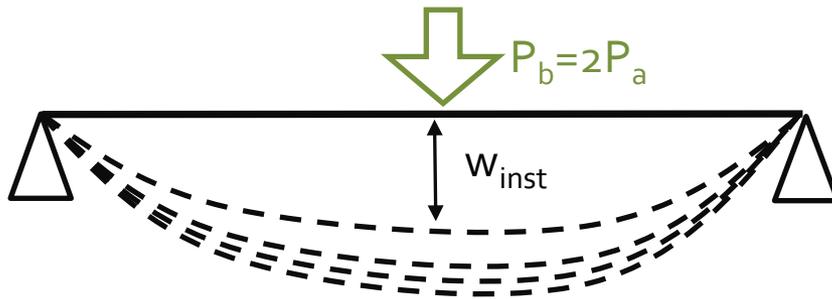
Si la carga permanente permanece, la deformación aumenta con el tiempo, aunque el incremento de deformación se va haciendo cada vez menor hasta que se estabiliza en una deformación w_a .



DEFORMACIÓN DE LA MADERA

2. DEFORMACIÓN DIFERIDA (w_{creep})

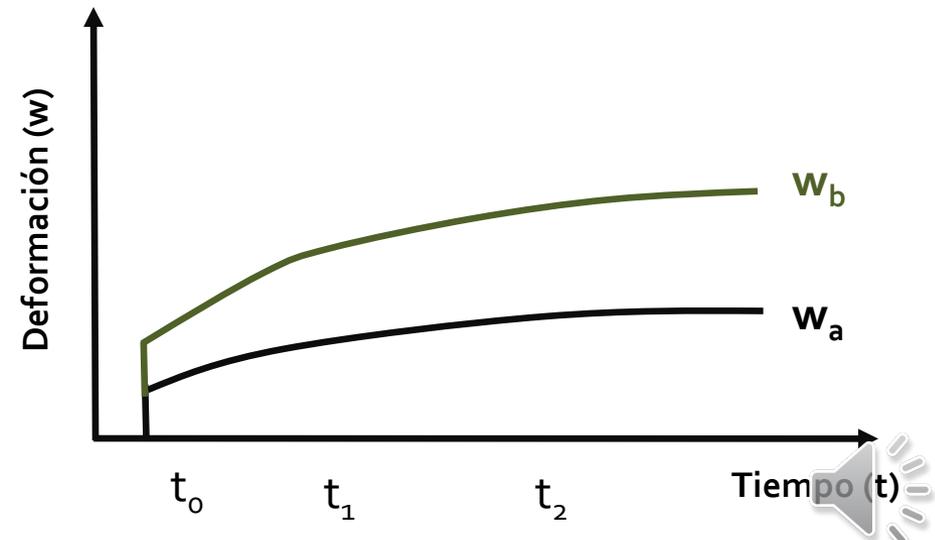
INFLUENCIA DEL TIEMPO EN LA DEFORMACIÓN

INCREMENTO EN EL DOBLE DE LA CARGA PUNTUAL PERMANENTE EN LA VIGA BIAPROYADA ($P_b=2P_a$)

tiempo deformaciones

t_0	W_{inst}	$w = \frac{P_b \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} \left[1 + \frac{6}{5} \cdot \frac{E}{G} \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$
t_1	W_1	
t_2	W_2	
...	...	
t_b	W_b	

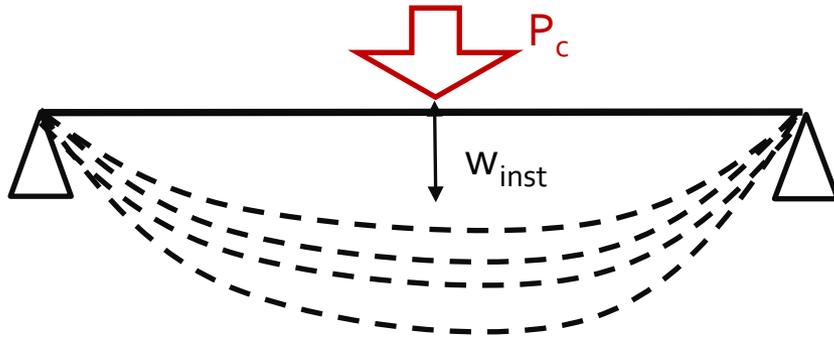
Para una carga permanente ($P_b=2P_a$), la deformación elástica instantánea se duplica y las deformaciones diferidas se incrementan más o menos en la misma proporción



DEFORMACIÓN DE LA MADERA

2. DEFORMACIÓN DIFERIDA (w_{creep})

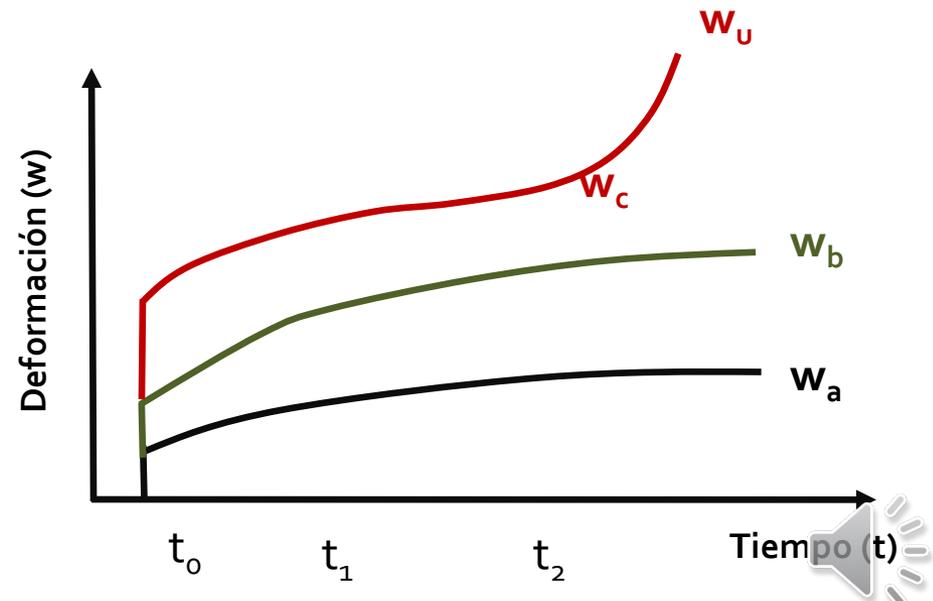
INFLUENCIA DEL TIEMPO EN LA DEFORMACIÓN

CARGA PUNTUAL PERMANENTE EN VIGA BIAPOYADA QUE AGOTE LA PIEZA (P_c)

tiempo deformaciones

t_0	W_{inst}	$w = \frac{P_b \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} \left[1 + \frac{6}{5} \cdot \frac{E}{G} \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$
t_1	W_1	
t_2	W_2	
...	...	
t_c	W_c	

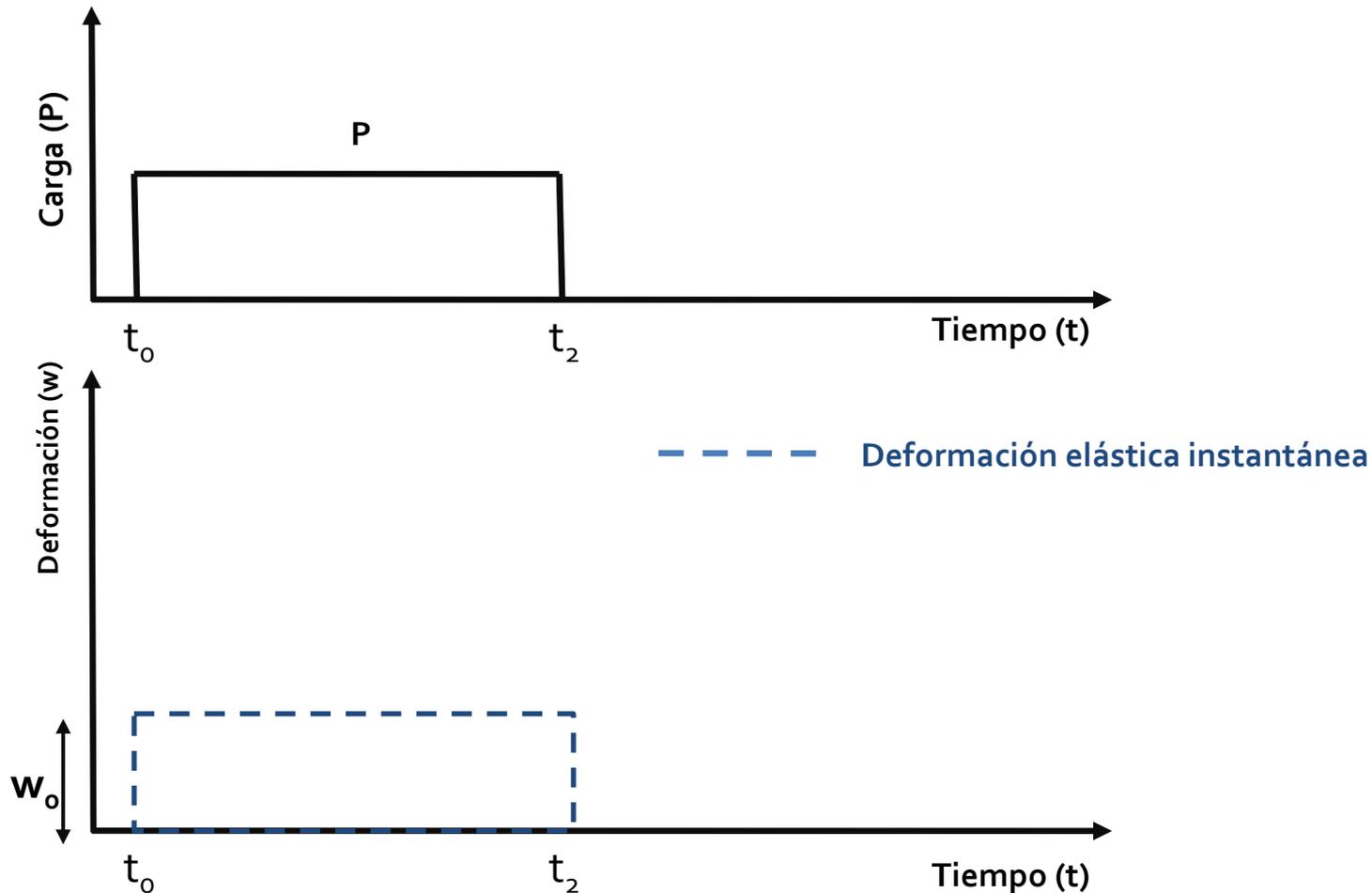
Para una carga permanente (P_c) que **agote la pieza**, la deformación elástica instantánea y el primer tramo de la diferida se comporta de modo similar a las cargas anteriores. En el último tramo de comportamiento, la deformación aumenta hasta producir la rotura



DEFORMACIÓN DE LA MADERA

DEFORMACIÓN TOTAL

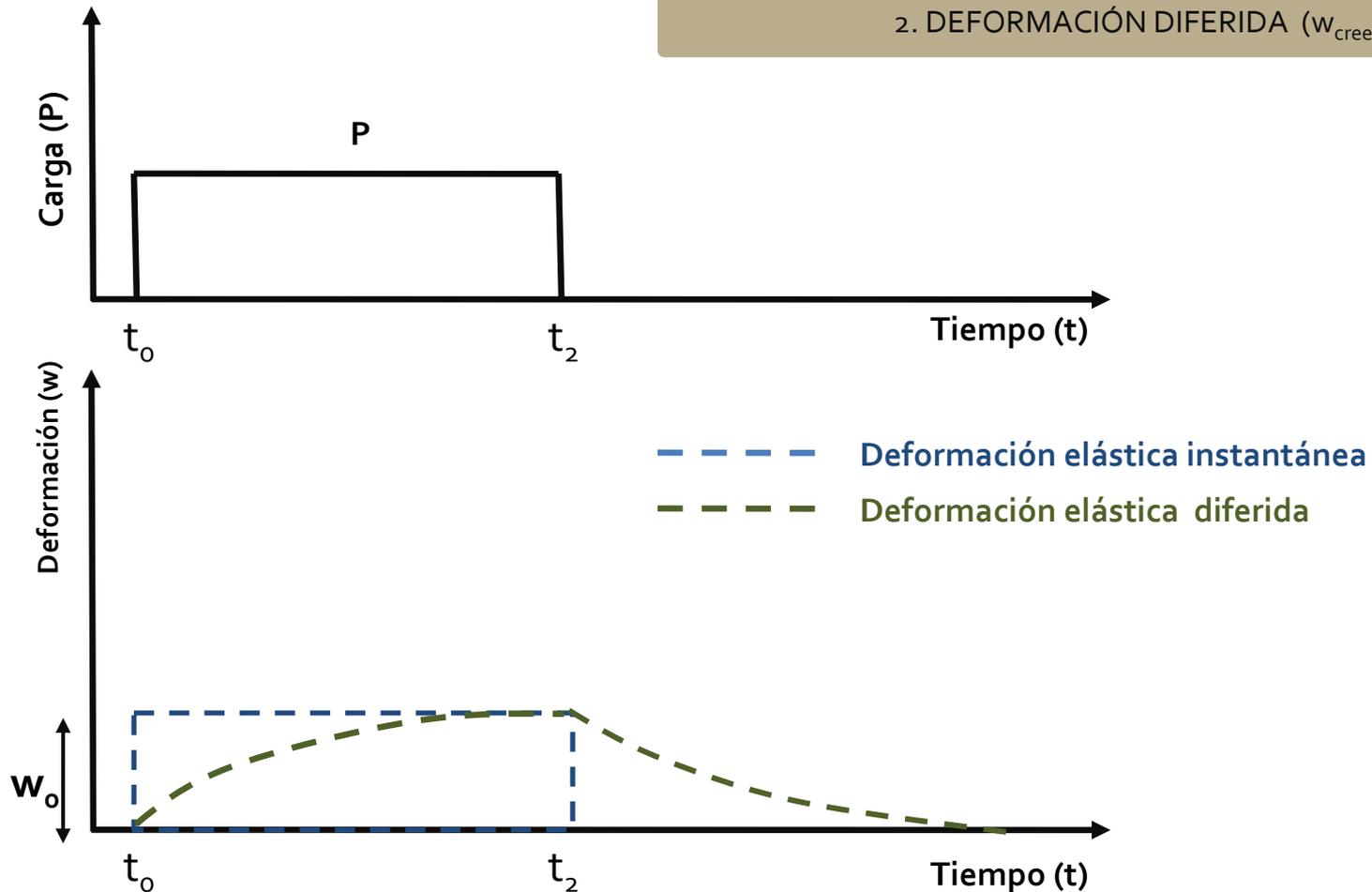
CARGA Y DESCARGA / DEFORMACION

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA (w_{inst})

DEFORMACIÓN DE LA MADERA

DEFORMACIÓN TOTAL

CARGA Y DESCARGA / DEFORMACION

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA (w_{inst})2. DEFORMACIÓN DIFERIDA (w_{creep})

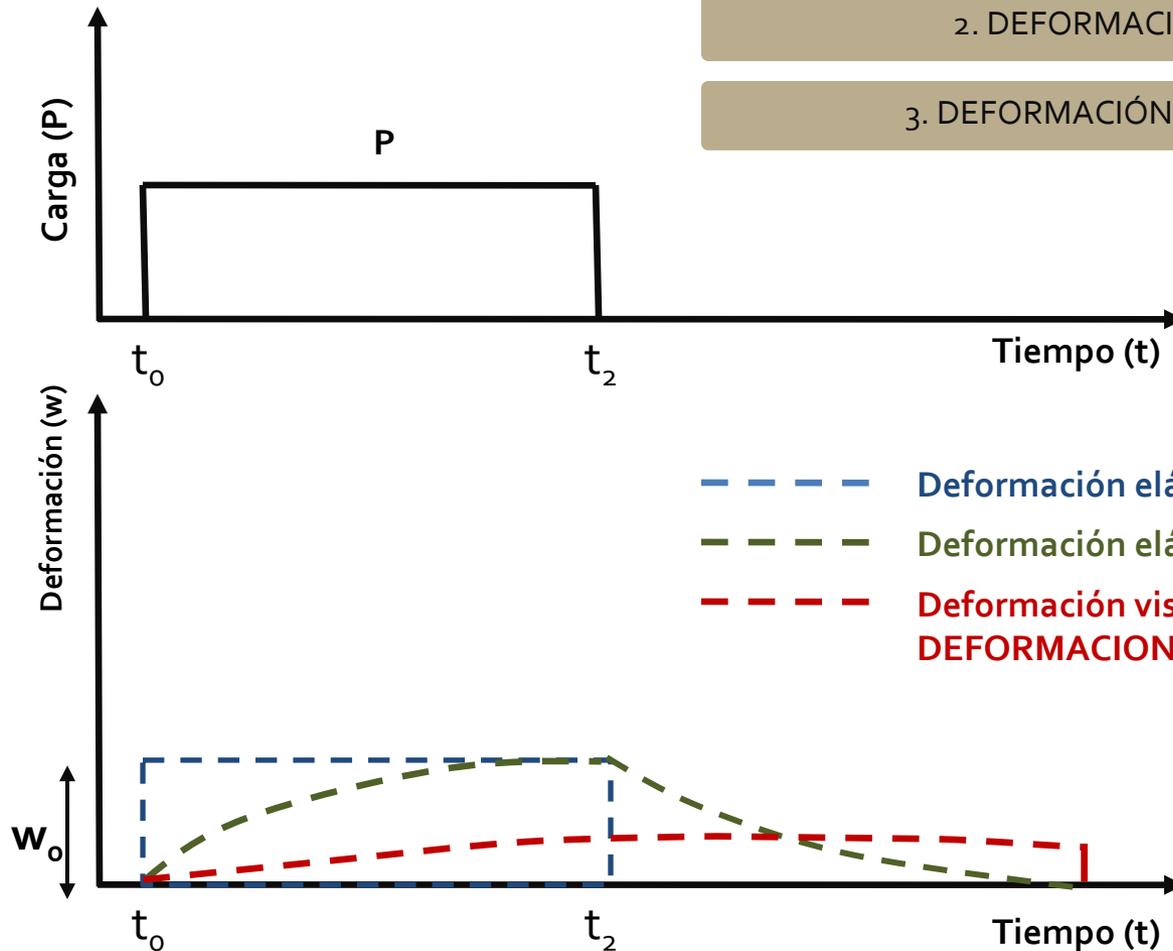
DEFORMACIÓN DE LA MADERA

DEFORMACIÓN TOTAL

CARGA Y DESCARGA / DEFORMACION

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA (w_{inst})2. DEFORMACIÓN DIFERIDA (w_{creep})

3. DEFORMACIÓN DIFERIDA REMANENTE



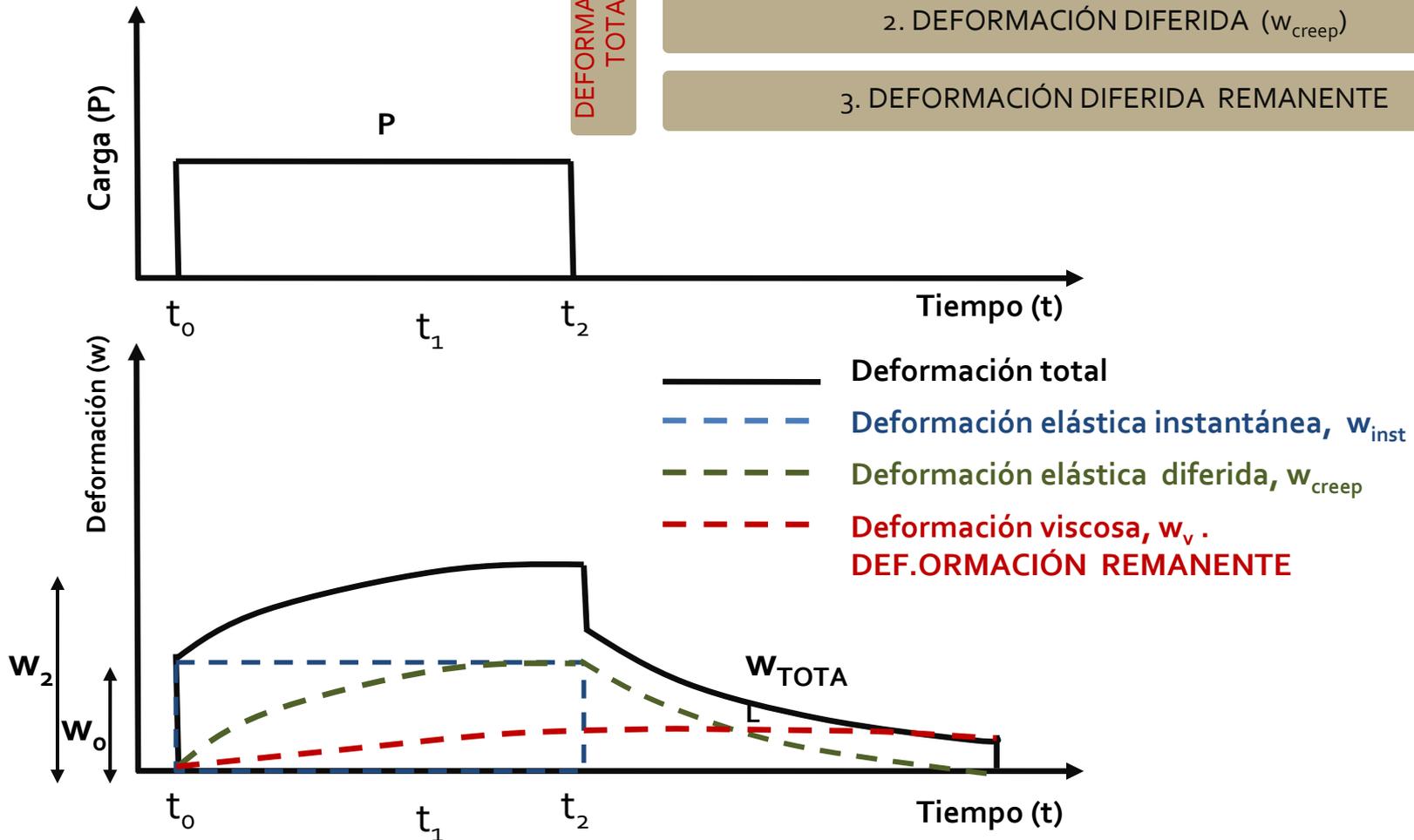
DEFORMACIÓN DE LA MADERA

DEFORMACIÓN TOTAL

CARGA Y DESCARGA / DEFORMACION

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA (w_{inst})2. DEFORMACIÓN DIFERIDA (w_{creep})

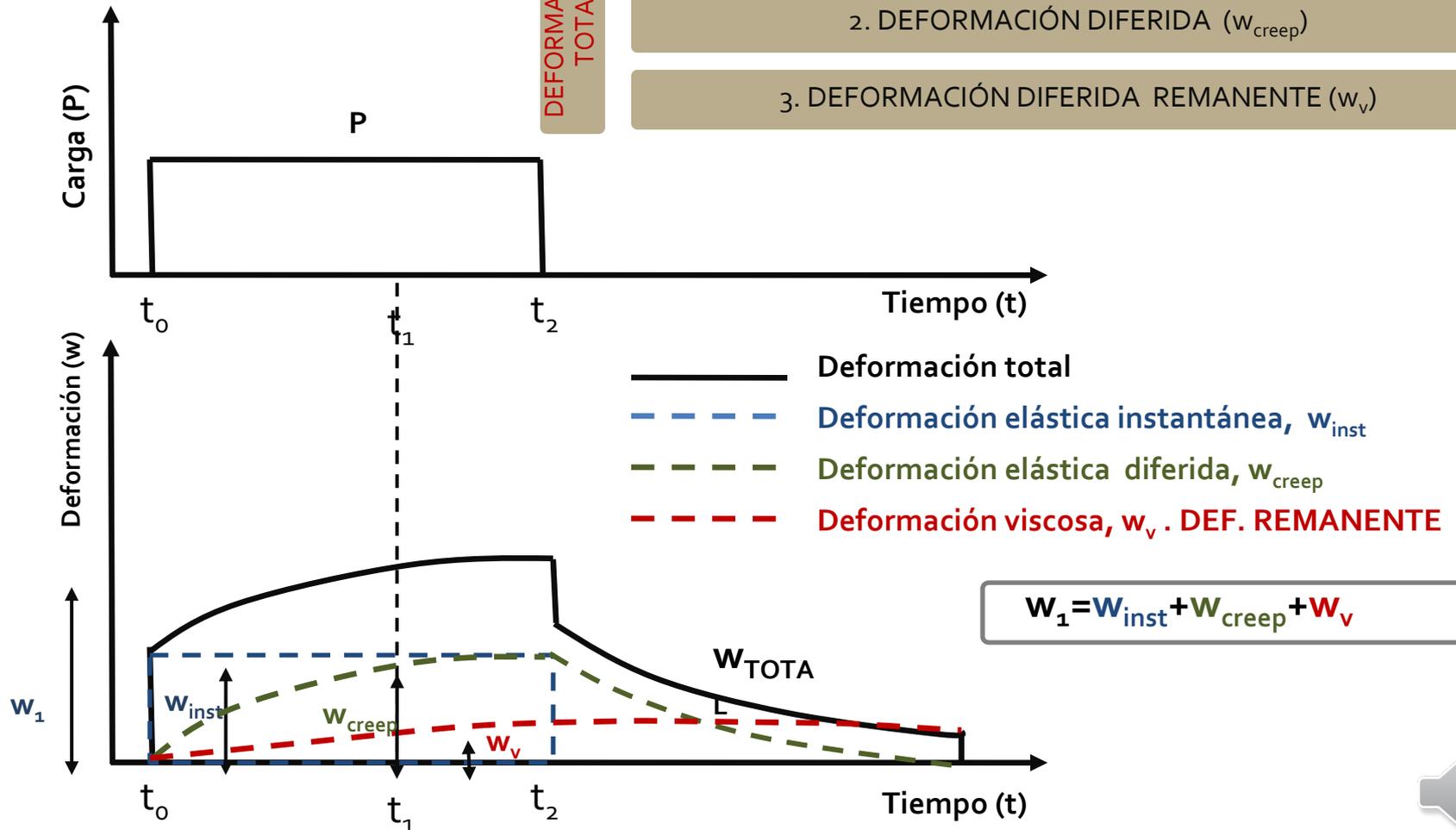
3. DEFORMACIÓN DIFERIDA REMANENTE



DEFORMACIÓN DE LA MADERA

DEFORMACIÓN TOTAL

CARGA Y DESCARGA / DEFORMACION

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA (w_{inst})2. DEFORMACIÓN DIFERIDA (w_{creep})3. DEFORMACIÓN DIFERIDA REMANENTE (w_v)

1. Introducción

2. Deformación de la madera

**3. Cálculo de las deformaciones verticales y
valores límite según EC-5 y CTE**

4. Influencia del contenido de humedad en la
deformación

8.1. Estados Límite de Servicio (ELS) - Deformaciones



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES: EC-5 y CTE

VERIFICACIONES PARA ESTADO LIMITE DE DEFORMACIONES SEGÚN **EUROCÓDIGO 5**

LIMITA

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA DE CARGAS VARIABLES Y PERMANENTES

2. DEFORMACIÓN FINAL

3. DEFORMACIÓN NETA FINAL

VERIFICACIONES DE DEFORMACIONES SEGÚN **CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN O ANEXO ESPAÑOL DEL EUROCÓDIGO 5 RECOMENDADO**

LIMITA

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA DE LAS CARGAS VARIABLES

2. DEFORMACIÓN FINAL

3. DEFORMACIÓN ACTIVA



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMPONENTES DE LA DEFORMACIÓN (EUROCÓDIGO 5)

0. CONTRAFLECHA DE FABRICACIÓN

 w_c

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA

 w_{inst}

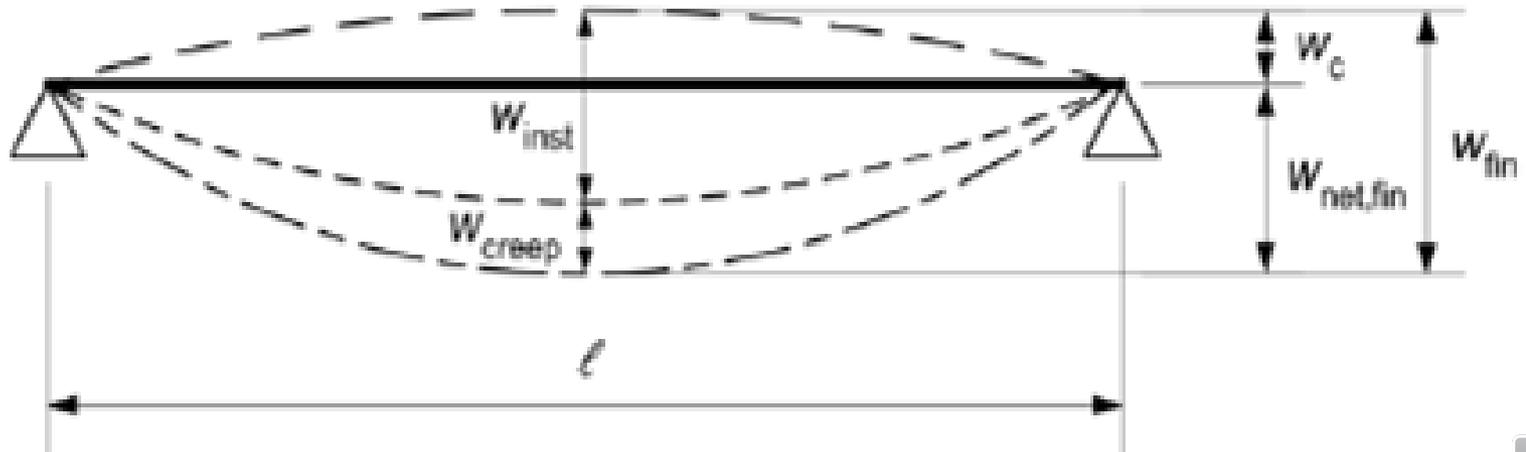
2. DEFORMACIÓN DIFERIDA

 w_{creep}

3. DEFORMACIÓN FINAL

 w_{fin}

4. DEFORMACIÓN NETA FINAL

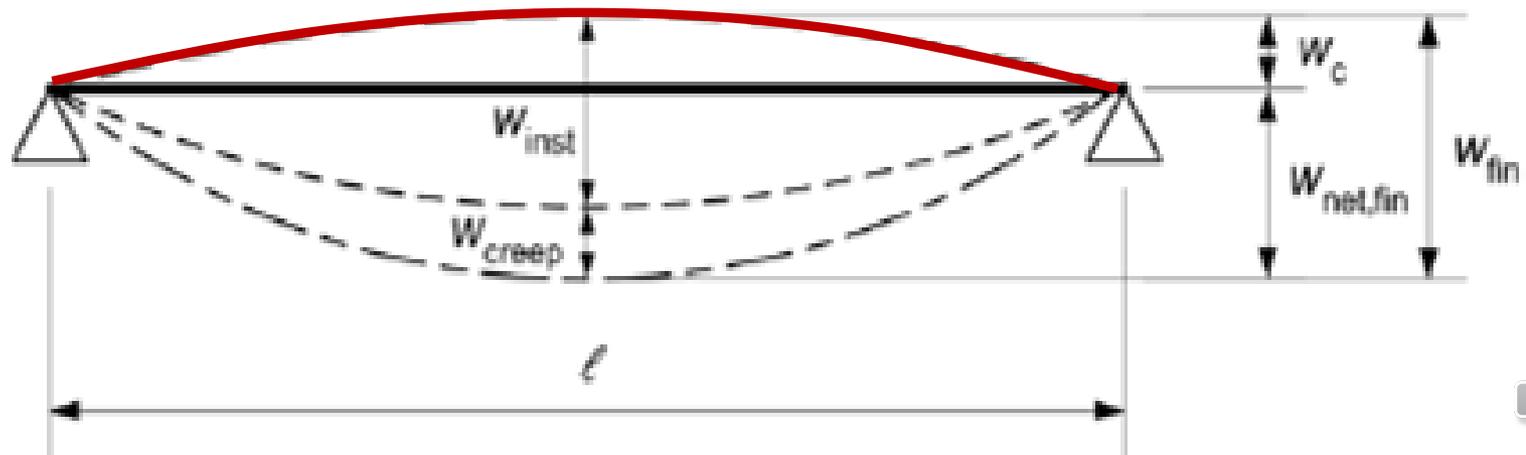
 $w_{net,fin}$ 

CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMPONENTES DE LA DEFORMACIÓN (EUROCÓDIGO 5)

Cuando la viga de la estructura se fabrica con una deformación contraria a la que tendrá una vez puesta en funcionamiento. Normalmente suele darse una contraflecha de **1,35 a 1,45** veces la flecha instantánea debida a las carga permanentes

o. CONTRAFLECHA DE FABRICACIÓN

 W_c


CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMPONENTES DE LA DEFORMACIÓN (EUROCÓDIGO 5)

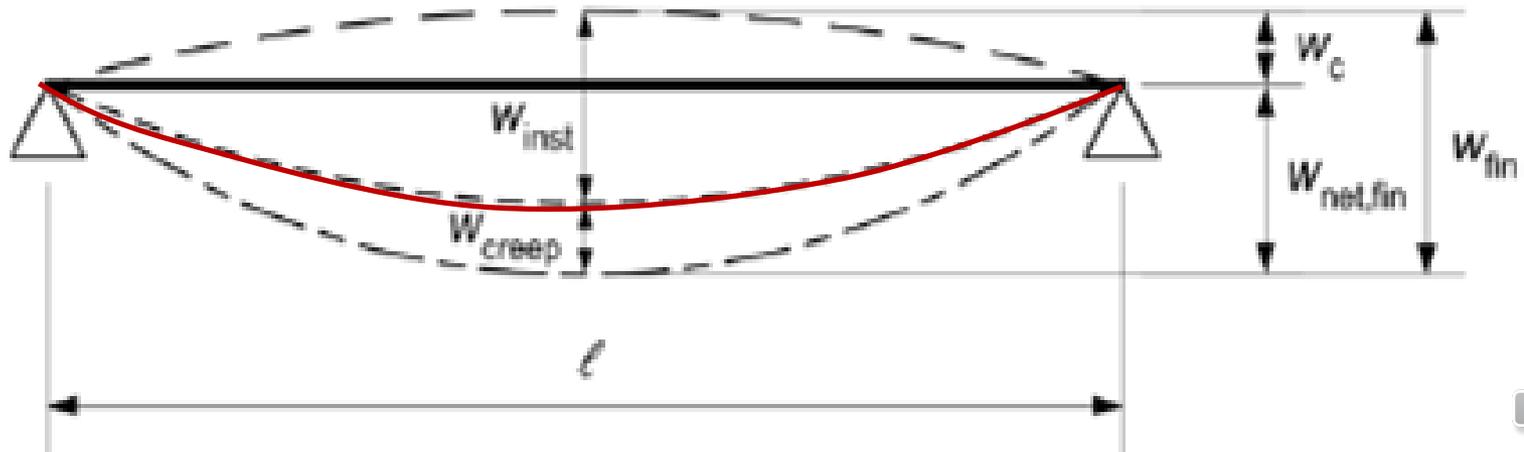
0. CONTRAFLECHA DE FABRICACIÓN

 W_c

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA

 W_{inst}

(2) La deformación instantánea, u_{inst} (véase la figura 7.1) debería calcularse para la combinación característica de las acciones, véase el punto a) del párrafo (2) del apartado 6.5.3 de la Norma Europea EN 1990, utilizando los valores medios de los módulos de elasticidad, módulos de cortante y módulos de deslizamiento correspondientes.



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMBINACIÓN DE ACCIONES

COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA:

Normalmente para efectos de corta duración que pueden resultar irreversibles.

ACCIONES
PERMANENTES

V. DE COMBINACIÓN
DE LAS ACCIONES
CONCOMITANTES

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

V. CARÁCTERÍSTICO
DE LA ACCIÓN
VARIABLE PRE-
DOMINANTE

G_k : acción permanente

$Q_{k,1}$: valor característico de la acción variable dominante

$Q_{k,i}$: valor característico de la acción acción variable concomitante

$\Psi_{0,i}$: coeficientes de simultaneidad para la acción variable i

$\Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$: valor de combinación de la acción variable i



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMBINACIÓN DE ACCIONES

COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA:

Acción	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecargas en edificios, categoría (véase la Norma EN 1991-1-1)			
Categoría A: zonas residenciales, domésticas	0,7	0,5	0,3
Categoría B: zonas de oficinas	0,7	0,5	0,3
Categoría C: zonas de reunión	0,7	0,7	0,6
Categoría D: zonas comerciales	0,7	0,7	0,6
Categoría E: zonas de almacenamiento	1,0	0,9	0,8
Categoría F: zona de tráfico, peso del vehículo ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Categoría G: zona de tráfico, 30 kN < peso del vehículo ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Categoría H: cubiertas	0	0	0
Cargas de nieve en edificios (véase la Norma EN 1991-1-3)*			
Finlandia, Islandia, Noruega, Suecia	0,70	0,50	0,20
Resto de los Estados miembro del CEN, para sitios localizados a alturas $H > 1\ 000$ m sobre el nivel del mar	0,70	0,50	0,20
Resto de los Estados miembro del CEN, para sitios localizados a alturas $H \leq 1\ 000$ m sobre el nivel del mar	0,50	0,20	0
Cargas de viento en edificios (véase la Norma EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatura (no la debida a incendio) en edificios (véase la Norma EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
NOTA – Los valores de ψ pueden establecerse mediante los anexos nacionales.			
* Para los países que no se citan, véanse las condiciones locales correspondientes			

Tabla A.1.1 Eurocódigo 0 – Para edificios - “Bases de cálculo” - 2003



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMPONENTES DE LA DEFORMACIÓN (EUROCÓDIGO 5)

0. CONTRAFLECHA DE FABRICACIÓN

 w_c

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA

 w_{inst}

CARGA PUNTUAL EN VIGA BIAPOYADA:

$$w_{inst} = \frac{P l^3}{48 E I} \left[1 + \frac{6 E}{5 G} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$$

CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA:

$$w_{inst} = \frac{5 q l^4}{384 E I} \left[1 + \frac{24 E}{25 G} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$$

RETOMANDO EL EJEMPLO DE LA
VIGUETA DE FORJADO...

PARA LAS HIPÓTESIS SIMPLES, USANDO VALORES MEDIOS DE E y G .

ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO: COMPROBACIÓN DE LAS DEFORMACIONES

5. DEFORMACIONES:

Combinaciones	CP	U	P	CP+U	CP+P
Deform.inst: w_{inst} (mm)	0,13	0,71	1,16	0,84	1,29



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMPONENTES DE LA DEFORMACIÓN (EUROCÓDIGO 5)

0. CONTRAFLECHA DE FABRICACIÓN

 W_c

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA

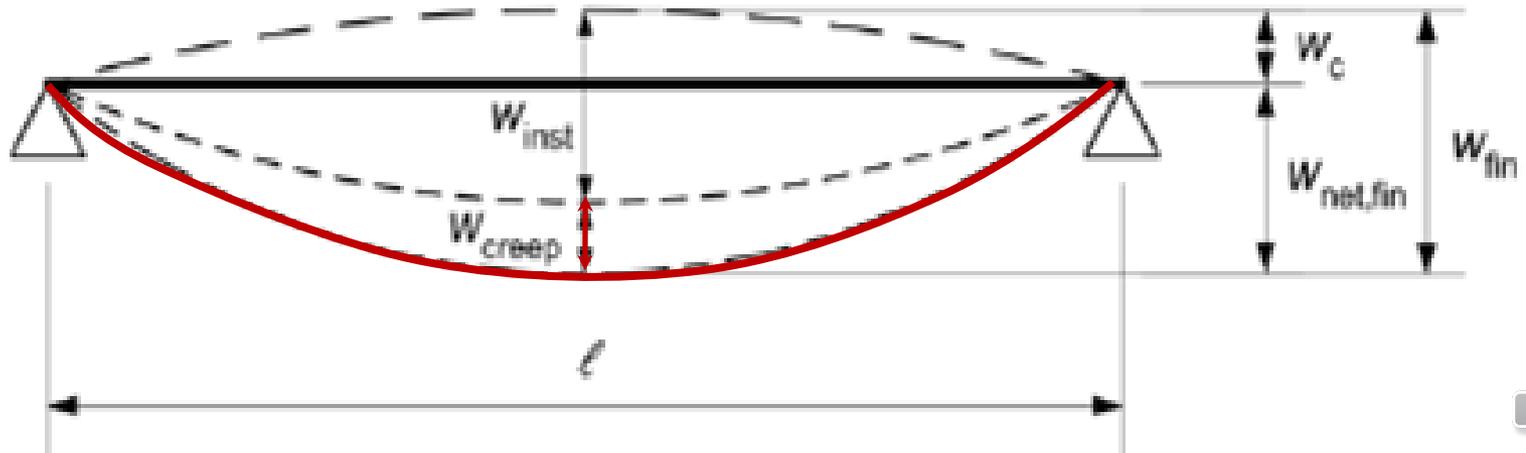
 W_{inst}

2. DEFORMACIÓN DIFERIDA

 W_{creep}

$$W_{creep} = W_{inst} \cdot k_{def}$$

k_{def} : factor de fluencia en función de la clase de servicio



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

Tabla 3.2
Valores de k_{def} para la madera y los productos derivados de la madera

Material	Norma	Clase de servicio		
		1	2	3
Madera maciza	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Madera laminada encolada	EN 14080	0,60	0,80	2,00
Madera microlaminada, LVL	EN 14374, EN 14279	0,60	0,80	2,00
Tablero contrachapado	EN 636			
	Parte 1	0,80	–	–
	Parte 2	0,80	1,00	–
	Parte 3	0,80	1,00	2,50
Tablero de virutas orientadas, OSB	EN 300			
	OSB/2	2,25	–	–
	OSB/3, OSB/4	1,50	2,25	–
Tablero de partículas	EN 312			
	Parte 4	2,25	–	–
	Parte 5	2,25	3,00	–
	Parte 6	1,50	–	–
	Parte 7	1,50	2,25	–
Tablero de fibras, duro	EN 622-2			
	HB.LA	2,25	–	–
	HB.HLA1, HB.HLA2	2,25	3,00	–
Tablero de fibras, medio	EN 622-3			
	MBH.LA1, MBH.LA2	3,00	–	–
	MBH.HLS1, MBH.HLS2	3,00	4,00	–
Tablero de fibras de densidad media, MDF	EN 622-5			
	MDF.LA	2,25	–	–
	MDF.HLS	2,25	3,00	–



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMPONENTES DE LA DEFORMACIÓN (EUROCÓDIGO 5)

0. CONTRAFLECHA DE FABRICACIÓN

 W_c

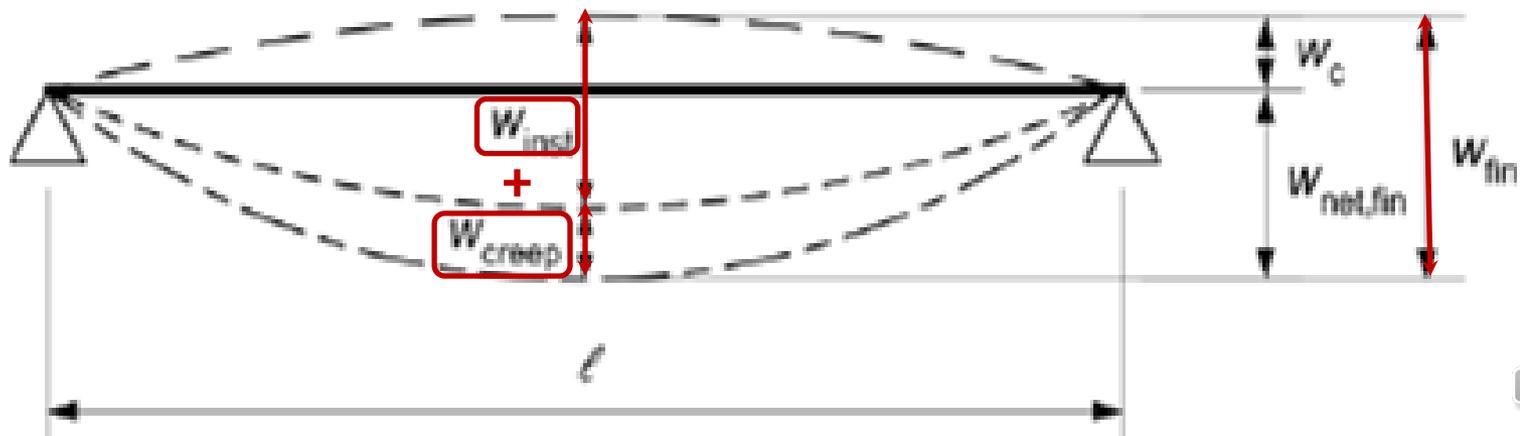
1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA

 W_{inst}

2. DEFORMACIÓN DIFERIDA

 W_{creep}

(3) La deformación final, u_{fm} (véase la figura 7.1) debería calcularse para la combinación casi permanente de las acciones, véase el punto c) del párrafo (2) del apartado 6.5.3 de la Norma Europea EN 1990.



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMBINACIÓN DE ACCIONES

COMBINACIÓN CASI PERMANENTE:

Normalmente para efectos de acciones de larga duración

ACCIONES
PERMANENTES

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

V. CUASI-PERM
DE LAS ACCIONES
VARIABLES

G_k : acción permanente

$Q_{k,1}$: valor característico de la acción variable dominante

$Q_{k,i}$: valor característico de la acción acción variable concomitante

$\Psi_{2,i}$: coeficientes de simultaneidad para la acción variable i

$\Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$: valor de cuasi-permanente de la acción variable i



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMBINACIÓN DE ACCIONES

COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA:

Acción	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecargas en edificios, categoría (véase la Norma EN 1991-1-1)			
Categoría A: zonas residenciales, domésticas	0,7	0,5	0,3
Categoría B: zonas de oficinas	0,7	0,5	0,3
Categoría C: zonas de reunión	0,7	0,7	0,6
Categoría D: zonas comerciales	0,7	0,7	0,6
Categoría E: zonas de almacenamiento	1,0	0,9	0,8
Categoría F: zona de tráfico, peso del vehículo ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Categoría G: zona de tráfico, 30 kN < peso del vehículo ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Categoría H: cubiertas	0	0	0
Cargas de nieve en edificios (véase la Norma EN 1991-1-3)*			
Finlandia, Islandia, Noruega, Suecia	0,70	0,50	0,20
Resto de los Estados miembro del CEN, para sitios localizados a alturas $H > 1\ 000$ m sobre el nivel del mar	0,70	0,50	0,20
Resto de los Estados miembro del CEN, para sitios localizados a alturas $H \leq 1\ 000$ m sobre el nivel del mar	0,50	0,20	0
Cargas de viento en edificios (véase la Norma EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatura (no la debida a incendio) en edificios (véase la Norma EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
NOTA – Los valores de ψ pueden establecerse mediante los anexos nacionales.			
* Para los países que no se citan, véanse las condiciones locales correspondientes			

Tabla A.1.1 Eurocódigo 0 – Para edificios - “Bases de cálculo” - 2003



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMPONENTES DE LA DEFORMACIÓN (EUROCÓDIGO 5)

0. CONTRAFLECHA DE FABRICACIÓN

 w_c

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA

 w_{inst}

2. DEFORMACIÓN DIFERIDA

 w_{creep}

$$w_{creep} = w_{inst} \cdot \psi_2 \cdot k_{def}$$

 $\psi_2 = 1$, para las cargas permanentesTable A1.1 - Recommended values of ψ factors for buildings

Action	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Imposed loads in buildings, category (see EN 1991-1-1) Category A : domestic, residential areas	0,7	0,5	0,3

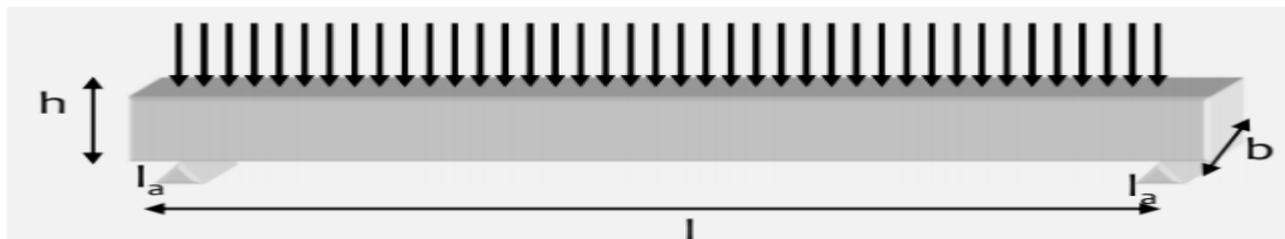
EUROCÓDIGO 5

Table 3.2 - Values of k_{def} for timber and wood-based materials

Material	Standard	Service class		
		1	2	3
Solid timber	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Glued Laminated timber	EN 14080	0,60	0,80	2,00

EUROCÓDIGO 5

$$w_{creep} = w_{inst} \cdot 0,60 \cdot 0,30 = w_{inst} \cdot 0,18$$



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMPONENTES DE LA DEFORMACIÓN (EUROCÓDIGO 5)

0. CONTRAFLECHA DE FABRICACIÓN

 w_c

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA

 w_{inst}

2. DEFORMACIÓN DIFERIDA

 w_{creep}

3. DEFORMACIÓN FINAL

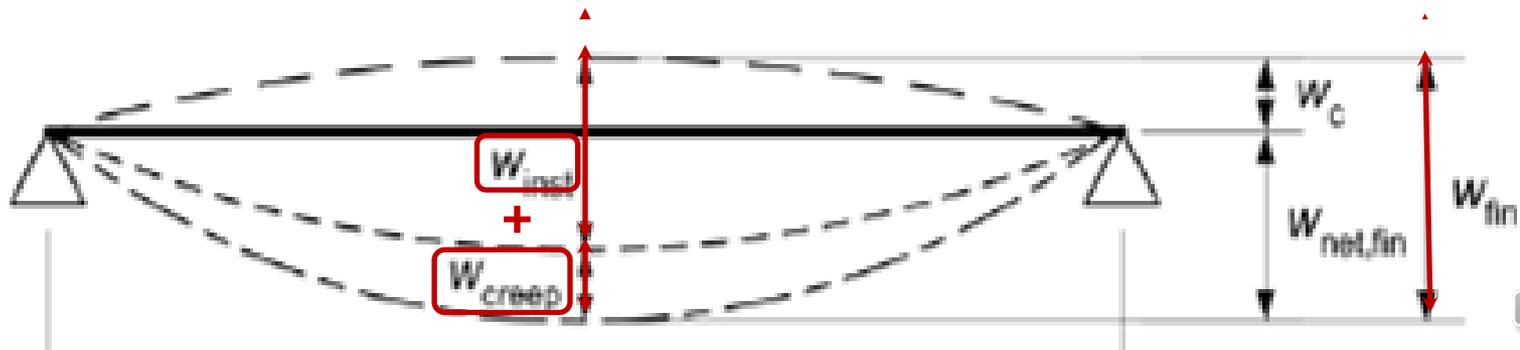
 w_{fin}

$$w_{fin,i} = w_{inst,i} + w_{creep,i}$$

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + \sum w_{fin,Qi}$$

C. Permanente (G)

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} + w_{creep,G} = w_{inst,G} + (w_{inst,G} \cdot \psi_2 \cdot k_{def}) = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) \quad (Ec.2.3)$$



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMPONENTES DE LA DEFORMACIÓN (EUROCÓDIGO 5)

0. CONTRAFLECHA DE FABRICACIÓN

 w_c

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA

 w_{inst}

2. DEFORMACIÓN DIFERIDA

 w_{creep}

3. DEFORMACIÓN FINAL

 w_{fin}

$$w_{fin,i} = w_{inst,i} + w_{fin,i}$$

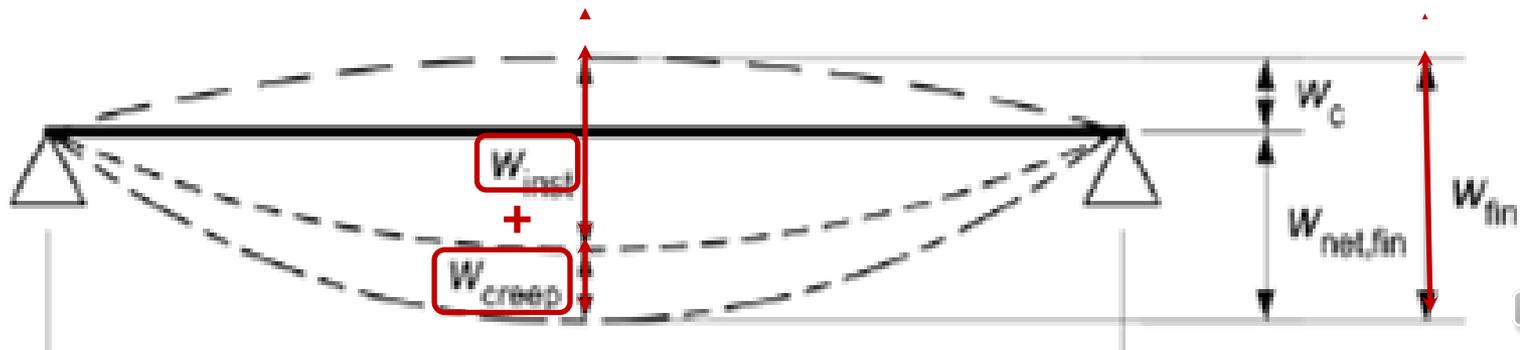
$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + \sum w_{fin,Qi}$$

C. Permanente (G)

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} + w_{creep,G} = w_{inst,G} + (w_{inst,G} \cdot \psi_2 \cdot k_{def}) = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) \quad (Ec.2.3)$$

C. Variable predominante (Q1)

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} + w_{creep,Q1} = w_{inst,Q1} + (w_{inst,Q1} \cdot \psi_2 \cdot k_{def}) = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \quad (Ec.2.4)$$



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMPONENTES DE LA DEFORMACIÓN (EUROCÓDIGO 5)

0. CONTRAFLECHA DE FABRICACIÓN

 w_c

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA

 w_{inst}

2. DEFORMACIÓN DIFERIDA

 w_{creep}

3. DEFORMACIÓN FINAL

 w_{fin}

$$w_{fin,i} = w_{inst,i} + w_{fin,i}$$

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + \sum w_{fin,Qi}$$

C. Permanente (G)

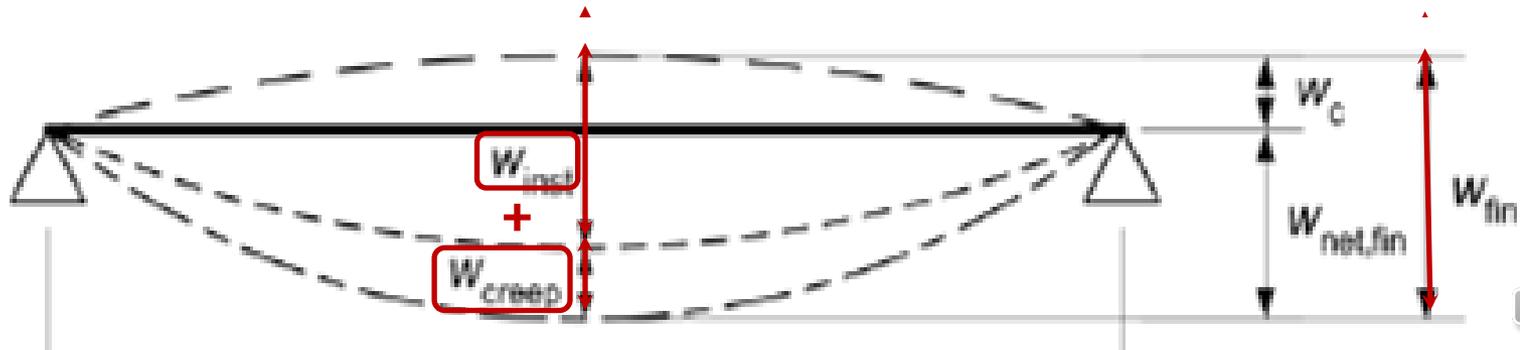
$$w_{fin,G} = w_{inst,G} + w_{creep,G} = w_{inst,G} + (w_{inst,G} \cdot \psi_2 \cdot k_{def}) = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) \quad (Ec.2.3)$$

C. Variable predominante (Q1)

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} + w_{creep,Q1} = w_{inst,Q1} + (w_{inst,Q1} \cdot \psi_2 \cdot k_{def}) = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \quad (Ec.2.4)$$

C. Variables acompañantes (Qi)

$$w_{fin,Qi} = (w_{inst,Qi} \cdot \psi_{o,i}) + w_{creep,Qi} = (w_{inst,Qi} \cdot \psi_{o,i}) + (w_{inst,Qi} \cdot \psi_2 \cdot k_{def}) = w_{inst,Qi} \cdot (\psi_{o,i} + \psi_2 \cdot k_{def}) \quad (Ec.2.5)$$



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMPONENTES DE LA DEFORMACIÓN (EUROCÓDIGO 5)

0. CONTRAFLECHA DE FABRICACIÓN

 w_c

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA

 w_{inst}

2. DEFORMACIÓN DIFERIDA

 w_{creep}

3. DEFORMACIÓN FINAL

 w_{fin}

$$w_{fin,i} = w_{inst,i} + w_{fin,i}$$

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + \sum w_{fin,Qi}$$

C. Permanente (G)

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) \quad (Ec.2.3)$$

C. Variable predominante (Q1)

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \quad (Ec.2.4)$$

C. Variables acompañantes (Qi)

$$w_{fin,Qi} = w_{inst,Qi} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_2 \cdot k_{def}) \quad (Ec.2.5)$$

ψ_2 : factor para el valor casi permanente de las acciones variables (EUROCÓDIGO 0- EN 1990)

ψ_0 : factor para los valores de combinación de las acciones variables (EUROCÓDIGO 0- EN 1990)

$$w_{fin} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) + w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) + \sum w_{inst,Qi} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_2 \cdot k_{def})$$



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMPONENTES DE LA DEFORMACIÓN (EUROCÓDIGO 5)

0. CONTRAFLECHA DE FABRICACIÓN

 w_c

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA

 w_{inst}

2. DEFORMACIÓN DIFERIDA

 w_{creep}

3. DEFORMACIÓN FINAL

 w_{fin}

Aplicado el ejemplo de vigueta de forjado:

C. Permanente (G)

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) \quad (\text{Ec.2.3})$$

C. Variable predominante (Q1)

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \quad (\text{Ec.2.4})$$

Table A1.1 - Recommended values of ψ factors for buildings

Action	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Imposed loads in buildings, category (see EN 1991-1-1) Category A : domestic, residential areas	0,7	0,5	0,3

EUROCÓDIGO 0

Table 3.2 - Values of k_{def} for timber and wood-based materials

Material	Standard	Service class		
		1	2	3
Solid timber	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Glued Laminated timber	EN 14080	0,60	0,80	2,00

EUROCÓDIGO 5

ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO: COMPROBACIÓN DE LAS DEFORMACIONES

5. DEFORMACIONES:

Combinaciones	CP	U	P	CP+U	CP+P
Deform.inst: w_{inst} (mm)	0,13	0,71	1,16	0,84	1,29
Deform. final: w_{fin} (mm)	0,21	0,83	1,36	1,04	1,57



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMPONENTES DE LA DEFORMACIÓN (EUROCÓDIGO 5)

0. CONTRAFLECHA DE FABRICACIÓN

 w_c

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA

 w_{inst}

2. DEFORMACIÓN DIFERIDA

 w_{creep}

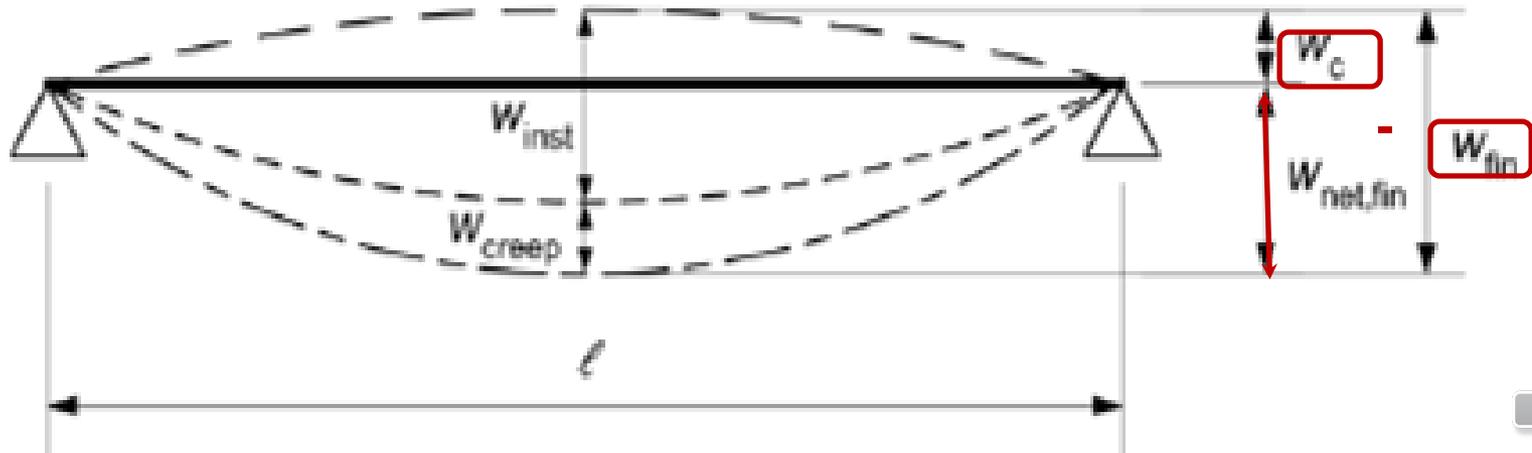
3. DEFORMACIÓN FINAL

 w_{fin}

4. DEFORMACIÓN NETA FINAL

 $w_{net,fin}$

$$w_{net,fin} = w_{fin} - w_c$$



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

COMPONENTES DE LA DEFORMACIÓN (EUROCÓDIGO 5)

0. CONTRAFLECHA DE FABRICACIÓN

 w_c

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA

 w_{inst}

2. DEFORMACIÓN DIFERIDA

 w_{creep}

3. DEFORMACIÓN FINAL

 w_{fin}

4. DEFORMACIÓN NETA FINAL

 $w_{net,fin}$

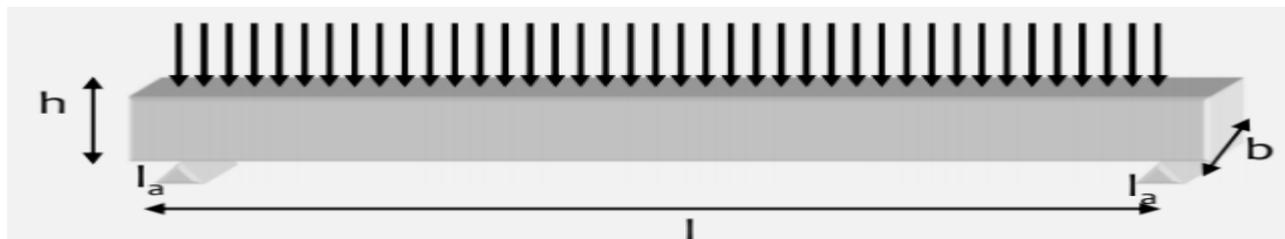
$$w_{net,fin} = w_{fin} - w_c$$

ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO: COMPROBACIÓN DE LAS DEFORMACIONES

5. DEFORMACIONES:

Combinaciones	CP	U	P	CP+U	CP+P
Deform. inst: w_{inst} (mm)	0,13	0,71	1,16	0,84	1,28
Deform. final: w_{fin} EC5	0,21	0,83	1,36	1,04	1,57
Def. neta final: $w_{net,fin}$ EC5-Ec7.2.	0,21	0,83	1,36	1,04	1,57

En el ejemplo: $w_c = 0$



VALORES LÍMITE PARA LA DEFORMACIÓN SEGÚN EC-5

1. DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA (w_{inst})

Para la combinación característica de las acciones

2. DEFORMACIÓN FINAL (w_{fin})

Para la combinación casi permanente de las acciones

3. DEFORMACIÓN NETA FINAL ($w_{net,fin}$)

Para la combinación casi permanente de las acciones

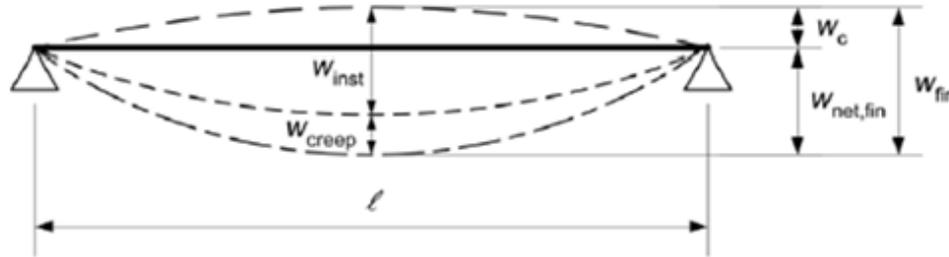


Fig. 7.1 – Componentes de la deformación

(2) La deformación neta respecto a la línea recta que une los apoyos, $w_{net,fin}$, debería calcularse mediante la siguiente expresión:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c \quad (7.2)$$

NOTA – El rango de los valores límites recomendados para las deformaciones de las vigas con una luz l viene dado en la tabla 7.2 dependiendo del nivel de deformación considerado aceptable. En el anexo nacional puede encontrarse información de la opción nacional.

Tabla 7.2
Ejemplos de valores límite para las deformaciones de las vigas

	w_{inst}	$w_{net,fin}$	w_{fin}
Vigas sobre dos apoyos	$l/300$ a $l/500$	$l/250$ a $l/350$	$l/150$ a $l/300$
Voladizos	$l/150$ a $l/250$	$l/125$ a $l/175$	$l/75$ a $l/150$



CÁLCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN EC-5

Aplicado el ejemplo de vigueta de forjado:

ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO: COMPROBACIÓN DE LAS DEFORMACIONES

5. DEFORMACIONES:

Combinaciones	CP	U	P	CP+U	CP+P
Deform.inst: w_{inst} (mm)	0,13	0,71	1,16	0,84	1,29
Deform. final: w_{fin} EC5-Ec2.2	0,21	0,83	1,36	1,04	1,57
Def.neta final: $w_{net,fin}$ EC5-Ec7.2.	0,21	0,83	1,36	1,04	1,57

LÍMITE A LAS DEFORMACIONES:

	$\leq l/$	\leq		EC5-Ec7.2
w_{inst} : 1,29	$\leq l/300$	\leq	5,56	23 %
w_{fin} : 1,57	$\leq l/150$	\leq	13,33	12 %
$w_{net,fin}$: 1,57	250		8,00	20 %

Se cumple la verificación de la deformación

Table 7.2 – Examples of limiting values for deflections of beams

	w_{inst}	$w_{net,fin}$	w_{fin}
Beam on two supports	$l/300$ to $l/500$	$l/250$ to $l/350$	$l/150$ to $l/300$
Cantilevering beams	$l/150$ to $l/250$	$l/125$ to $l/175$	$l/75$ to $l/150$

$$w_{inst(CP+U)} = 0,13 + 0,71 = 0,84$$

$$w_{fin(CP+U)} = 0,13 * (1 + 0,6) + 0,71 * (1 + 0,3 * 0,6) - 0 = 1,04$$

$$w_{net,fin(CP+U)} = w_{fin(CP+U)}$$

$$w_{inst(CP+P)} = 0,13 + 1,16 = 1,29$$

$$w_{net,fin(CP+P)} = 0,13 * (1 + 0,6) + 1,161 * (1 + 0,3 * 0,6) - 0 = 1,57$$

$$w_{net,fin(CP+P)} = w_{fin(CP+P)}$$



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN C.T.E

FLECHA ACTIVA: igual a la instantánea de las cargas variables, más la diferida de las permanentes y variables. Se considera el efecto de una de las cargas variables con valor característico y el resto con su valor de combinación. -> INTEGRIDAD DE ELEMENTOS

FLECHA INSTANTANEA DE LAS CARGAS VARIABLES: se considera el efecto de una de las cargas variables con valor característico y las restantes con su valores de combinación. -> CONFORT USUARIOS

FLECHA NETA FINAL O FLECHA A LARGO PLAZO: flecha instantánea y diferida de las cargas permanentes y de las cargas variables, descontando en caso que corresponda la contra-flecha. Las cargas variables toman su valor cuasi-permanente. -> APARIENCIA EN OBRA



VALORES LÍMITE PARA LA DEFORMACIÓN C.T.E.

4.3.3.1 Flechas

- 1 Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:
- a) $1/500$ en pisos con tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones, o placas) o pavimentos rígidos sin juntas;
 - b) $1/400$ en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas;
 - c) $1/300$ en el resto de los casos.



VALORES LÍMITE PARA LA DEFORMACIÓN C.T.E.

4.3.3.1 Flechas

- 1 Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:
 - a) $1/500$ en pisos con tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones, o placas) o pavimentos rígidos sin juntas;
 - b) $1/400$ en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas;
 - c) $1/300$ en el resto de los casos.
- 2 Cuando se considere el confort de los usuarios se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solamente las acciones de corta duración, la flecha relativa, es menor que $1/350$.



VALORES LÍMITE PARA LA DEFORMACIÓN C.T.E.

4.3.3.1 Flechas

- 1 Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:
 - a) $1/500$ en pisos con tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones, o placas) o pavimentos rígidos sin juntas;
 - b) $1/400$ en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas;
 - c) $1/300$ en el resto de los casos.
- 2 Cuando se considere el confort de los usuarios, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solamente las acciones de corta duración, la flecha relativa, es menor que $1/350$.
- 3 Cuando se considere la aparición de la obra, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones casi permanente, la flecha relativa es menor que $1/300$.



VALORES LÍMITE PARA LA DEFORMACIÓN C.T.E.

Capítulo 7 Estados límite de servicio

7.2.(2) Valores límite para las deformaciones

Tabla 7.2a Valores límite de flecha en vigas¹⁾

Criterio		Limitación	
Integridad de elementos constructivos	Elementos frágiles	$w_{act} \leq l/500$	
	Elementos ordinarios	$w_{act} \leq l/400$	
	Resto de los casos	Con cielo raso o falso techo de yeso o escayola	$w_{act} \leq l/300$
		Sin cielo raso o falso techo de yeso o escayola	$w_{act} \leq l/200$
Confort de los usuarios	Forjados y vigas de piso	$w_{inst} \leq l/350$	
Apariencia de la obra		$w_{net,fin} \leq l/300$	
¹⁾ Las definiciones de las deformaciones en vigas pueden encontrarse en el anejo AN 4.1			



CALCULO DE LAS DEFORMACIONES SEGÚN C.T.E.

5. DEFORMACIONES:

Combinaciones	CP	U	P	CP+U	CP+P
Deform.inst: w_{inst} (mm)	0,13	0,71	1,16		
Deform. final: w_{act}				0,92	1,44
Def.neta final: $w_{net,fin}$				0,55	0,76

LÍMITE A LAS DEFORMACIONES SEGÚN ANEXO NACIONAL ESPAÑOL AL EC-5:

				U	P	
$w_{act} = k_{def} w_G + w_{Q1} + k_{def} \psi_{2,i} w_{Q1} + \sum \psi_{0,i} w_{Qi} + \sum k_{def} \psi_{2,i} w_{Qi}$				0,91	1,44	
$w_{inst} = w_{Q1} + \sum \psi_{0,i} w_{Qi}$				0,71	1,16	
$w_{net,fin} = w_G (1+k_{def}) + \sum \psi_{2,i} w_{Qi} (1+k_{def}) - w_c$				0,55	0,76	
INTEGRIDAD:	w_{act}	1,44	$\leq \ell / 500$	4,00	36	%
CONFORT:	w_{inst}	1,16	$\leq \ell / 350$	5,71	20	%
APARIENCIA	$w_{net,fin}$	0,76	$\leq \ell / 300$	6,67	11	%
Se cumple la verificación de la deformación según AN-EC-5						

$$W_{act(CP-SU)} = 0,6 * 0,13 + 0,71 + 0,6 * 0,3 * 0,71 = 0,91$$

$$W_{act(CP-P)} = 0,6 * 0,13 + 1,16 + 0,6 * 0,3 * 1,16 = 1,44$$

$$W_{inst(SU)} = 0,71$$

$$W_{inst(P)} = 1,16$$

$$W_{net,fin-SU} = 0,13 * (1 + 0,6) + 0,71 * 0,3 * (1 + 0,6) - 0 = 0,55$$

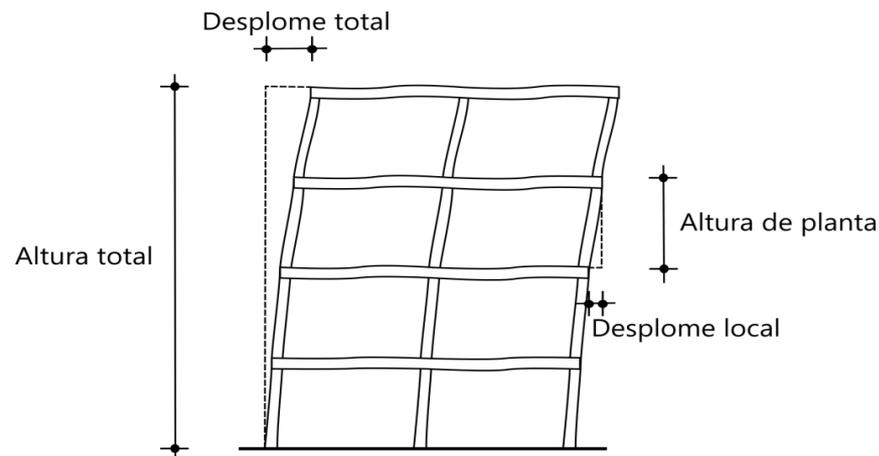
$$W_{net,fin-P} = 0,13 * (1 + 0,6) + 1,16 * 0,3 * (1 + 0,6) - 0 = 0,76$$



VALORES LÍMITE PARA LA DEFORMACIÓN C.T.E.

Tabla 7.2b Valores límite de desplazamiento horizontal²⁾

Criterio	Limitación
Integridad de los elementos constructivos	$u_{act} \leq h_t/500$
	$u_{act} \leq h_p/250$
Apariencia de la obra	$u_{t,fin} \leq h_t/250$
	$u_{p,fin} \leq h_p/250$
h_t altura total del edificio h_p altura de la planta considerada	
²⁾ Las definiciones de las deformaciones horizontales pueden encontrarse en el anejo AN 4.2	



1. Introducción
2. Deformación de la madera
3. Cálculo de las deformaciones y valores límite según EC-5 y CTE
- 4. Influencia del contenido de humedad en la deformación**

8.1. Estados Límite de Servicio (ELS) - Deformaciones



INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA DEFORMACIÓN

1. CAMBIOS DIMENSIONALES

LINEALES PARA CONTENIDOS DE HUMEDAD ENTRE 5-20%

$$\Delta h = h \cdot (\alpha / 100) \cdot \Delta H$$

Δh : variación de dimensiones de la pieza

h : dimensión de la pieza

ΔH : variación del contenido de humedad (%)

α : coeficiente unitario de contracción lineal (‰)

SIMPLIFICACIÓN α :

$$\alpha_v \approx \rho (\text{Kg/m}^3) / 1000$$

ρ : densidad de la madera (Kg/m^3)

COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA (%)

por cada 1% de variación del contenido de humedad

$$\alpha_o \approx 0.01$$

COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN LONGITUDINAL (%)

por cada 1% de variación del contenido de humedad

$$\alpha_{90} \approx \alpha_v / 2$$

COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN TRANSVERSAL (%)

por cada 1% de variación del contenido de humedad



INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA DEFORMACIÓN

2. VARIACIONES LONGITUDINALES

PIEZAS RECTAS

EN GENERAL SE CONSIDERAN DESPRECIABLES, EXCEPTO CUANDO LA T^a Y HUM.RELATIVA SON DIFERENTES EN CADA EXTREMO DE LA SECCIÓN. **EJEMPLO:**

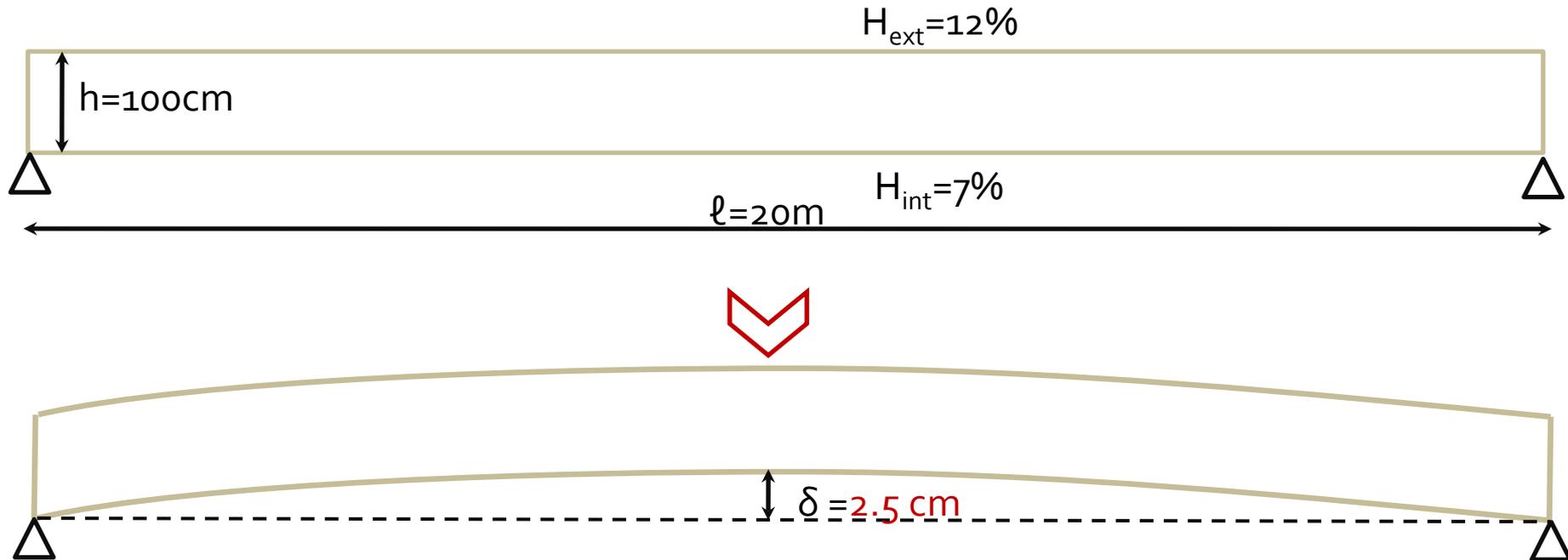


INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA DEFORMACIÓN

2. VARIACIONES LONGITUDINALES

PIEZAS RECTAS

EN GENERAL SE CONSIDERAN DESPRECIABLES, EXCEPTO CUANDO LA Tª Y HUM.RELATIVA SON DIFERENTES EN CADA EXTREMO DE LA SECCIÓN. EJEMPLO:



$$\delta = (c \cdot l^2) / 8$$

$$\delta = (0.000005 \cdot 2000^2) / 8 = 2.5 \text{ cm}$$

$$c = (\alpha_0 \cdot \Delta H) / h$$

$$c = (0.01 \cdot (0,05)) / 100 \\ = 0.000005 \text{ 1/cm}$$

δ =desplazamiento producido

h = canto de la viga

l = largo de la viga

ΔH = variación de humedad de la madera

α_0 = Coeficiente de contracción

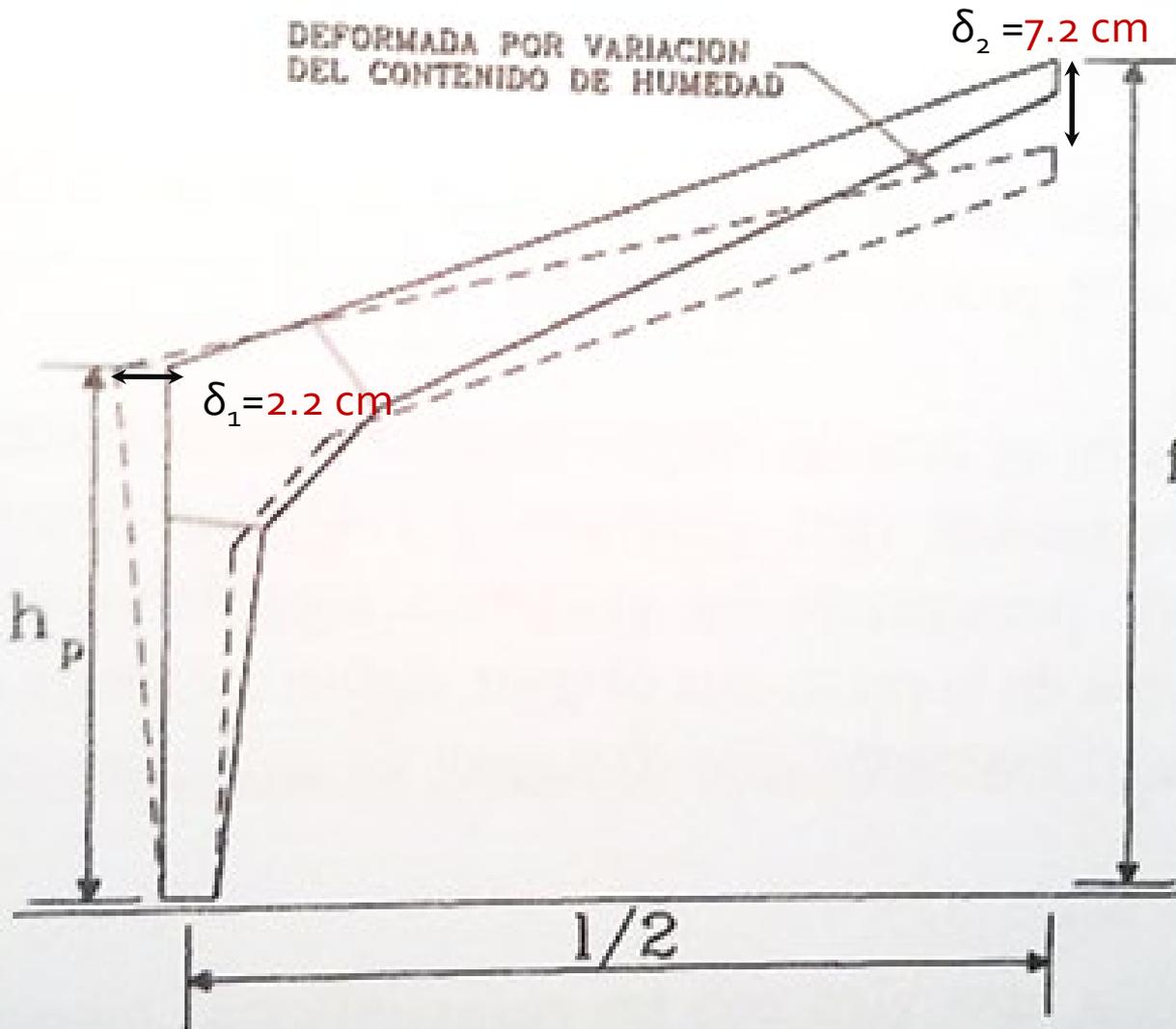
longitudinal de la madera por cada 1% de variación de humedad. $\alpha_0 = 0,01$ (CH entre 5-20%)

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA DEFORMACIÓN

3. VARIACIONES TRANSVERSALES

PÓRTICO TRIARTICULADO A DOS AGUAS

DEFORMADA POR VARIACION
DEL CONTENIDO DE HUMEDAD



EJEMPLO:

$$l=20\text{m}$$

$$h_p=6\text{m}$$

$$f=9\text{m}$$

$\Delta H=5\%$ (disminución contenido
humedad uniforme)

$$\alpha_{90}=0.2$$

Se producen giros en las esquinas,
dando lugar a desplazamientos
verticales y horizontales.

Si es una estructura hiperestática, se
producirá un incremento de tensiones,
al impedirse la libertad de
movimientos.





www.cetemas.es

**GRACIAS
POR LA
ATENCIÓN**

