

Deflexiones en Puentes de voladizos sucesivos: Modelos Alternativos y Lineamientos Normativos

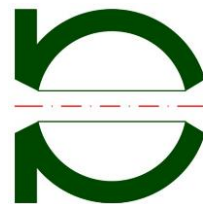
Obed Franco Bermúdez
Gerente O.F.B. SAS
ofb@ofbsas.com



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia



SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



O.F.B. SAS
Consultores



*"To engineers who, rather than
blindly following the codes of
practice, seek to apply the laws of
nature"*

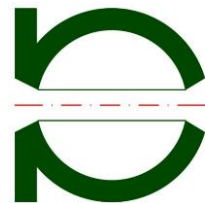
Design of Prestressed Concrete Structures
T. Y. Lin & Ned H. Burns



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia



SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



O.F.B. SAS
Consultores



Tabla de contenidos

1. Introducción
2. Marco normativo
3. Metodologías de cálculo de deflexiones por efectos reológicos
4. Recomendaciones y conclusiones
5. Referencias Bibliográficas



1. INTRODUCCIÓN : CONCEPTOS Y RELEVANCIA



1. Introducción

Los Puentes contruidos por el método de los voladizos sucesivos son estructuras segmentales (construidas por etapas).

El método consiste en construir de manera simétrica segmentos de superestructura (dovelas) adosados a una pila.



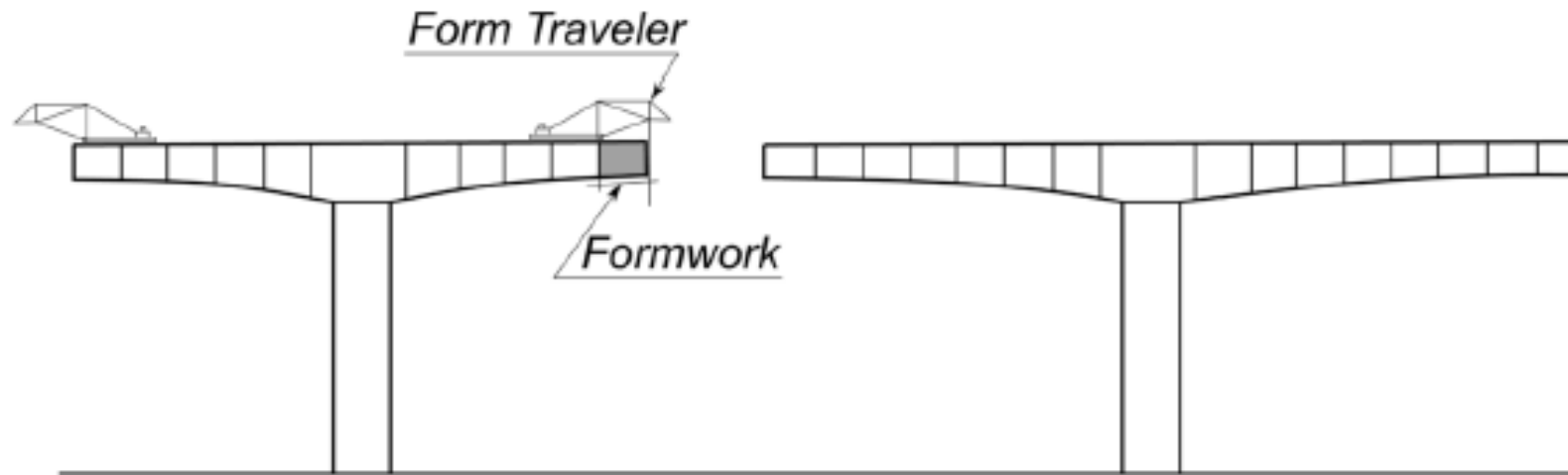
Fuente:

<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=1824708430900633&id=211283538909805&set=a.254204777951014>

5



1. Introducción



Fuente: Huang, D., (2020) Concrete Segmental Bridges.



1. Introducción

En este tipo de estructuras es fundamental el cálculo de las deflexiones:

- Durante construcción (*camber*) para garantizar diseño vial.
- A largo plazo para garantizar la operabilidad y seguridad.



Fuente: Naser, et al. Strengthening of Jiamusi pre-stressed concrete highway bridge by using external post-tensioning technology in China. Journal of Engineering and Applied Sciences.



1. ¿Qué compone la deflexión?

1. Peso propio
2. Sobrecargas: carpeta asfáltica, barreras y aditamentos
3. Carga viva / accidental (deflexión no permanente)
4. Temperatura
5. Deformaciones a largo plazo
 - Flujo Plástico (*Creep*): Deformación bajo esfuerzo sostenido a largo plazo



Fuente:

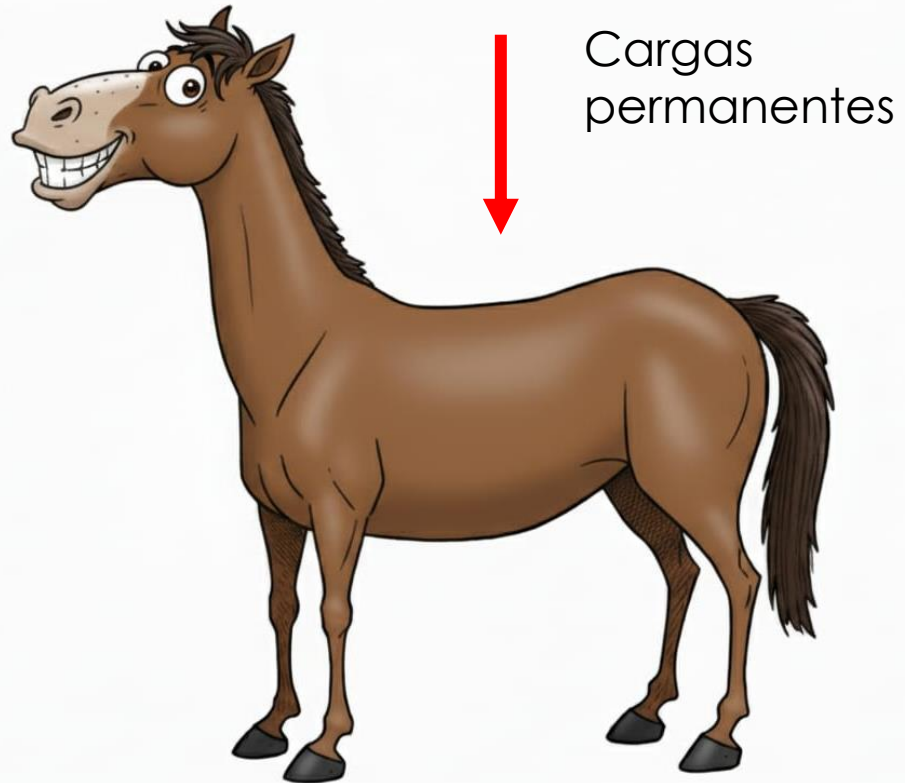
<https://web.archive.org/web/20161021012817/>

<http://www.panoramio.com/photo/52928292>

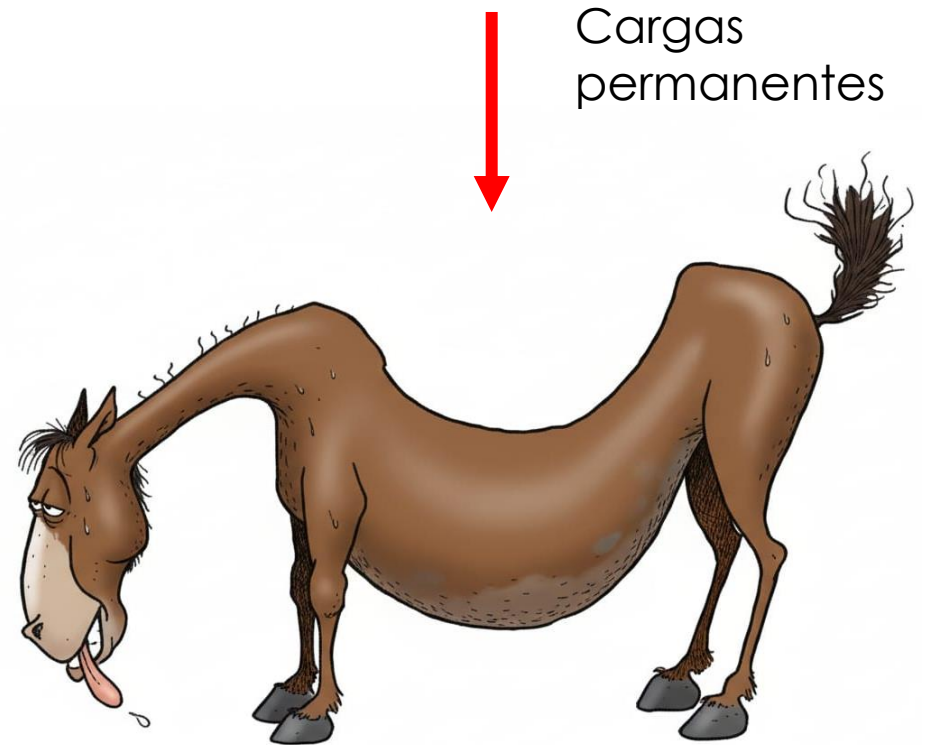
8



1. Creep



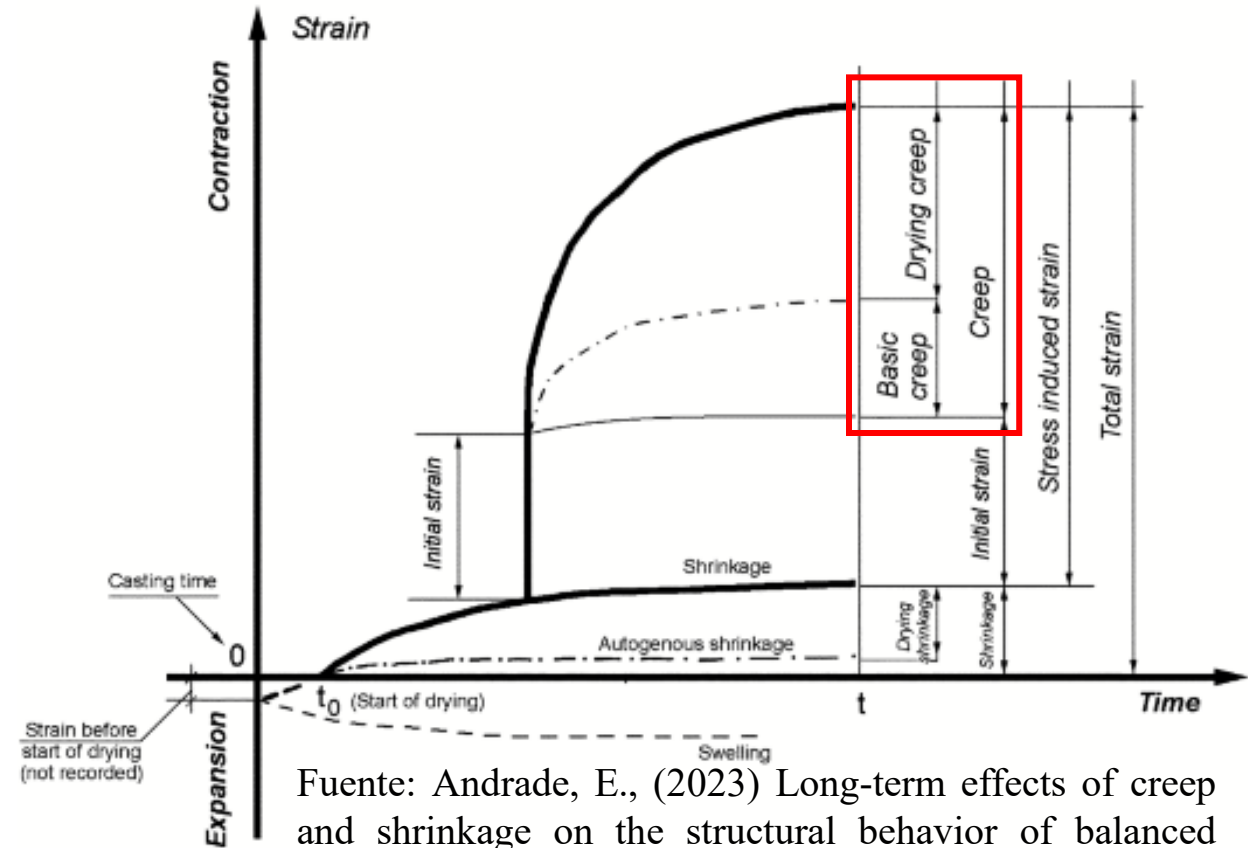
Transcurso de
vida útil



1. ¿Qué compone el Creep?

El Creep se puede dividir en:

1. **Basic Creep:** El producido cuando no hay intercambio de humedad.
2. **Drying Creep:** El producido cuando se expone el elemento a secado.



Fuente: Andrade, E., (2023) Long-term effects of creep and shrinkage on the structural behavior of balanced cantilever prestressed concrete bridges



1. ¿Qué compone la deflexión?

1. Peso propio
2. Sobrecargas: Pavimento, barreras y aditamentos
3. Carga viva / accidental (deflexión no permanente)
4. Temperatura
5. Deformaciones a largo plazo
 - Flujo Plástico (*Creep*): Deformación bajo esfuerzo sostenido a largo plazo
 - Retracción (*Shrinkage*): Contracción que se produce en el hormigón cuando pierde humedad



Fuente:

<https://web.archive.org/web/20161021012817/>

<http://www.panoramio.com/photo/52928292>

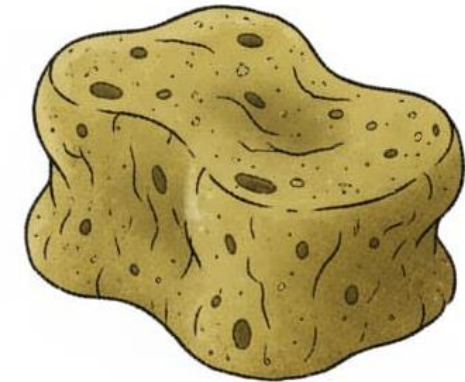
11



1. Shrinkage



Pérdida de
Humedad



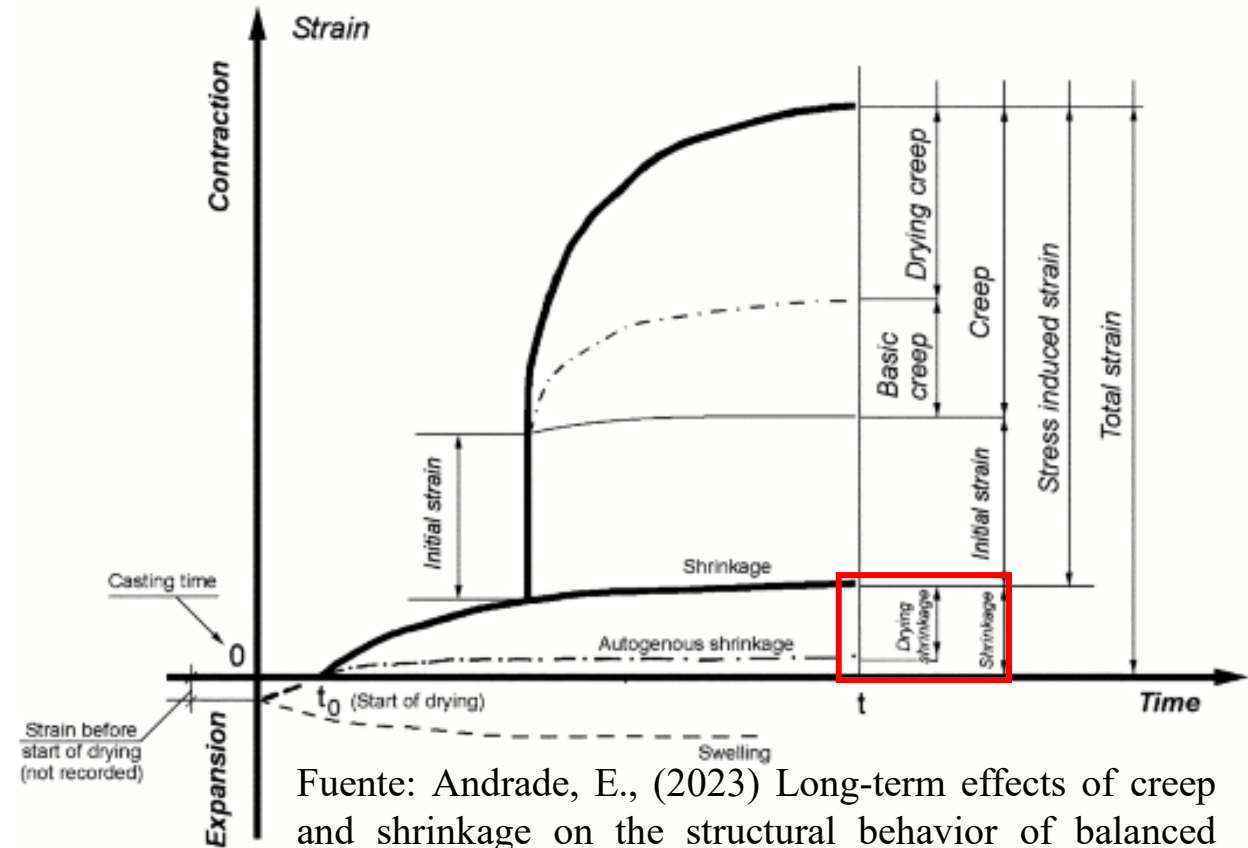
Cambio de volumen



1. ¿Qué compone el *Shrinkage*?

Los aspectos del *Shrinkage* que gobiernan su comportamiento a largo plazo son los siguientes:

1. **Autogenous Shrinkage:** El producido por la hidratación del cemento en ausencia de intercambio de humedad
2. **Drying Shrinkage:** El producido cuando el elemento pierde humedad debido a la exposición al medio ambiente



Fuente: Andrade, E., (2023) Long-term effects of creep and shrinkage on the structural behavior of balanced cantilever prestressed concrete bridges



1. ¿Qué compone la deflexión?

1. Peso propio
2. Sobrecargas: Pavimento, barreras y aditamentos
3. Carga viva / accidental (deflexión no permanente)
4. Temperatura
5. Deformaciones a largo plazo
 - Flujo Plástico (*Creep*): Deformación bajo esfuerzo sostenido a largo plazo
 - Retracción (*Shrinkage*): Contracción que se produce en el hormigón cuando pierde humedad
 - Relajación del acero, la cual depende de los dos anteriores



Fuente:

<https://web.archive.org/web/20161021012817/>
<http://www.panoramio.com/photo/52928292>

14



1. Deflexión de Puente de Voladizos

Debido a sus características, estos puentes generalmente son susceptibles a importantes deformaciones a largo plazo (Zdenek P. Bazant, 2001):

1. Luces
2. Condiciones de secado (internas, externas y distintos espesores)
3. Concretos de diferentes edades
4. Edades cortas de fraguado, secado y carga
5. Concretos de alta resistencia (composición de las mezclas)



1. Deflexión de Puente de Voladizos

Adicionalmente, múltiples referencias internacionales (Lu et al, 2025) (Liao et al, 2025) (Bazant, 2015) (Purba et al, 2023) (Robertson, 2005) (Navrátil et al, 2013) (Andrade, 2023), nacionales (Rincon et al, 2021) y la experiencia propia indican que las deformaciones a largo plazo (**Creep**) de estos puentes son ampliamente subestimadas en algunos casos por métodos convencionales (AASHTO, ACI, CEB-FIP, EUROCODE); **alcanzando deflexiones mayores al doble de lo estimado.**



1. Ejemplos seleccionados de bibliografía

Puente	Luz central (m)	Año de construcción	Deformación estimada al fin de vida útil		Última deformación reportada		Deformación Calculada		Deformación proyectada		Ref.
			Modelo	Valor (m)	Año	Medición (m)	Modelo	Valor (m)	Plazo (años)	Valor (m)	
Rooyensteinse Brug	150.5	1977	EC2	0.073	2022	0.431	B4	0.414	60	0.695	(Andrade, 2023)
Puente El Tablazo	186.0	2014	-	0.273	2019	0.404	B3	0.403	100	0.498	(Rincon, et al 2021)
Puente Pujames	122.0	2014	AASHTO	0.075	2020	0.138	-	-	-	-	(Rincon, et al 2021)
Taiwan Provincial Highway No9	150.0	-	CEB-FIP	0.175	-	-	-	-	100	0.469	(Liao, et al 2023)
Koror-Babeldaob Bridge	240.8	1977	-	-	1995	1.39	B3	1.40	-	-	(Bazant, et al 2012)



1. ¿Qué estructuras son sensibles al Creep?

Según Bazant las estructuras pueden clasificarse en cinco (5) niveles en función de su sensibilidad a los efectos reológicos.

Nivel	Descripción	Modelo Sugerido
1	Vigas de concreto armado con luces inferiores a 20 m y estructuras con alturas inferiores a 30 m.	Convencionales
2	Vigas de concreto pretensado con luces de hasta 20 m.	Convencionales
3	Puentes de vigas cajón con luces de hasta 80 m.	Se sugieren Modelos Detallados
4	Puentes de vigas cajón pretensados de gran luz.	Modelos Detallados
5	Estructuras únicas y vanguardistas, como puentes con luces récord.	Modelos Detallados



1. ¿Qué condiciona las deformaciones a largo plazo?

Efecto	Factores Condicionantes	
Creep	Intrínsecos	<ul style="list-style-type: none">• Composición de la Pasta de cemento (cantidad de cemento, agua, relaciones agreg./c, a/c) → Donde ocurre el Creep• Características de los agregados (cantidad de finos, gruesos y totales) → Restringen el Creep• Aditivos (ceniza, puzolanas)
	Extrínsecos	<ul style="list-style-type: none">• Periodo de curado• Temperatura ambiente• Edad de carga• Humedad relativa en el ambiente• Tamaño y forma de la sección



1. ¿Qué condiciona las deformaciones a largo plazo?

Efecto	Factores Condicionantes	
<i>Shrinkage</i>	Intrínsecos	<ul style="list-style-type: none">• Composición de la Pasta de cemento• Características de los agregados
	Extrínsecos	<ul style="list-style-type: none">• Humedad relativa en el ambiente



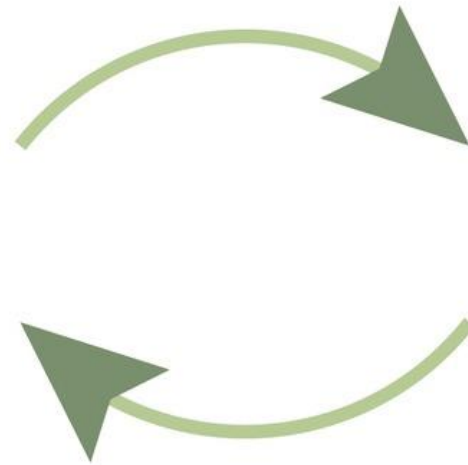
1. ¿Qué condiciona las deformaciones a largo plazo?

Aumento en \uparrow :	Relación w/c	Cantidad agregado	Tiempo de curado	Edad al cargar	Humedad	Espesor del elemento
Efecto en Creep:	Incrementa	Disminuye	Disminuye	Disminuye	Disminuye	Disminuye
Efecto en Shrinkage:	Aumenta <i>Drying Shrinkage</i>	Disminuye	-	-	Disminuye	Disminuye



1. ¿Qué ocurre si la deflexión es mal estimada?

Comienzan bucles de retroalimentación negativa



1. ¿Qué ocurre si la deflexión es mal estimada?

- En construcción:

No se cumple
diseño vial

Aumentan
Deflexiones

Se ajusta con
sobre espesor
de pavimento

Aumenta
Carga Muerta



1. ¿Qué ocurre si la deflexión es mal estimada?

- En operación:

Deflexión

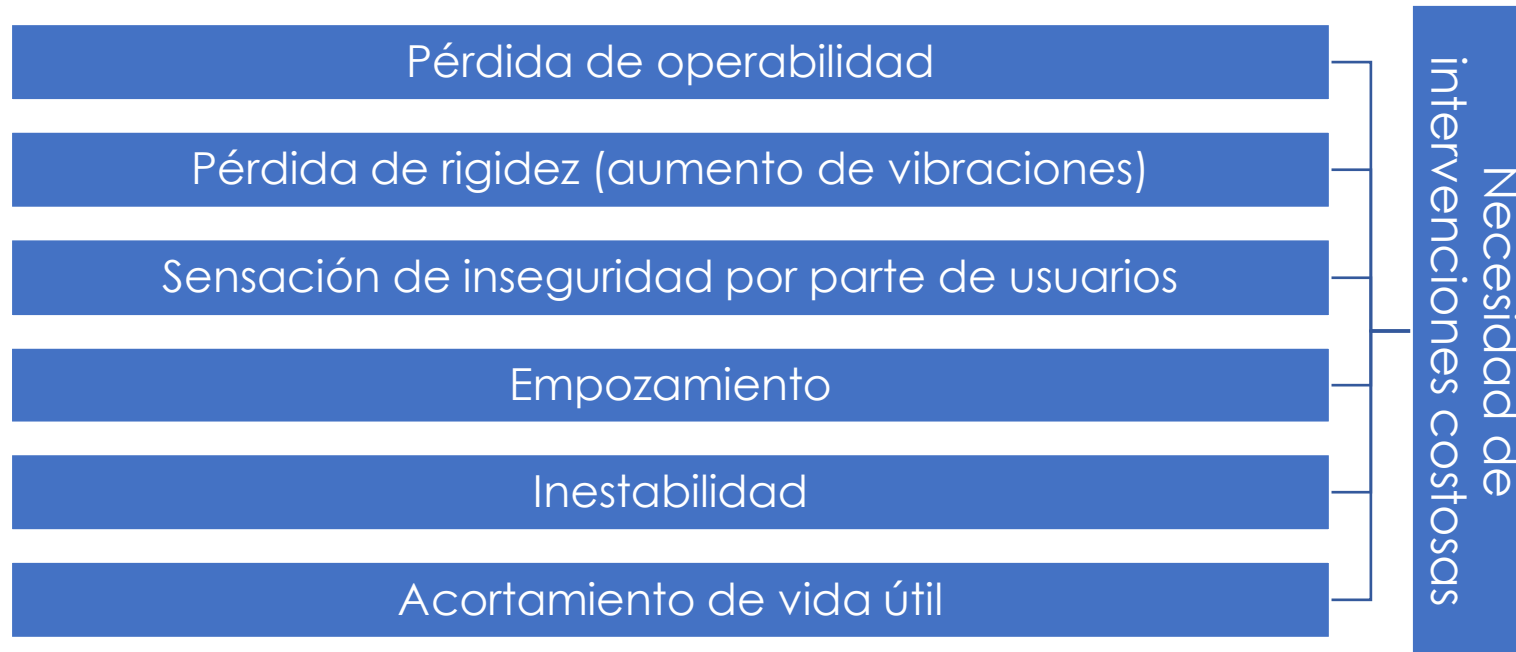
Reducción
de rigidez

Fisuración
debida a
deflexiones



1. ¿Qué ocurre si la deflexión es mal estimada?

En función de la magnitud podrían tenerse múltiples consecuencias adversas al proyecto:



2. MARCO NORMATIVO



2. ¿Qué indica CCP-14 y AASHTO-2024?

Consideración	CCP-14 (AASHTO 2012)	AASHTO 2024
Consideración de variabilidad en los efectos reológicos	<p>El artículo 4.6.2.9 indica que para luces mayores de 76000 mm deben considerarse variaciones en los efectos reológicos calculados y su impacto en el diseño; (lo cual no es usualmente aplicado en diseño) por medio de la variación de parámetros que afectan los efectos reológicos según el modelo considerado, a fin de tener un cálculo más conservador de deflexiones.</p> <ol style="list-style-type: none">1. Humedad2. Edad de secado3. Propiedades de mezcla – según aplique	



2. ¿Qué indica CCP-14 y AASHTO-2024?

Consideración	CCP-14 (AASHTO 2012)	AASHTO 2024
Metodologías permitidas para cálculo de deflexiones a largo plazo	Artículo 5.7.3.6.2 Cálculo simplificado: multiplicando la deflexión instantánea por un escalar	El artículo 5.6.3.5.2a indica que para elementos presforzados deben calcularse detalladamente las deflexiones a largo plazo.
	Artículo 5.4.2.3.1 Cálculo Detallado: A partir de modelos de efecto reológicos; Se sugieren los modelos de AASHTO, ACI y CEB-FIP, los cuales pueden subestimar la deformación	El Artículo 5.4.2.3 restringe a CEB-FIP el cálculo de efectos reológicos por métodos convencionales y ofrece la posibilidad de utilizar métodos alternativos “más precisos” como B4.
Limite a la deformación a largo plazo y/o total	No limita	



2. Límite de deflexiones a largo plazo

A fin de garantizar la durabilidad de la estructura deben controlarse las deformaciones a largo plazo; CCP-14 y ASSHTO 2024 no dan lineamientos al respecto.

Por su parte, el Eurocode, CEB-FIP y NBR 7187, limitan la deformación total final a **$L/250$** (deformación apreciable, podría ser laxo para algunas estructuras).

Límites más estrictos pueden considerarse según la estructura.



2. Limite de deflexiones a largo plazo

Tabela 4.5: Limites para deslocamentos. Fonte: adaptada da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Fuente: Ferreira, G., Pontes em Concreto Armado Análise e dimensionamento

Tipo de efeito	Razão da limitação	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Total	$l/250$
	Outro (vibrações)	Devido a cargas acidentais	$l/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Total	$l/250$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Total	$l/350 + c.f.$
		Ocorrido após a construção do piso	$l/600$
	Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Ocorrido após o nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante
Efeitos em elementos não estruturais	Pontes rolantes	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes de frenação	$H/400$
	Paredes	Movimento lateral de edifícios	$H/1700$ $H_i/850$ (entre pavimentos)
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.	

Colisiones de vehículos, navíos o helicópteros, explosiones, fallos locales



3. METODOLOGÍAS DE CÁLCULO DE DEFLEXIONES POR EFECTOS REOLÓGICOS

31



SIMPOSIO INTERNACIONAL
DE INGENIERÍA DE PUENTES
SIIP 2025



Asociación de Ingenieros
Estructurales de Antioquia

De Medellín para el mundo: Conectando
saberes, construyendo futuro



3. Comparación entre metodologías

Modelos Convencionales (Basados en Códigos)	Modelos Detallados
ACI, Eurocode, CEB-FIP, AASHTO	B3, B4
<p>Modelos semi-empíricos que parten de varias simplificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none">• Asumen que el <i>Creep</i> y <i>Shrinkage</i> son independientes uno del otro y pueden sumarse linealmente• No consideran la composición de la mezcla	<ul style="list-style-type: none">• Son reconocidos como los modelos con mayor fundamento teórico• Representan la relación entre <i>Creep</i> y <i>Shrinkage</i> a través de los factores semi-empíricos "q"• Consideran de manera explícita la composición de la mezcla• Han sido calibrados para puentes segmentales• Pueden calibrarse las curvas a través de ensayos de <i>Creep</i>

32



3. Modelo B3

El modelo B3 para *Creep* y *Shrinkage* del concreto se publicó por primera vez en 1995 (Baweja y Bazant, 1995).

Este posee varias ventajas gracias a su vinculación con la teoría; por ejemplo, el *creep* básico y por secado, así como los componentes específicos de la contracción, se calculan por separado. Además, considera en su formulación una amplia gama de parámetros (contenido de cemento, contenido de agregado, contenido de agua) que pueden afectar el *Creep* y *Shrinkage* .



3. Metodología cálculo curva Creep - Modelo B3

Basic Creep

$$\begin{aligned} q_1 &= 0.6 \times 10^6 / E_{28}, & E_{28} &= 57000 \sqrt{\bar{f}_c} & \text{inch-pound system} \\ q_1 &= 0.6 \times 10^6 / E_{28}, & E_{28} &= 4734 \sqrt{\bar{f}_c} & \text{SI} \end{aligned} \quad (1.16)$$

$$\begin{aligned} q_2 &= 451.1 c^{0.5} \bar{f}_c^{-0.9}, & q_4 &= 0.14 (a/c)^{-0.7} & \text{inch-pound system} \\ q_2 &= 185.4 c^{0.5} \bar{f}_c^{-0.9}, & q_4 &= 20.3 (a/c)^{-0.7} & \text{SI} \end{aligned} \quad (1.17)$$

$$q_3 = 0.29 (w/c)^4 q_2 \quad (1.18)$$

Shrinkage

$$\begin{aligned} \epsilon_{s\infty} &= -\alpha_1 \alpha_2 [26 w^{2.1} \bar{f}_c^{-0.28} + 270] & (\text{in } 10^{-6}) & \text{inch-pound system} \\ \epsilon_{s\infty} &= -\alpha_1 \alpha_2 [1.9 \times 10^{-2} w^{2.1} \bar{f}_c^{-0.28} + 270] & (\text{in } 10^{-6}) & \text{SI} \end{aligned} \quad (1.19)$$

and

$$\begin{aligned} k_t &= 190.8 t_0^{-0.08} \bar{f}_c^{-1/4} \text{ days/in}^2 & \text{inch-pound system} \\ k_t &= 8.5 t_0^{-0.08} \bar{f}_c^{-1/4} \text{ days/cm}^2 & \text{SI} \end{aligned} \quad (1.20)$$

where

$$\alpha_1 = \begin{cases} 1.0 & \text{for type I cement;} \\ 0.85 & \text{for type II cement;} \\ 1.1 & \text{for type III cement.} \end{cases} \quad (1.21)$$

and

$$\alpha_2 = \begin{cases} 0.75 & \text{for steam-curing;} \\ 1.2 & \text{for sealed or normal curing in air with initial protection against drying;} \\ 1.0 & \text{for curing in water or at 100\% relative humidity.} \end{cases} \quad (1.22)$$

Creep at Drying (same in both inch-pound system and SI units)

$$q_5 = 7.57 \times 10^5 \bar{f}_c^{-1} |\epsilon_{sh\infty}|^{-0.6} \quad (1.23)$$

Fuente: Bažant, Zdenek P & Baweja, Sandeep., Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structures: Model B3.



3. Metodología cálculo curva Creep - Modelo B3

$$J(t, t_0) = q_1 + C_0(t, t_0) + C_d(t, t_0, t_c)$$

$$C_0(t, t_0) = q_2 Q(t, t_0) + q_3 \ln[1 + (t - t_0)^n] + q_4 \ln(t/t_0)$$

$$C_d(t, t_0, t_c) = q_5 [e^{-8H(t)} - e^{-8H(t_0)}]^{1/2}$$

$$H(t) = 1 - (1 - h)S(t - t_c)$$

$$H(t_0) = 1 - (1 - h)S(t_0 - t_c)$$

$$S(t - t_c) = \tanh \sqrt{\left(\frac{t - t_c}{\tau_{sh}} \right)^{1/2}}$$

$$S(t_0 - t_c) = \tanh \sqrt{\left(\frac{t_0 - t_c}{\tau_{sh}} \right)^{1/2}}$$

$$\varepsilon_{sh}(t, t_c) = \varepsilon_{sh\infty} k_h S(t - t_c)$$

$$S(t - t_c) = \tanh \sqrt{\frac{(t - t_c)}{\tau_{sh}}}$$

$$\tau_{sh} = 190.8 t_c^{-0.08} f_{cm28}^{-0.25} [2k_s (V/S)]^2$$

$$\varepsilon_{sh\infty} = \varepsilon_{s\infty} \frac{E_{cm(607)}}{E_{cm(t_c + \tau_{sh})}}$$

Fuente: Bažant, Zdenek P & Baweja, Sandeep.,
Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis
and Design of Concrete Structures: Model B3.



3. Metodología cálculo curva Creep - Modelo B3

Fuente: Bažant, Zdenek P & Baweja, Sandeep., Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structures: Model B3.

t' = Edad al cargar (días)

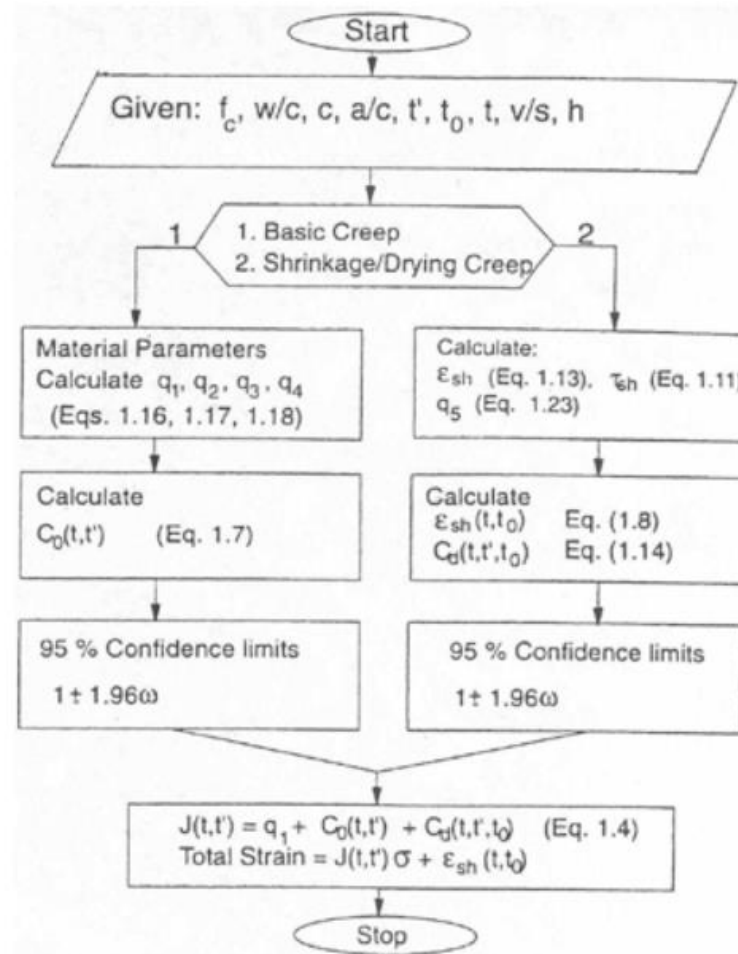
t_0 = Edad de secado (días)

t = Edad en la cual se calculan los efectos reológicos (días)

h = Humedad (%)

v/s = Volumen / superficie (m)

ω = Coeficiente de variación



3. Parámetros considerados por metodologías

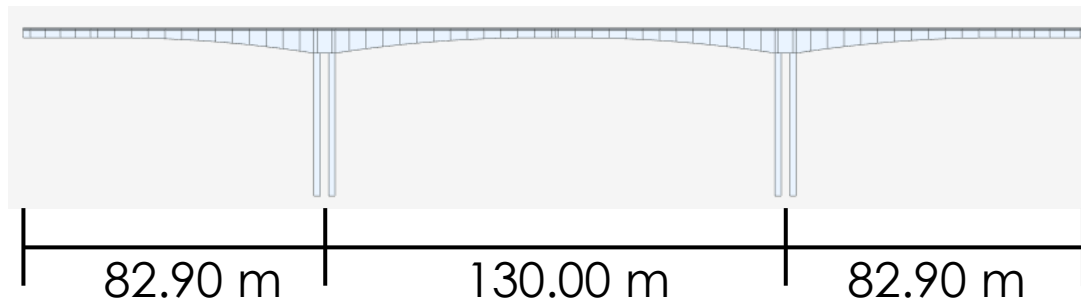
Parámetro	AASHTO	ACI	B3	B4	CEB-FIB	EC2
Edad al inicio del secado	X	X	X	X	X	X
Edad al inicio de la carga	X	X	X	X	X	X
Método de curado	X	X	X	X		X
Humedad relativa	X	X	X	X	X	X
Relación volumen-superficie	X	X	X	X	X	X
Contenido de agua			X	X		
f'c	X	X	X	X	X	X
Relación de agregado fino		X				
Contenido total de agregado			X	X		
Tipo de cemento		X	X	X	X	X
Contenido de cemento		X	X	X		
Temperatura				X		



3. Comparación de cálculo de Creep

Se presenta un ejemplo simplificado para ilustrar las diferencias entre modelos.

El modelo se desarrolló en el software de análisis Midas Civil.



Parámetro	Valor
Resistencia concreto, f'_c (MPa)	42
Número nocional, h (m)	0.45-0.64
Relación V/S (m)	0.18-0.26
Humedad, H (%)	70%
Edad de inicio de secado (Dias)	5
Edad de inicio de carga (Dias)	5
Tipo de cemento	RS
Contenido de cemento (kg/m^3)	400
Contenido de agua (kg/m^3)	160
Contenido de agregado grueso (kg/m^3)	900
Contenido de agregado fino (kg/m^3)	700
Luces (m)	82.90 - 130.00 - 82.90
H cajon (m)	2.70 - 7.00

38

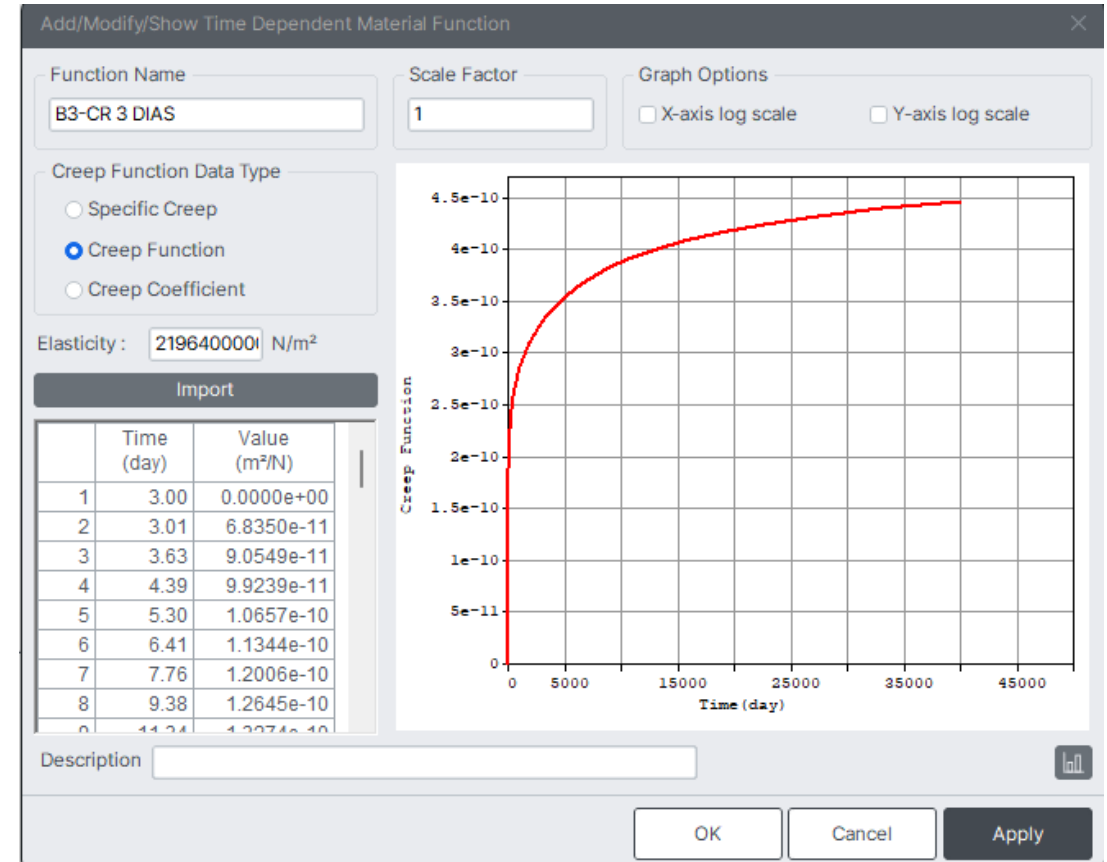


3. Aplicación en software de análisis estructural

A pesar de su aparente complejidad los métodos detallados pueden ser aplicados en software comerciales de diseño, definiendo manualmente las curvas de efectos reológicos, para cada sección y edad de carga (mínimo 15 curvas por sección) .

This dialog box is used to define time-dependent material properties. It includes fields for Name, Code, and a list of Creep Functions with their respective Loading Ages. There are also buttons for adding, modifying, and deleting functions, and a checkbox for Shrinkage Strain Function.

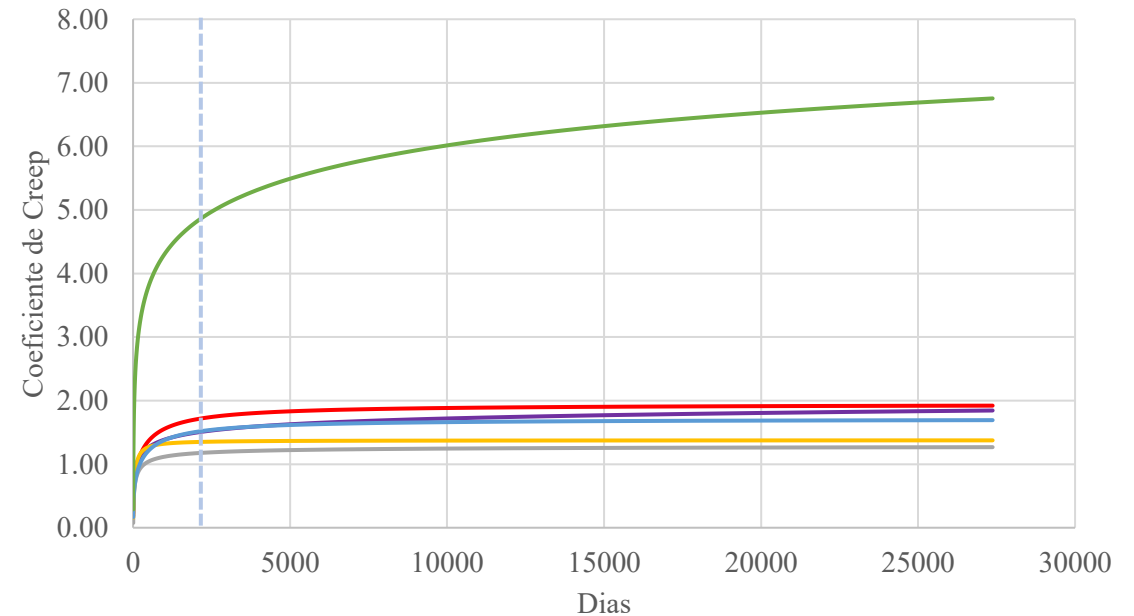
Name	Loading Age
B3-CR 3 DIAS	3
B3-CR 2 DIAS	2
B3-CR 5 DIAS	5



3. Comparación de cálculo de Creep

Se aprecian diferencias no solo en la magnitud del Creep; si no también en la forma de su evolución.

No se evidencian asíntotas, ni estabilización alrededor de los 1865 - 2190 días (5 – 6 años).

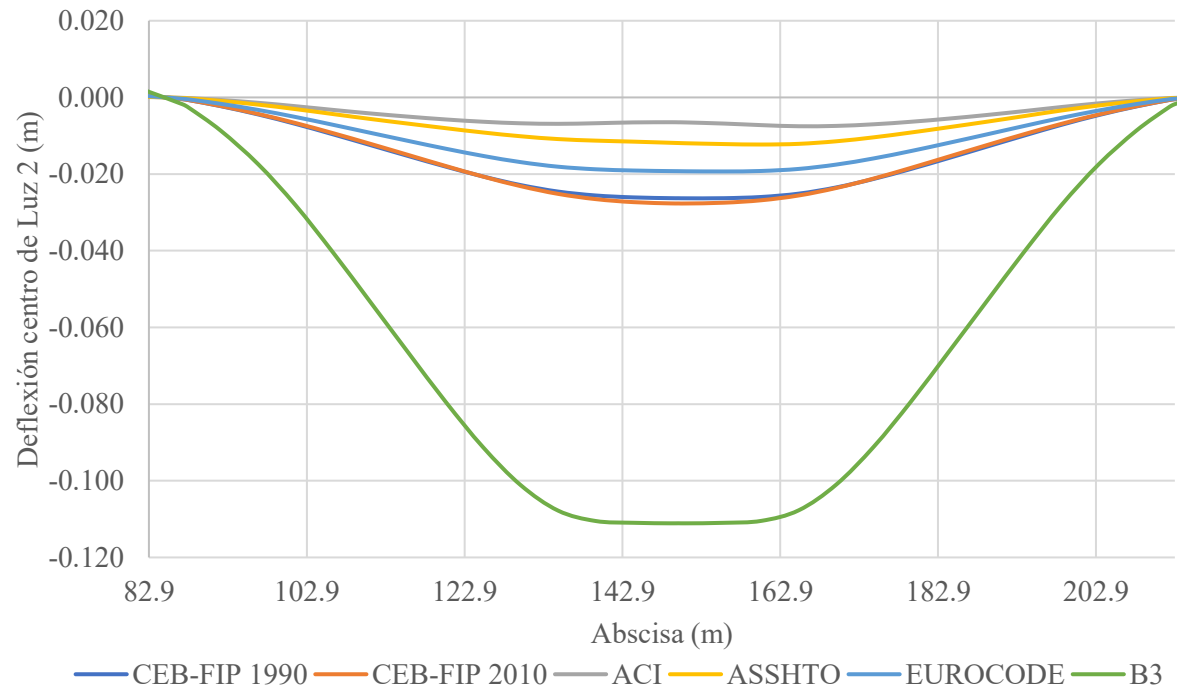


— CEB-FIP 1990 — CEB-FIP 2010 — ACI — AASHTO — EUROCODE — B3



3. Comparación de cálculo de Creep

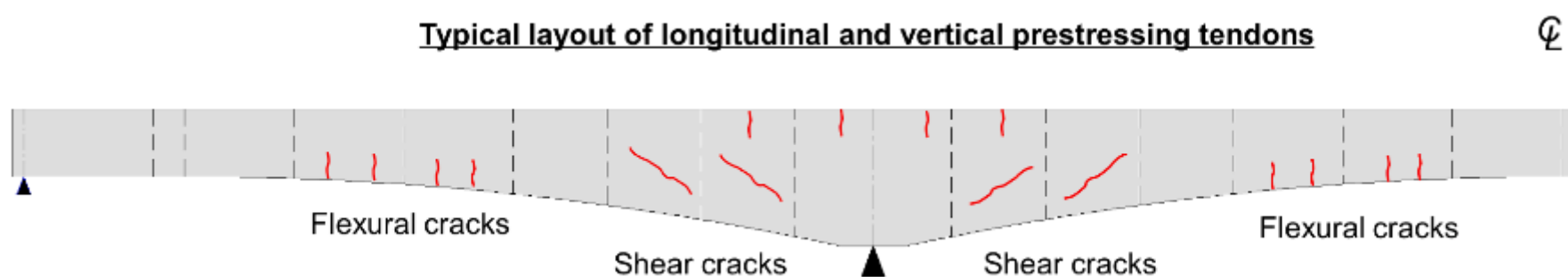
Luego de 75 años se encuentran deflexiones más de 3 veces mayores a las calculadas por los métodos convencionales; las cuales pueden ser inclusive mayores si se considera fisuración, secados diferenciales, o ajustes de los parámetros q ($q1... q5$).



3. Consideración de fisuras en el cálculo de deflexiones

En patología es importante considerar el efecto que la fisuración pueda tener sobre la rigidez de la estructura.

Múltiples metodologías existen para dicho fin; se presentará la indicada en “*Crack-based serviceability assessment of post-tensioned segmental concrete box-girder bridges*” (He et al., 2021)



Fuente: He et al., Crack-based serviceability assessment of post-tensioned segmental concrete box-girder bridges



3. ¿Cuándo son de consideración las fisuras?

Las fisuras son importantes según sus dimensiones (espesor, profundidad, longitud, número), su patrón y si se corresponde con déficit identificados en la estructura.

ACI-224 ofrece lineamientos para “*espesores razonables*” de fisura.

De igual forma Eurocode 2 y *FIB-Model* restringe a 0.30 mm el ancho de fisura en elementos presforzados.

Condición de Exposición	Ancho de fisura	
	in.	mm
Aire seco o membrana protectora	0,016	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0,012	0,30
Productos químicos descongelantes	0,007	0,18
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0,006	0,15
Estructuras para retención de agua†	0,004	0,10

Fuente: ACI-224



3. Consideración de fisuras en el cálculo de deflexiones

La metodología propuesta en “*Crack-based serviceability assessment of post-tensioned segmental concrete box-girder bridges*” consiste en relacionar las fisuras levantadas *in-situ* y los esfuerzos calculados con una disminución de la rigidez a flexión y cortante de la sección.

Table 1

Rating criteria for shear cracks in segmental concrete bridges.

Crack severity	Crack degree (G_{cr})	Crack descriptions	
		Crack width	Crack density
I (None)	0	none	none
II (Hairline)	1	< 0.1 mm	length < $1/3L_{seg}$
III (Narrow)	2	[0.1 ~ 0.2] mm	length = $[1/3 \sim 1/2]L_{seg}$
IV (Medium)	3	(0.2 ~ 1.0) mm	length > $1/2L_{seg}$; or spacing = 20 ~ 30 cm
V (Severe)	4	> 1.0 mm	spacing < 20 cm

Note: L_{seg} = segment length.

$$K_{v,eff} = \alpha_{K,shear} K_{v,e} = \text{Rigidez a cortante}$$

$$\alpha_{K,shear} = 1 - \frac{1 - \beta}{4} G_{cr}$$

Fuente: He et al., Crack-based serviceability assessment of post-tensioned segmental concrete box-girder bridges



4. RECOMENDACIONES y CONCLUSIONES



4. Recomendaciones y conclusiones

1. Los modelos convencionales basados en códigos pueden subestimar en más de dos (2) veces las deformaciones a largo plazo de algunas estructuras.
2. La familia de modelos *B* (*BP*, *B3*, *B4*) propuestos por Bazant y recomendados por *RILEM* (*Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages*), han demostrado, según referencias bibliográficas y la experiencia del presente consultor, que reflejan mejor el comportamiento de puentes segmentales de medianas y grandes luces.
3. Las deformaciones a largo plazo pueden impactar significativamente la serviciabilidad y vida útil de los Puentes; es necesaria una adecuada estimación.
4. Para el uso de los modelos *B* en diseño se puede partir de dosificaciones supuestas a partir de la experiencia o bancos de datos como *RILEM* y variar cada parámetro en los rangos indicados sugeridos en "*Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structures: Model B3*"



4. Recomendaciones y conclusiones

5. Los modelos *B* pueden ser herramientas útiles en patologías para describir deformaciones mayores a las calculadas convencionalmente.
6. Cuando se utilicen los modelos *B* en patología se debe considerar el efecto de la fisuración sobre la rigidez de la estructura.
7. El Eurocode, CEB-FIP y NBR 7187, limitan la deformación total final a $L/250$; este podría ser un referente adecuado para estructuras convencionales; sin embargo, límites más estrictos podrían ser necesarios según el tipo de estructura, su importancia y función.
8. Según las condiciones de la estructura y el problema analizado los modelos detallados pueden aplicarse a modelos de espina; sin embargo, algunas aplicaciones podrán requerir modelos de placas que consideren el secado diferido (Andrade, 2023).
9. Debido a la susceptibilidad de los puentes segmentales a los efectos reológicos es sugerido su monitoreo en el tiempo, lo cual no es usualmente ejecutado. Se recomienda para tales fines los lineamientos de la AASHTO MBE.



4. Recomendaciones y conclusiones

10. Entre las acciones que pueden tomarse para un mejor control de deflexiones a largo plazo están:

- Considerar dosificaciones con menos sensibilidad a *Creep*; mayor cantidad de agregado grueso y relaciones bajas de A/C
- Disponer de secciones con adecuada rigidez
- Secciones completamente presforzadas
- Puentes de luces importantes pueden justificar ensayos de *Creep*
- Actualización de modelos con mediciones durante construcción
- Verificación con modelos detallados



5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



5. Referencias bibliográficas

1. Huang , D., (2020) Concrete Segmental Bridges.
2. Bažant, Zdenek P & Baweja, Sandeep., (2000) Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structures: Model B3.
3. Bažant, Zdenek P., (2012) Excessive Long-Time Deflections of Prestressed Box Girders.
4. Lu, P. and Wang Y., (2025) Analysis of long-term deflection factors of long span prestressed concrete continuous rigid frame bridge.
5. Liao, W. and Chern, J., (2025) Verification and Application of B4-TW Shrinkage and Creep Prediction Model
6. He, Z., Li, Y., Xu, T., Liu, Z., And John, Z., (2021) LiuCrack-based serviceability assessment of post-tensioned segmental concrete box-girder bridges



5. Referencias bibliográficas

7. Purba, L., Supriyadi, B. and Suhendro, B., (2023) Long-term Deflection Of Prestressed Concrete Box Girder Bridges Due To Creep And Shrinkage.
8. Robertson, I., (2005) Prediction of vertical deflections for a long-span prestressed concrete bridge structure
9. Navrátil, J. and Zich, M., (2013) Long-term deflections of cantilever segmental bridges Jaroslav
10. Andrade, E., (2023) Long-term effects of creep and shrinkage on the structural behavior of balanced cantilever prestressed concrete bridges
11. Rincon, L., Viviescas, A., Osorio, E., Riveros-Jerez, C., and Lozano-Galant, J., (2021) Evaluation of time-dependent deflections on balanced cantilever bridges



5. Referencias bibliográficas

12. American Association of State Highway and Transportation Officials (2012) AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS.
13. American Association of State Highway and Transportation Officials (2024) AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS.
14. American Association of State Highway and Transportation Officials (2018) AASHTO Manual for Bridge Evaluation, 3rd Edition.
15. Instituto Nacional de Vías – INVIAS, (2014) Norma Colombiana de Diseño de Puentes - LRFD – CCP-14.



*“La mayor necesidad del mundo es la de hombres que no se vendan ni se compren;
hombres que sean sinceros y honrados en lo más íntimo de sus almas;
hombres que no teman dar al pecado el nombre que le corresponde;
hombres cuya conciencia sea tan leal al deber como la brújula al polo;
hombres que se mantengan de parte de la justicia, aunque se desplomen los cielos”
E.G.W.*

