

AVANCES Y TENDENCIAS EN DURABILIDAD Y ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL. ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA DE LOS ÚLTIMOS AÑOS

Fernando Rodríguez García

- _01 Análisis. Punto de partida
- _02 El foco. Hacia dónde vamos
- _03 Vida útil. La tendencia
- _04 Analogía con la seguridad
- _05 Ampliando el marco. Durabilidad y sostenibilidad
- _06 Los aliados tecnológicos
- _07 Conclusiones

Análisis. Punto de partida





Puente del Pedrido, A Coruña (España)

Proyecto: Eduardo Torroja

Proyecto de reparación: FHECOR

EL CASO DE LA NORMATIVA ESPAÑOLA

1978

condiciones ambientales	Clases de hormigón					
	C12, C16, C20		C25, C30, C35		C40, C45, C50	
	caso general	losas láminas	caso general	losas láminas	caso general	losas láminas
poco severas	20	15	15	15	15	15
moderadamente severas	20	25	25	20	20	15
severas	40	35	35	30	30	25

2010 (50 años)

Table 7.13-1: Minimum cover for reasons of durability (indicative values)

Environmental class	XC2 XC4				XD1 XD2 XD3		
	X0 XC1	XC3			XS1 XS2 XS3		
Reinforced concrete	10 15 25 30				35 40 45		
Prestressed concrete	10 25 35 40				45 50 55		

1990

Ambiente	c_{min} [mm]
1	10
2	25
3, 4	40
5	(*)

(*) Depende del ambiente concreto

2010 (50 -100 años & tipo cemento)

Hormigón	Cemento	Vida útil de proyecto (t_p) (años)	Clase general de exposición			
			IIIa	IIIb	IIIc	IV
Armado	CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsílíce superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	50	25	30	35	35
		100	30	35	40	40
	Resto de cementos utilizables	50	45	40	*	*
		100	65	*	*	*
Pretensado	CEM II/A-D o bien con adición de humo de sílice superior al 6%	50	30	35	40	40
		100	35	40	45	45
	Resto de cementos utilizables, según el Artículo 26º	50	65	45	*	*
		100	*	*	*	*

LA PARADOJA DE LA PREFABRICACIÓN



ORIGEN DE LAS ESPECIFICACIONES NORMATIVAS

	Relación a/c	Contenido mín. cemento [kg/m ³]	Recubrimientos [mm]
NORMATIVA	0,55	300	35
REALIDAD	0,50	350	?

- ESPECIFICACIONES BASADAS EN VALORES DE REFERENCIA LÍMITES (PARA QUE SE CUMPLAN SIMULTÁNEAMENTE LOS TRES VALORES)
- SE DEBE PODER CONTEMPLAR LO QUE SE HACE MEJOR QUE EL MÍNIMO DE LA NORMA
- EL PLANTEAMIENTO TRADICIONAL SE QUEDA INSUFICIENTE



El foco. Hacia dónde vamos



¿CUAL ES EL MEJOR MÉTODO PARA GARANTIZAR LA DURABILIDAD? HACIA LO PRESTACIONAL



NECESIDADES PARA UN NUEVO PLANTEAMIENTO

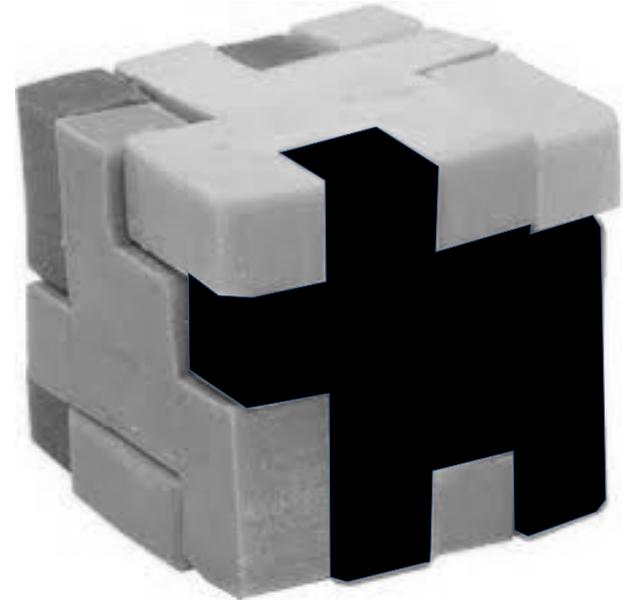


HACIA LO PRESTACIONAL ¿RESISTENCIA COMO INDICADOR DE DURABILIDAD?

RESISTENTE + DURABLE



RESISTENTE, PERO NO DURABLE



PRIMERA APROXIMACIÓN: ENSAYOS DE COMPORTAMIENTO



Vida útil. La tendencia



APARECE CONCEPTO DE VIDA ÚTIL



- CONCEPTO ECONÓMICO
Ligado a la amortización de inversiones
- INTRODUCCIÓN EN LA TÉCNICA
- Se fijan valores antes de saber/decir cómo calcularlo !

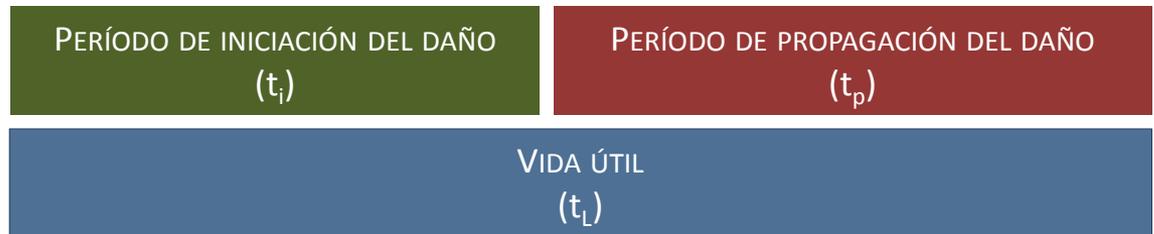
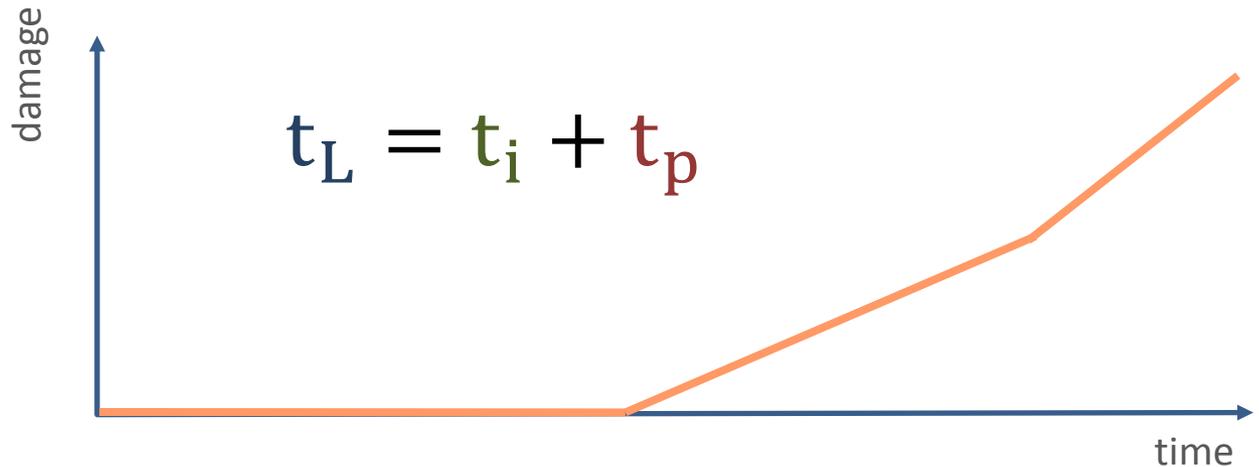
Normativa ISO
Reglamentación española

- SE GENERAN **REFERENCIAS SIN VALORAR CONSECUENCIAS**

50 / 100 AÑOS

SEGUNDA APROXIMACIÓN: APARECEN MODELOS DE COMPORTAMIENTO CONSOLIDADOS

HACIA LA CUANTIFICACIÓN
DE LA VIDA ÚTIL



SEGUNDA APROXIMACIÓN: APARECEN MODELOS DE COMPORTAMIENTO CONSOLIDADOS

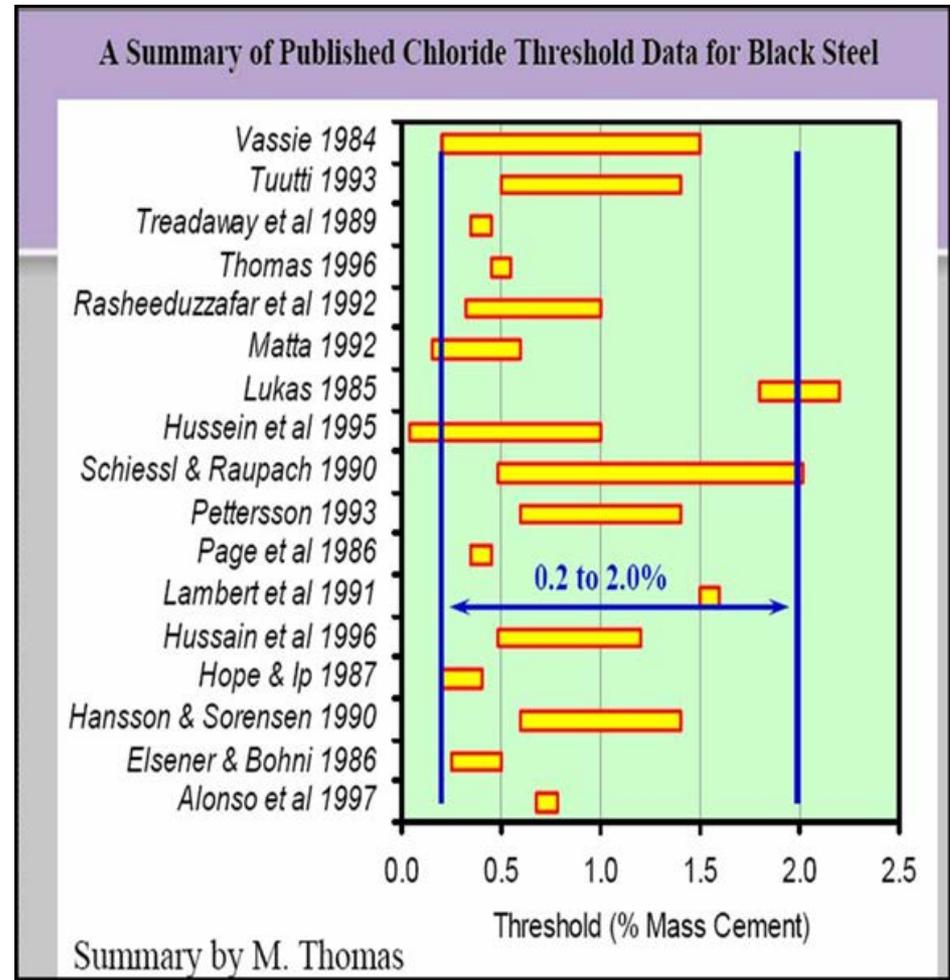
$$t_L = t_i + t_p = \left[\frac{d}{K} \right]^2 + \frac{80 \cdot d}{\phi \cdot v_{corr}}$$

ES VIABLE UN PLANTEAMIENTO DETERMINISTA

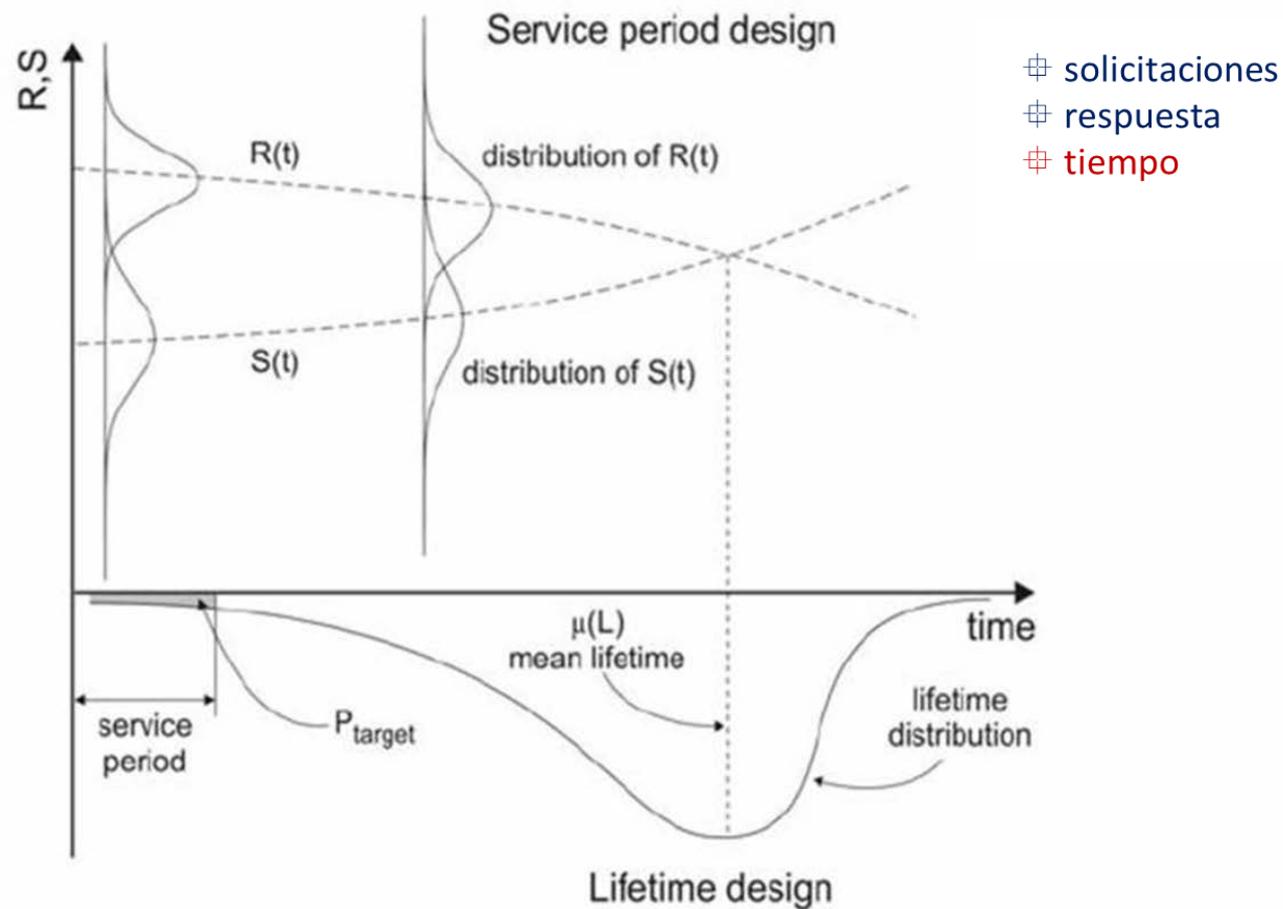
SE PUEDE CALCULAR LA VIDA ÚTIL ESTIMADA



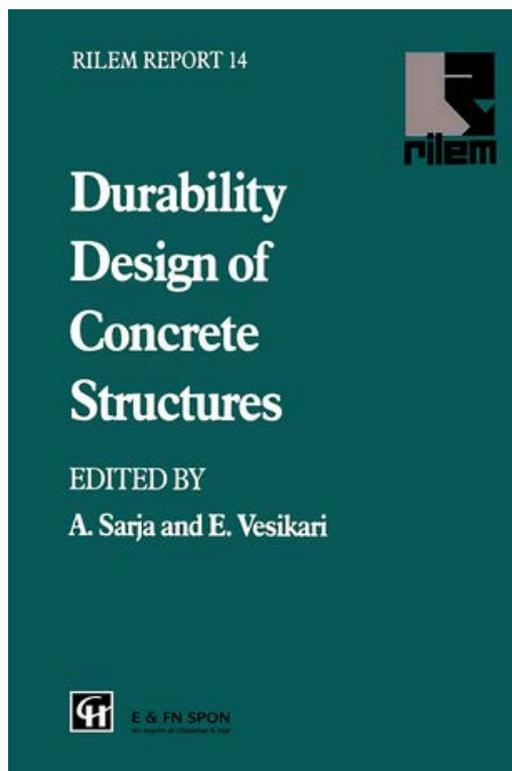
LOS UMBRALES INADMISIBLES TIENEN INCERTIDUMBRES



TERCERA APROXIMACIÓN: ESTADO LIMITE DE DURABILIDAD



TERCERA APROXIMACIÓN: ESTADO LIMITE DE DURABILIDAD



TERCERA APROXIMACIÓN: ESTADO LIMITE DE DURABILIDAD



Puente sobre la ría de Noia (España)
Proyecto: FHECOR



SEGUNDA APROXIMACIÓN: APARECEN MODELOS DE COMPORTAMIENTO CONSOLIDADOS

SE COMPRUEBA LA DIFICULTAD PARA ALGUNOS CASOS DE VIDA ÚTIL

Hormigón	Cemento	Vida útil de proyecto (t_p) (años)	Clase general de exposición			
			IIIa	IIIb	IIIc	IV
Armado	CEM III/A, CEM III/B, CEM IV, CEM II/B-S, B-P, B-V, A-D u hormigón con adición de microsilice superior al 6% o de cenizas volantes superior al 20%	50	25	30	35	35
		100	30	35	40	40
	Resto de cementos utilizables	50	45	40	*	*
		100	65	*	*	*
Pretensado	CEM II/A-D o bien con adición de humo de sílice superior al 6%	50	30	35	40	40
		100	35	40	45	45
	Resto de cementos utilizables, según el Artículo 26º	50	65	45	*	*
		100	*	*	*	*



Analogía con la seguridad



VIDA ÚTIL Y GARANTÍA DE DURACIÓN



¿SON COMPARABLES?

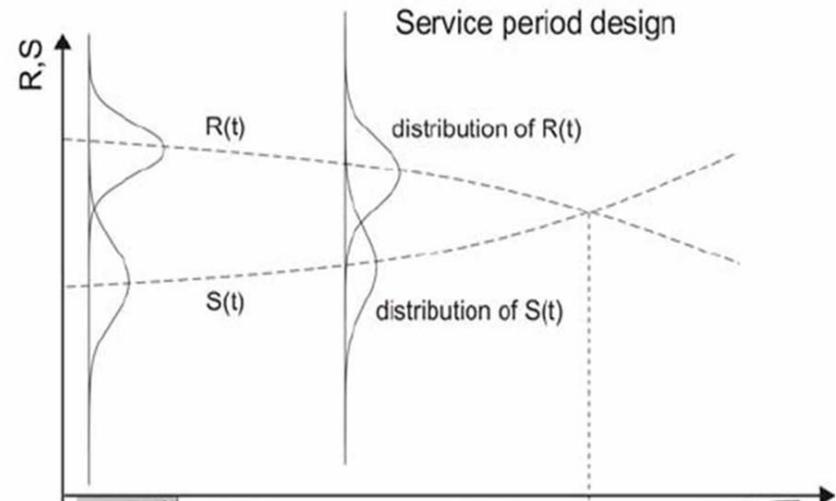
HACIA UN ANÁLISIS PROBABILISTA DE LA VIDA ÚTIL

EL.S. Despasivación

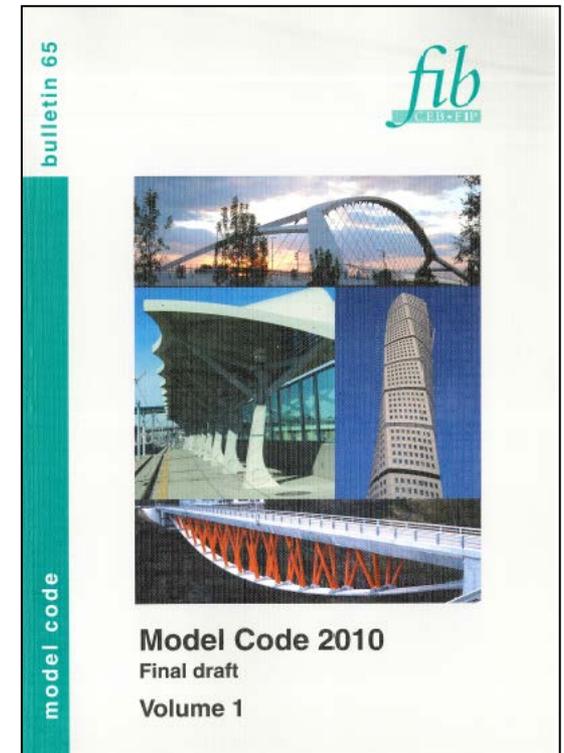
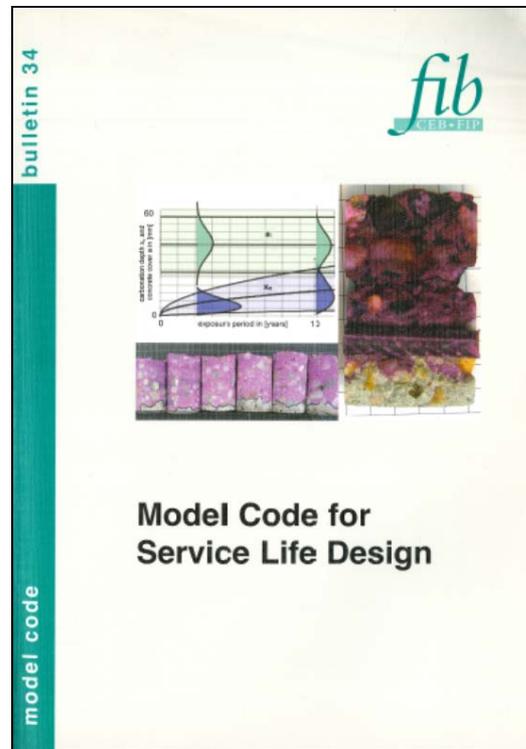
$$P_{\text{desp}} = P \{ a < X_{\text{carb,tSL}} \} < P_{\text{adm}}$$

E.L.U. Pérdida de sección

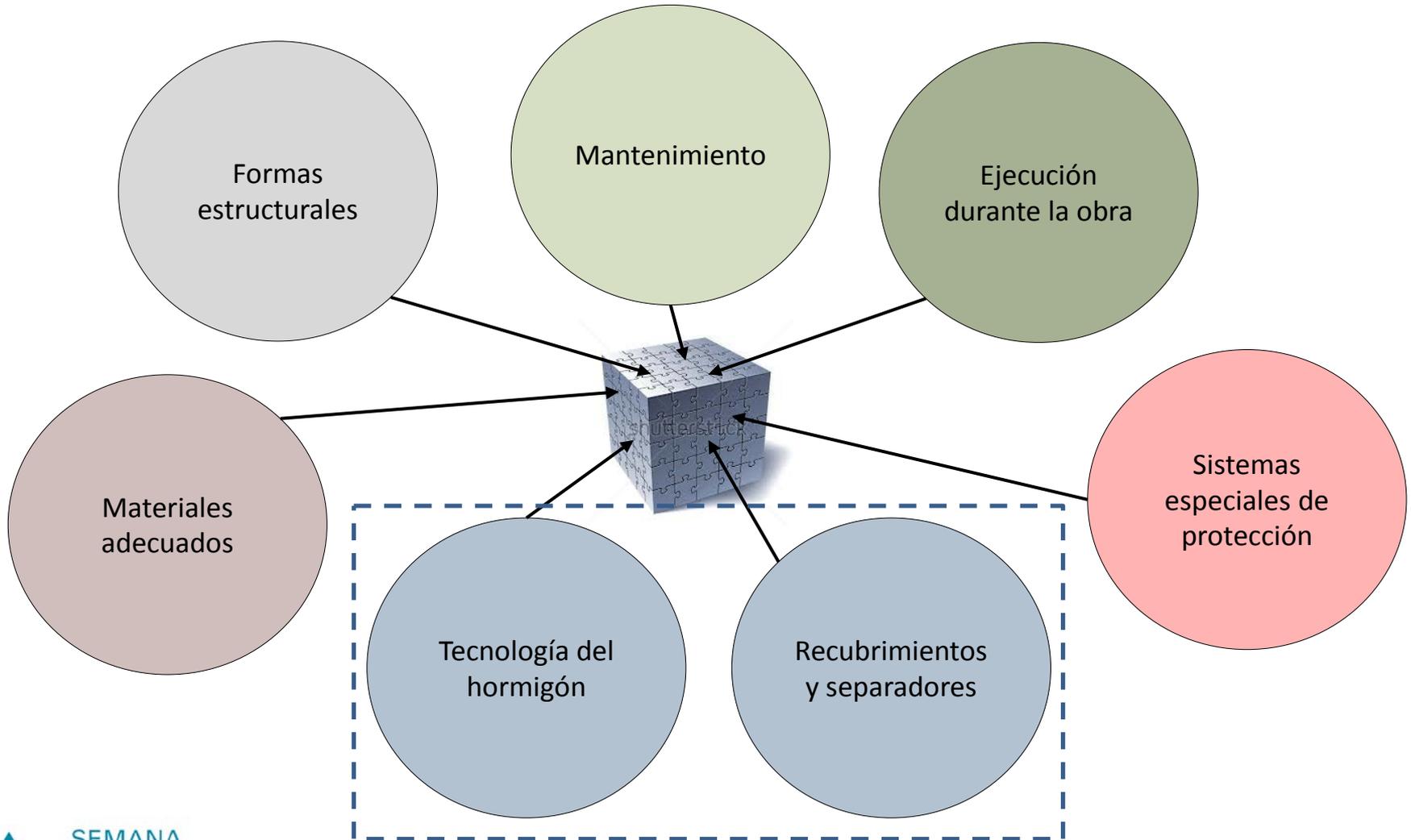
$$P_{\text{pérdida de sección}} = P \{ \Delta\phi_{\text{tSL}} > \Delta\phi_{\text{crit}} \} < P_{\text{adm}}$$



HACIA UN ANÁLISIS PROBABILISTA DE LA VIDA ÚTIL



ESTRATEGIA DE DURABILIDAD DESDE EL PROYECTO



AVANCES Y TENDENCIAS EN DURABILIDAD Y
ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL.
ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA DE LOS ÚLTIMOS AÑOS.

F H E C O R ■ C O N O C I M I E N T O

Ampliando el marco: durabilidad y sostenibilidad





1940

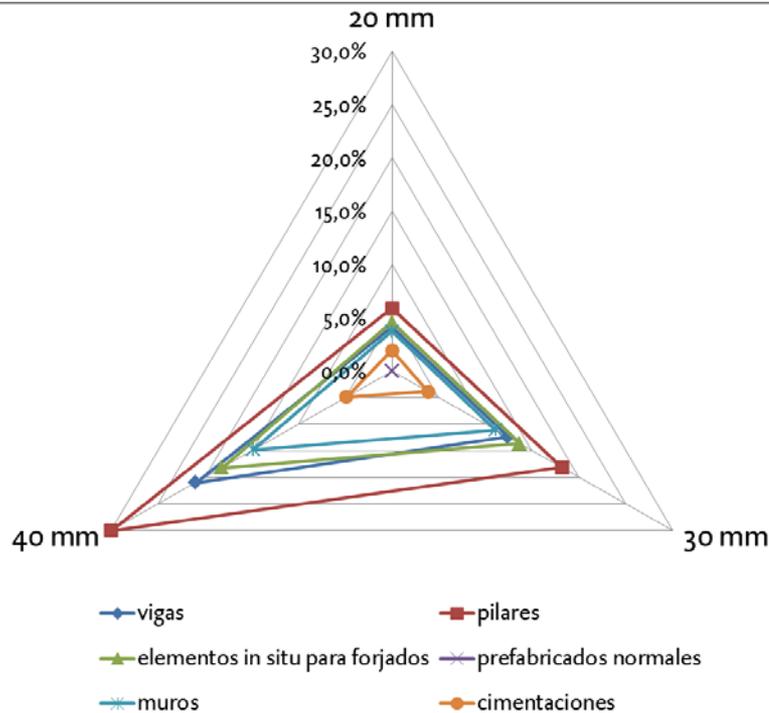
1973

1998

2016







Cemento CEM II	350 Kg
Agua	170 Kg
Arena	870 Kg
Grava	960 Kg
Aditivo	7 Kg

		$\Delta r = 5 \text{ mm}$	$\Delta r = 15 \text{ mm}$	$\Delta r = 25 \text{ mm}$
Calentamiento global [$\text{Kg CO}_2 \text{ eq} / \text{m}^3$]	2,08E+02	57.337,28	158.217,28	230.715,68
Destrucción ozono estratosférico [$\text{Kg CFC}_{\text{eq}} / \text{m}^3$]	8,48E-06	0,00	0,01	0,01
Acidificación [$\text{Kg SO}_2 \text{ eq} / \text{m}^3$]	3,87E-01	106,68	294,38	429,26
Eutrofización [$\text{Kg PO}_4^{3-} \text{ eq} / \text{m}^3$]	7,94E-02	21,89	60,40	88,07
Oxidación fotoquímica [$\text{Kg C}_2\text{H}_4 \text{ eq} / \text{m}^3$]	1,35E-02	3,72	10,27	14,97
Agotamiento de recursos abióticos [$\text{Kg Sb}_{\text{eq}} / \text{m}^3$]	5,28E-01	145,55	401,63	585,66
Demanda energía renovable [$\text{MJ}_{\text{eq}} / \text{m}^3$]	5,56E+01	15.326,70	42.292,70	61.672,08

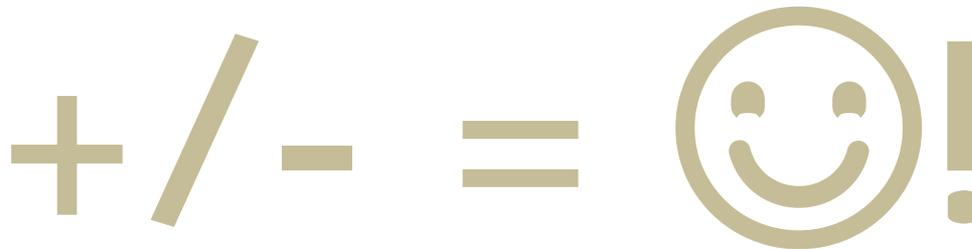
cambio del paradigma

— Antes: buscar aumentar. _cuanto más, mejor

31



— Ahora: buscar el equilibrio



Las oportunidades de futuro: Los aliados tecnológicos



OPORTUNIDADES DE FUTURO

ALIADOS ACTUALES:

- Desarrollos de la química:
inhibidores de corrosión
- Benchmarking desde otros campos:
protección catódica

ALIADOS DE FUTURO:

- Nanotecnologías:
materiales inteligentes



Conclusiones

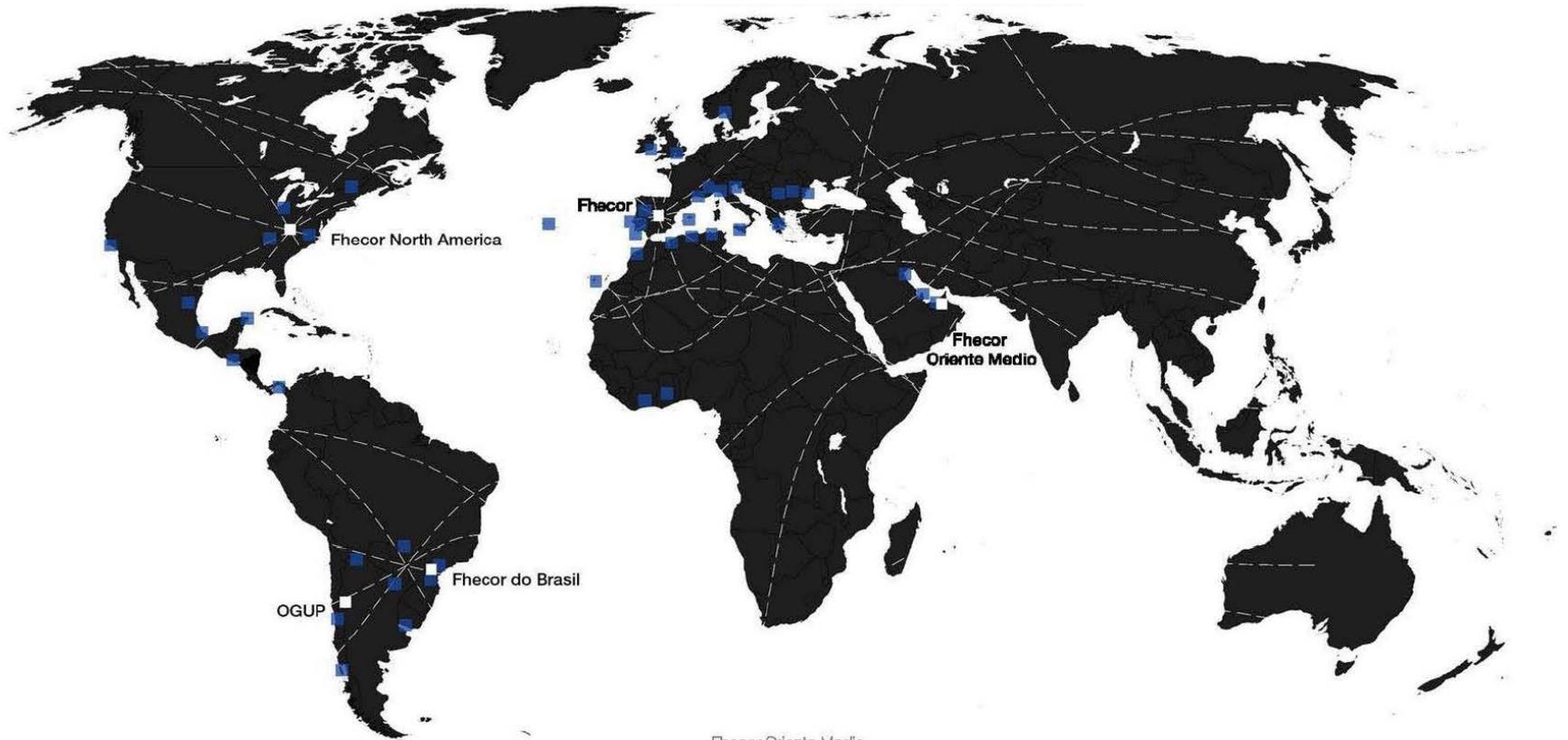


1. Momento de madurez en el conocimiento de la durabilidad
2. Algunos temas pueden requerir replanteamientos en el futuro inmediato (vidas útiles nominales)
3. El propio concepto de durabilidad nos lleva a asociar probabilidades a las vidas útiles
4. Cambio en el paradigma: Más ya no es mejor. Buscar el equilibrio
5. Podemos tener aliados de futuro en el avance tecnológico



FHECOR ■

Ingenieros Consultores



Fhecor North America
1717 K Street NW
Suite 900
_Washington DC_20006
T +1 202 699 2195
micp@fhecor.com

Fhecor do Brasil
Av República Argentina 2403
Cj.66_CEP 80610-260
Curitiba_PR Brasil
T +55 41 8413 9609
sdc@fhecordobrasil.com

OGUP
Av General Bustamente,24 3E
Santiago de Chile_Chile
T +00 5622 274 38 16
Movil +00 569 92 330 835
ounanue@ogup.cl

Fhecor Oriente Medio
Emirates Towers 26th Floor
PO Box 504929
_Dubai_U.A.E
T +971 4 3300110 Ext 32
Movil +34 620 456 288
lrg@fhecor.com

Fhecor
Calle Barquillo,23
España
_Madrid 28004
T +34 91 7014460
fhecor@fhecor.com

C/ Conde de Xiquena,13
_Madrid 28004
T +34 91 7014460
fhecor@fhecor.com

trabajando dónde estés

C/ Villamarí,110
_Barcelona 085015
T +34 91 7014460
fhecor@fhecor.com

C/ Balbino Marrón,3
_Sevilla 41018
T +34 91 7014460
fhecor@fhecor.com



AVANCES Y TENDENCIAS EN DURABILIDAD Y
ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL.
ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA DE LOS ÚLTIMOS AÑOS.

FHECOR ■ CONOCIMIENTO