



DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

AGOSTO 2020





TEMARIO

- **INTRODUCCIÓN**
- **FACTORES QUE DETERMINAN LA DURABILIDAD**
- **CICLO DE VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS**
- **REQUISITOS DE DURABILIDAD (ACI 318-19)**
 - **REQUISITOS SEGÚN LA CLASE DE EXPOSICIÓN**
- **SELECCIÓN Y CALIDAD DE LOS COMPONENTES DEL
HORMIGÓN**



INTRODUCCIÓN

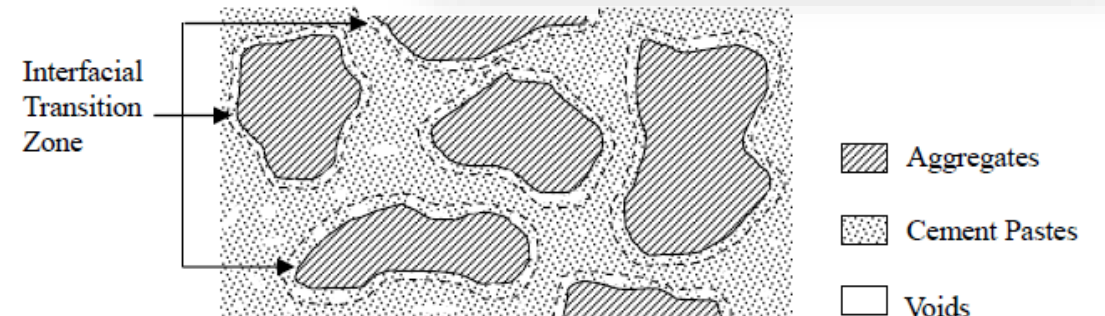
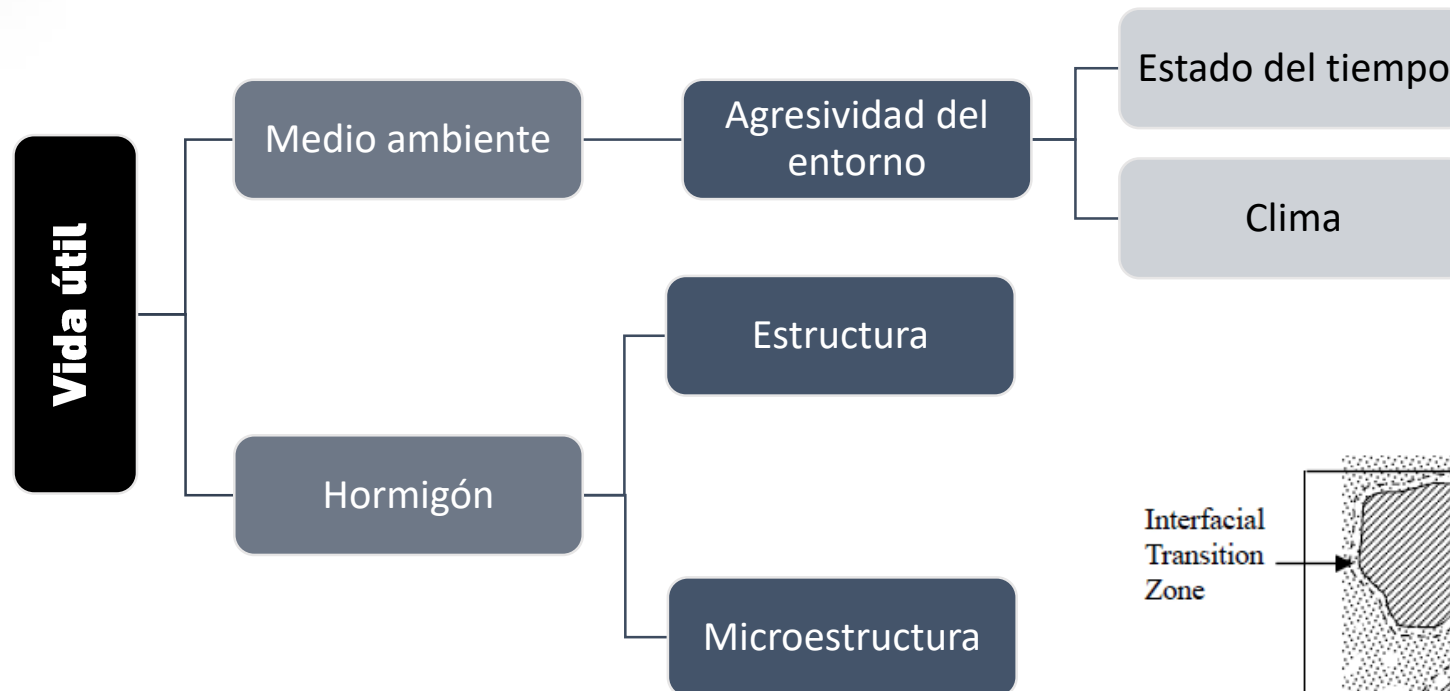
INTRODUCCIÓN

¿Para qué son diseñadas y construidas las estructuras de hormigón?



INTRODUCCIÓN

¿Para qué son diseñadas y construidas las estructuras de hormigón?

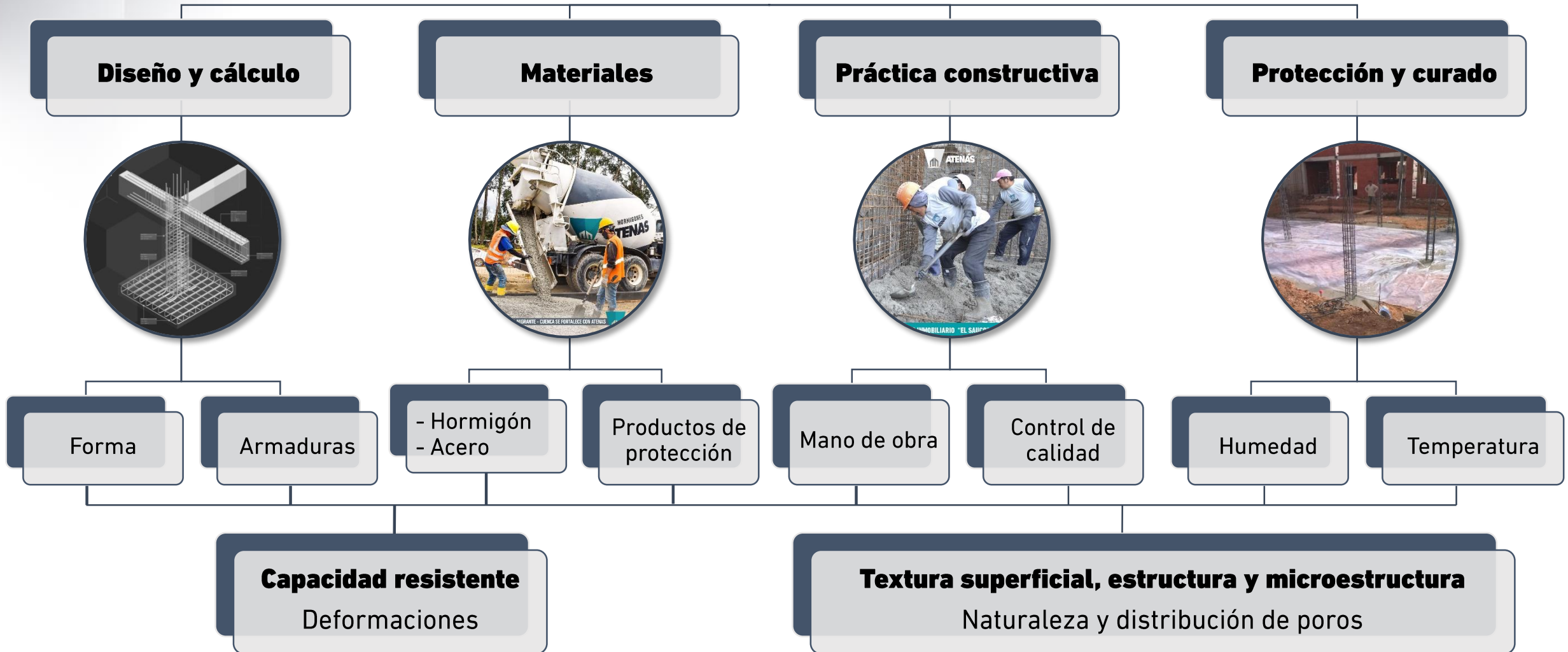


Amanda Sepulveda (2013)

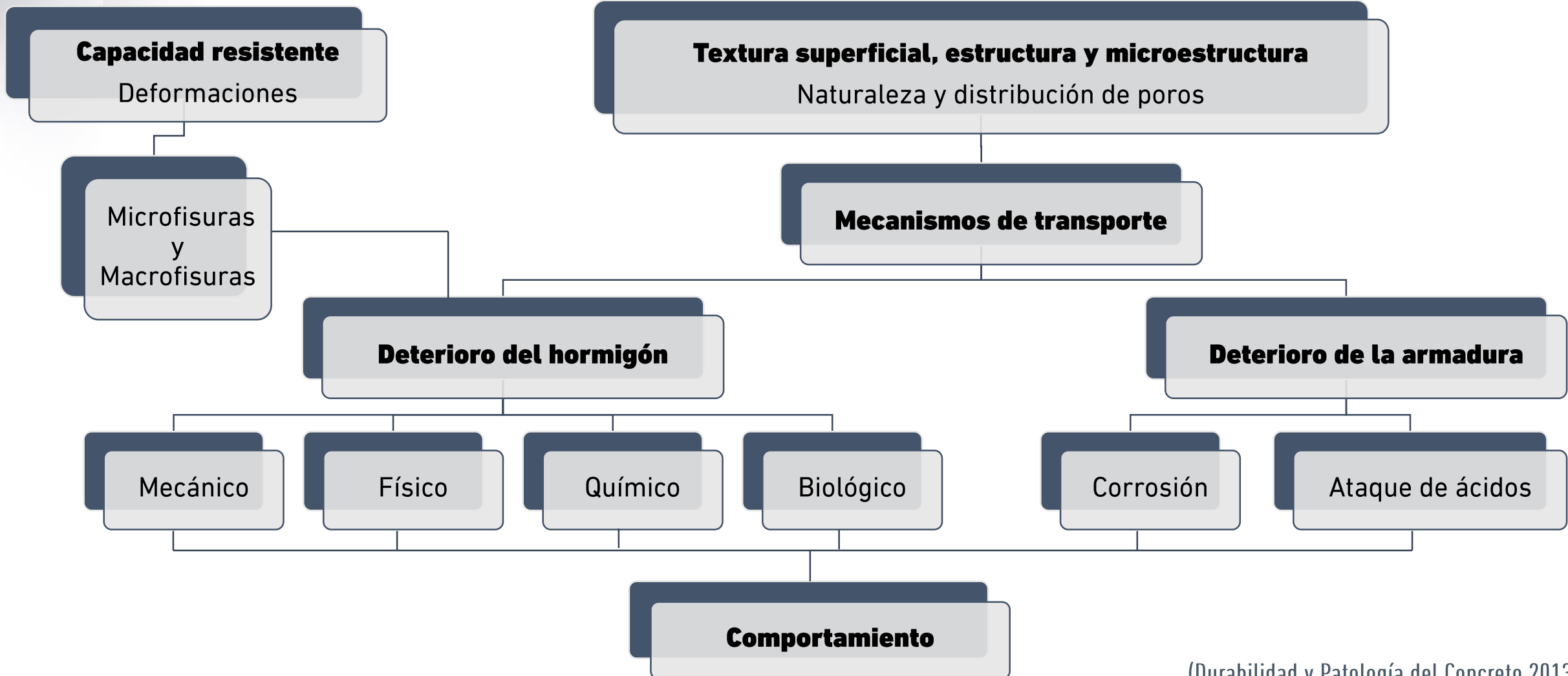


FACTORES QUE DETERMINANA LA DURABILIDAD

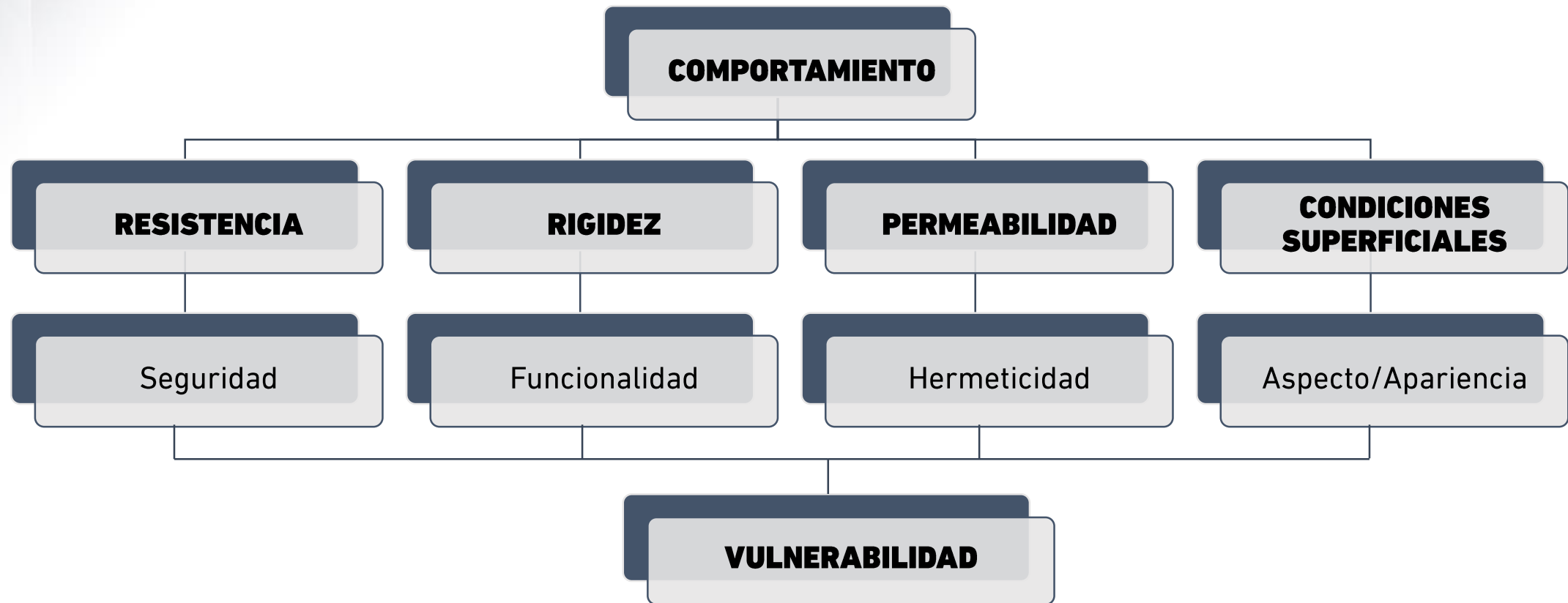
FACTORES QUE DETERMINAN LA DURABILIDAD



FACTORES QUE DETERMINAN LA DURABILIDAD



FACTORES QUE DETERMINAN LA DURABILIDAD





CICLO DE VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS

CICLO DE VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS

DEFINICIÓN:

Periodo de tiempo en el cual la estructura conserva los requisitos previstos de seguridad y estética (aspecto), con costos razonables de mantenimiento.



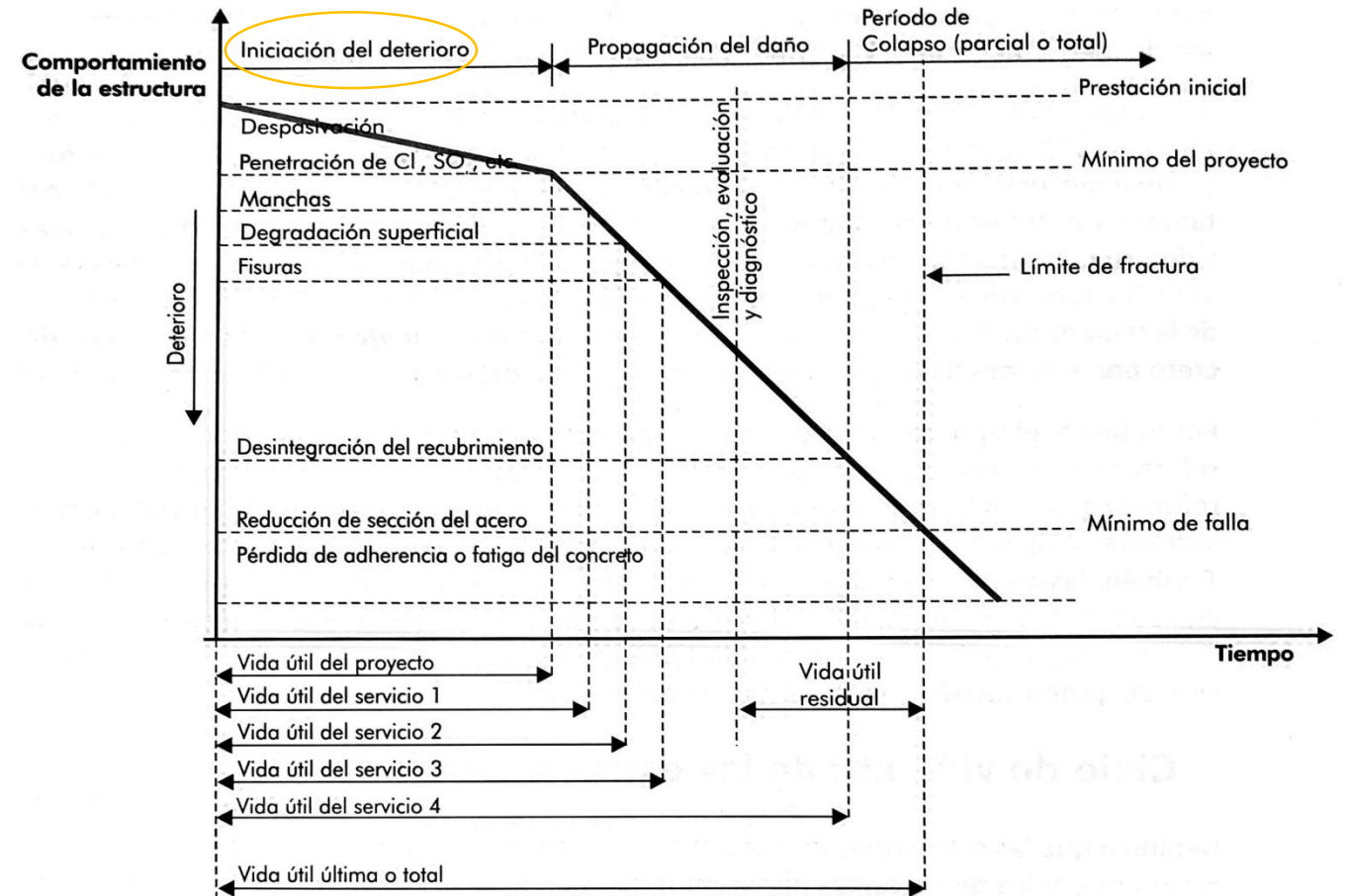
CICLO DE VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS

VIDA ÚTIL DEL PROYECTO:

Periodo de tiempo en el cual un mecanismo de daño, o un agente agresor, de inicio al deterioro del hormigón simple o reforzado, pero no ha iniciado el debilitamiento de la estructura.



Carbonatación del hormigón



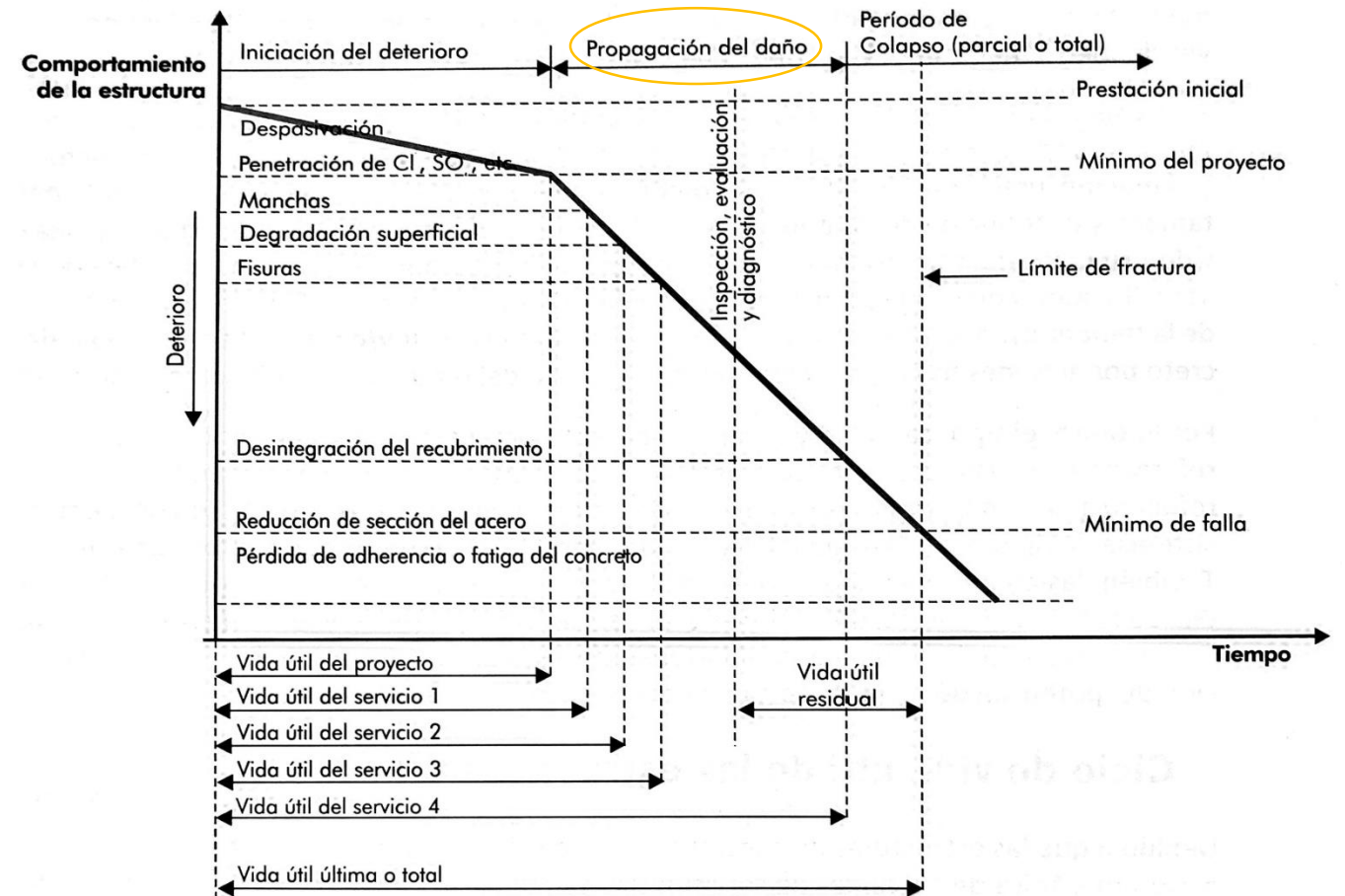
CICLO DE VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS

VIDA ÚTIL DE SERVICIO:

Periodo de tiempo que se inicia desde la ejecución de la estructura hasta que se completa un cierto y determinado nivel aceptable de deterioro. Se pueden evidenciar síntomas de deterioro:

- Manchas superficiales
- Desintegración del recubrimiento
- Exposición del agregado
- Fisuras

La vida útil de cada estructura es muy variable.

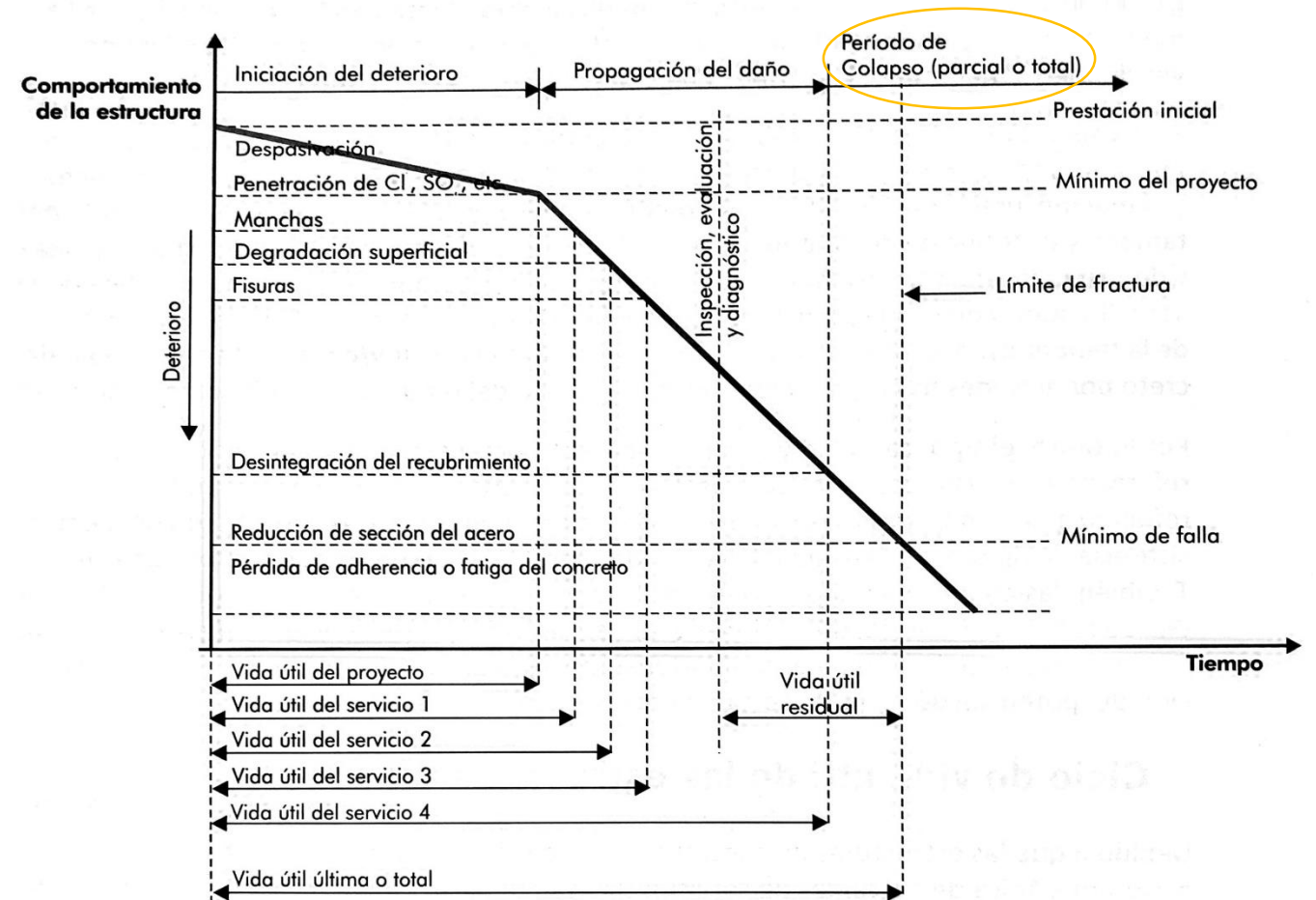


CICLO DE VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS

VIDA ÚTIL ÚLTIMA O TOTAL:

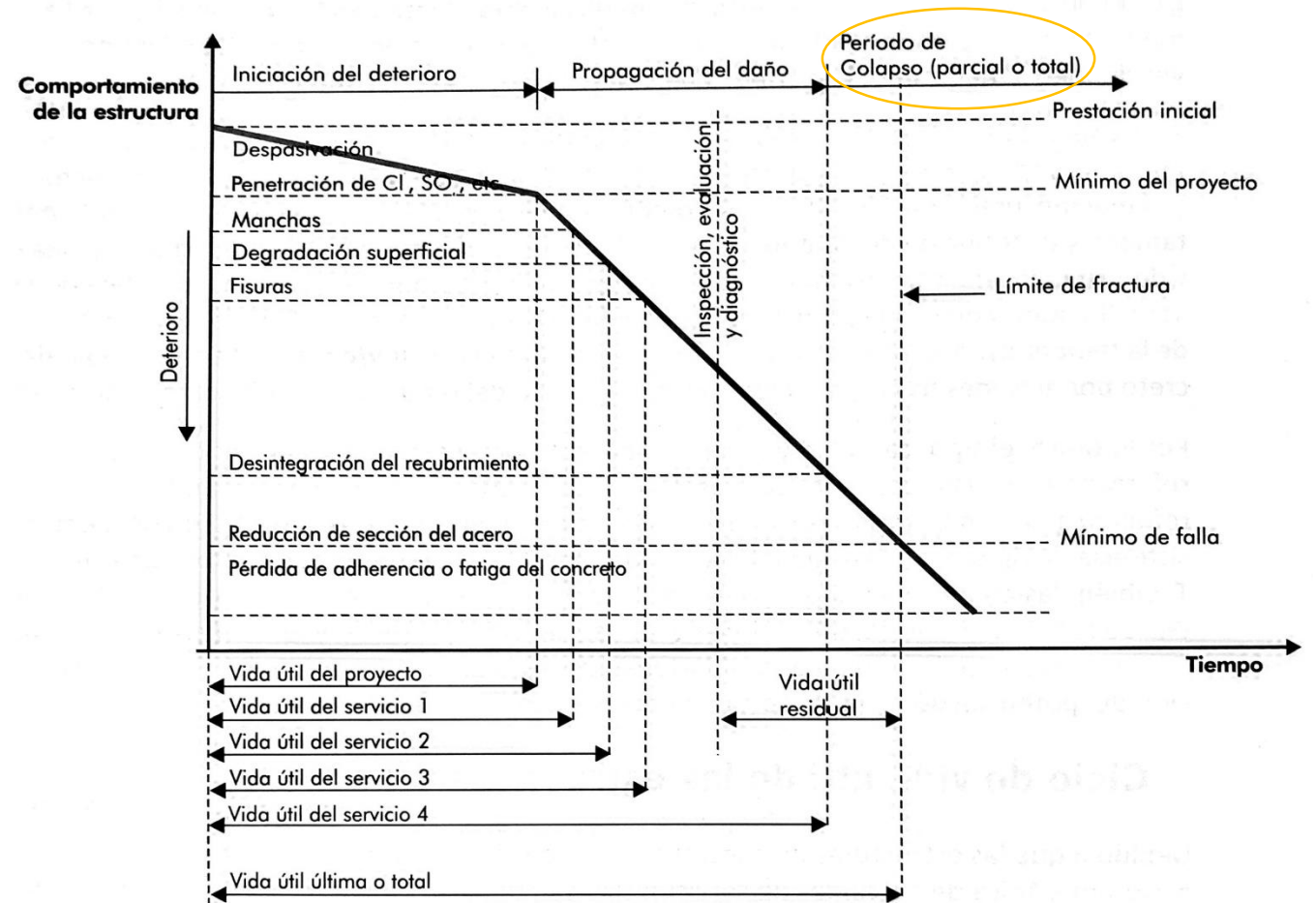
Periodo de tiempo que se inicia desde la ejecución de la estructura hasta presentar su colapso parcial o total. El colapso se puede ocasionar por los siguientes motivos:

- Reducción significativa de la sección neta resistente del acero.
- Pérdida importante de la adherencia hormigón - acero.
- Disminución importante capacidad resistente del hormigón (fatiga).



CICLO DE VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS

VIDA ÚTIL ÚLTIMA O TOTAL:

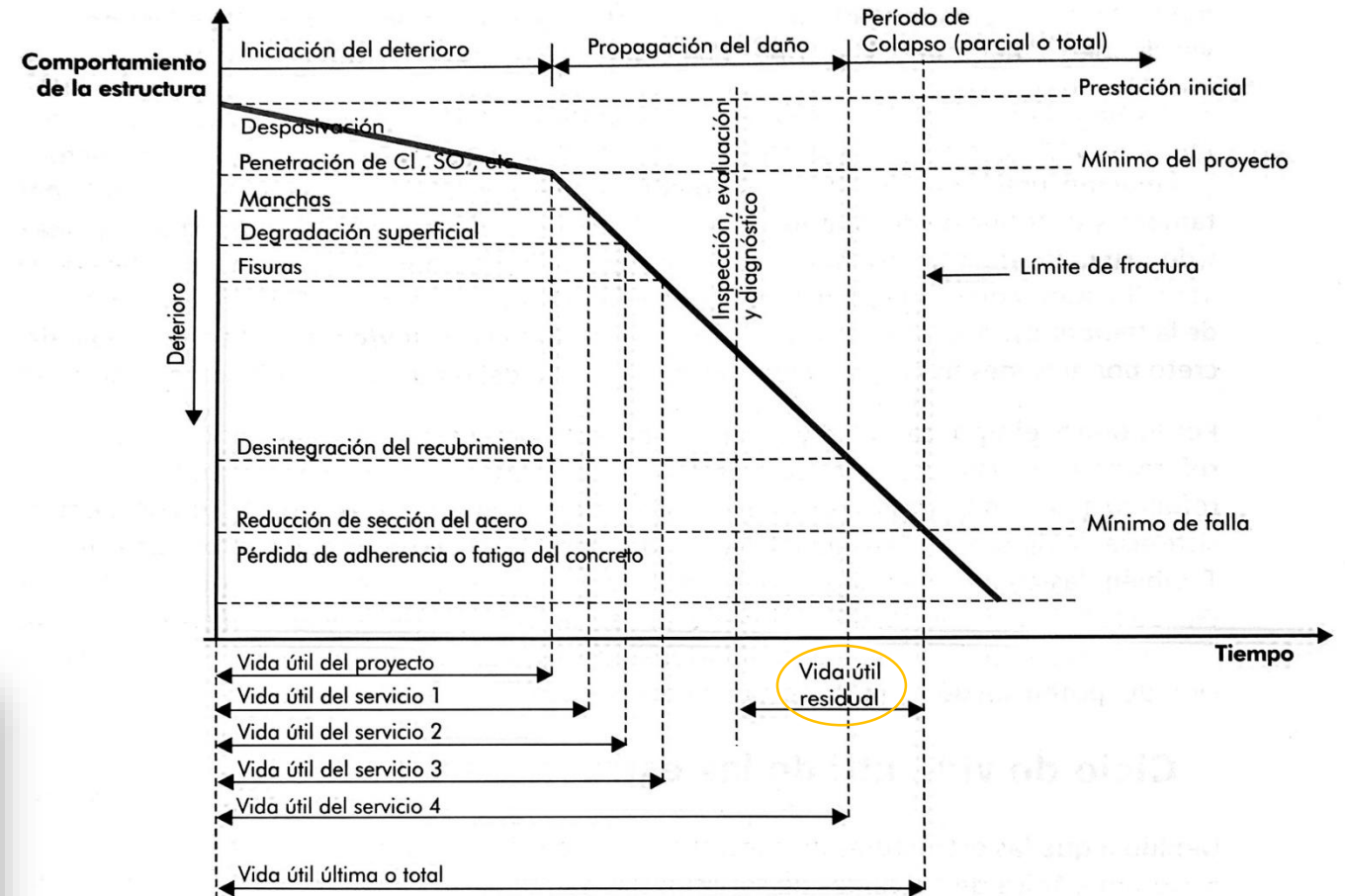


CICLO DE VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS

VIDA ÚTIL RESIDUAL:

Periodo de tiempo (a partir de la fecha de la inspección) en que la estructura es capaz de desempeñar sus funciones.

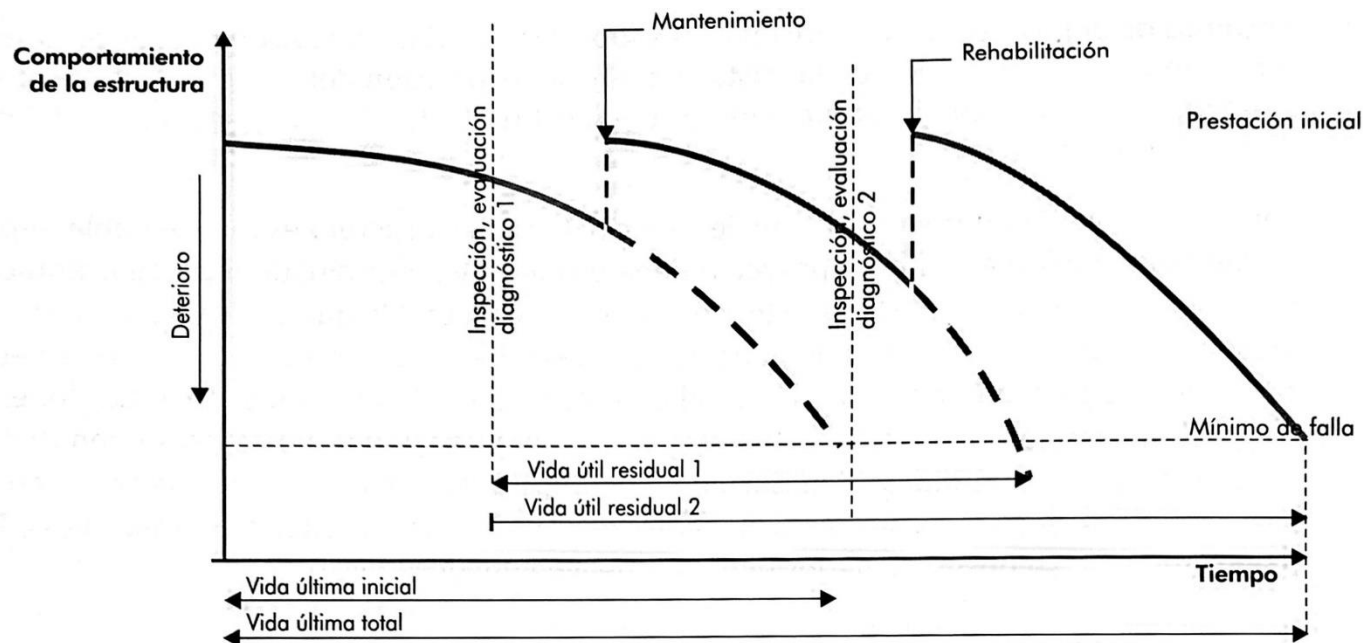
Si durante la vida útil en servicio de una estructura se realiza una inspección, evaluación y diagnóstico, se puede determinar con alguna aproximación la vida útil residual.



CICLO DE VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS

VIDA ÚTIL RESIDUAL:

Si la vida útil es mantenida periódicamente se da origen a una nueva vida útil del proyecto, cuya extensión dependerá del tipo de mantenimiento o rehabilitación efectuado.



REQUISITOS DE DURABILIDAD (ACI 318-19)



CICLO DE VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS

MECANISMOS DE DAÑO:

- Sobre cargas
- Deformación
- Impactos
- Vibración
- Abrasión

MECÁNICAS

DISEÑO

- Hipótesis
- Normas
- Dimensiones
- Detalle

- Experiencia
- Cuidado
- Control de calidad
- Precauciones

MANO DE OBRA

FÍSICAS

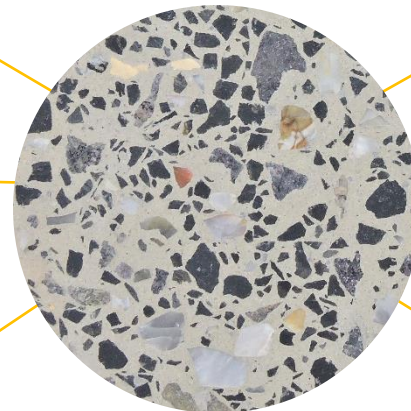
- Humedad
- Agua
- Hielo
- Calor

- Formulación
- Capacidad
- Calidad
- Experiencias

MATERIALES

QUÍMICAS

- Ácidos
- Alcalis
- Sulfato
- Microorganismos



REQUISITOS DE DURABILIDAD (ACI 318-19)

19.3.1 CATEGORÍAS Y CLASES DE EXPOSICIÓN:

“Se requiere que los miembros sean asignados a cuatro clases de exposición, una por cada categoría de exposición, y también se requiere que cumplan los requisitos más rigurosos para todas las exposiciones”.

Table 19.3.1.1—Exposure categories and classes

Category	Class	Condition	
Freezing and thawing (F)	F0	Concrete not exposed to freezing-and-thawing cycles	
	F1	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles with limited exposure to water	
	F2	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles with frequent exposure to water	
	F3	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles with frequent exposure to water and exposure to deicing chemicals	
Sulfate (S)		Water-soluble sulfate (SO ₄ ²⁻) in soil, percent by mass ^[1]	Dissolved sulfate (SO ₄ ²⁻) in water, ppm ^[2]
	S0	SO ₄ ²⁻ < 0.10	SO ₄ ²⁻ < 150
	S1	0.10 ≤ SO ₄ ²⁻ < 0.20	150 ≤ SO ₄ ²⁻ < 1500 or seawater
	S2	0.20 ≤ SO ₄ ²⁻ ≤ 2.00	1500 ≤ SO ₄ ²⁻ ≤ 10,000
	S3	SO ₄ ²⁻ > 2.00	SO ₄ ²⁻ > 10,000
In contact with water (W)	W0	Concrete dry in service	
	W1	Concrete in contact with water where low permeability is not required	
	W2	Concrete in contact with water where low permeability is required	
Corrosion protection of reinforcement (C)	C0	Concrete dry or protected from moisture	
	C1	Concrete exposed to moisture but not to an external source of chlorides	
	C2	Concrete exposed to moisture and an external source of chlorides from deicing chemicals, salt, brackish water, seawater, or spray from these sources	

^[1]Percent sulfate by mass in soil shall be determined by ASTM C1580.

^[2]Concentration of dissolved sulfates in water, in ppm, shall be determined by ASTM D516 or ASTM D4130.



Congelamiento y deshielo (F)



Sulfatos (S)

REQUISITOS DE DURABILIDAD (ACI 318-19)

19.3.1 CATEGORÍAS Y CLASES DE EXPOSICIÓN:

Por ejemplo, la losa de un garaje de estacionamiento en un clima frío podría ser clasificado de la siguiente manera.

Clases de exposición: F3, S0, W2 y C2



En contacto con agua (W)



Protección del refuerzo para la corrosión (C)

Table 19.3.1.1—Exposure categories and classes

Category	Class	Condition	
Freezing and thawing (F)	F0	Concrete not exposed to freezing-and-thawing cycles	
	F1	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles with limited exposure to water	
	F2	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles with frequent exposure to water	
	F3	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles with frequent exposure to water and exposure to deicing chemicals	
Sulfate (S)		Water-soluble sulfate (SO_4^{2-}) in soil, percent by mass ^[1]	Dissolved sulfate (SO_4^{2-}) in water, ppm ^[2]
	S0	$\text{SO}_4^{2-} < 0.10$	$\text{SO}_4^{2-} < 150$
	S1	$0.10 \leq \text{SO}_4^{2-} < 0.20$	$150 \leq \text{SO}_4^{2-} < 1500$ or seawater
	S2	$0.20 \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 2.00$	$1500 \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 10,000$
	S3	$\text{SO}_4^{2-} > 2.00$	$\text{SO}_4^{2-} > 10,000$
In contact with water (W)	W0	Concrete dry in service	
	W1	Concrete in contact with water where low permeability is not required	
	W2	Concrete in contact with water where low permeability is required	
Corrosion protection of reinforcement (C)	C0	Concrete dry or protected from moisture	
	C1	Concrete exposed to moisture but not to an external source of chlorides	
	C2	Concrete exposed to moisture and an external source of chlorides from deicing chemicals, salt, brackish water, seawater, or spray from these sources	

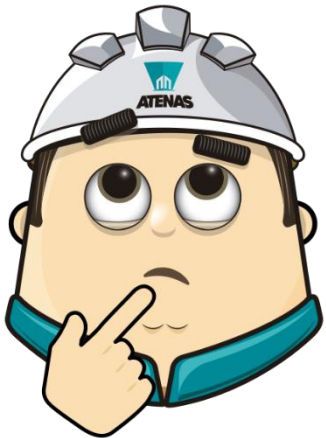
^[1]Percent sulfate by mass in soil shall be determined by ASTM C1580.

^[2]Concentration of dissolved sulfates in water, in ppm, shall be determined by ASTM D516 or ASTM D4130.

REQUISITOS DE DURABILIDAD (ACI 318-19)

19.3.1 CATEGORÍAS Y CLASES DE EXPOSICIÓN:

¿Cómo estaría clasificada esta estructura?



Ubicación del proyecto:

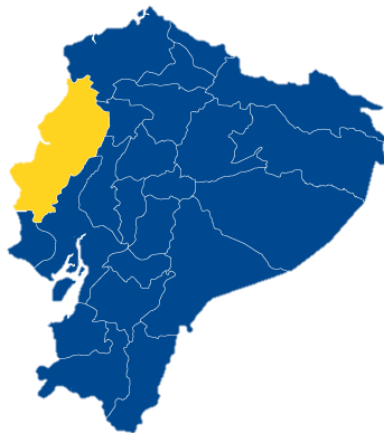


Table 19.3.1.1—Exposure categories and classes

Category	Class	Condition	
Freezing and thawing (F)	F0	Concrete not exposed to freezing-and-thawing cycles	
	F1	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles with limited exposure to water	
	F2	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles with frequent exposure to water	
	F3	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles with frequent exposure to water and exposure to deicing chemicals	
Sulfate (S)		Water-soluble sulfate (SO ₄ ²⁻) in soil, percent by mass ^[1]	Dissolved sulfate (SO ₄ ²⁻) in water, ppm ^[2]
	S0	SO ₄ ²⁻ < 0.10	SO ₄ ²⁻ < 150
	S1	0.10 ≤ SO ₄ ²⁻ < 0.20	150 ≤ SO ₄ ²⁻ < 1500 or seawater
	S2	0.20 ≤ SO ₄ ²⁻ ≤ 2.00	1500 ≤ SO ₄ ²⁻ ≤ 10,000
	S3	SO ₄ ²⁻ > 2.00	SO ₄ ²⁻ > 10,000
In contact with water (W)	W0	Concrete dry in service	
	W1	Concrete in contact with water where low permeability is not required	
	W2	Concrete in contact with water where low permeability is required	
Corrosion protection of reinforcement (C)	C0	Concrete dry or protected from moisture	
	C1	Concrete exposed to moisture but not to an external source of chlorides	
	C2	Concrete exposed to moisture and an external source of chlorides from deicing chemicals, salt, brackish water, seawater, or spray from these sources	

^[1]Percent sulfate by mass in soil shall be determined by ASTM C1580.

^[2]Concentration of dissolved sulfates in water, in ppm, shall be determined by ASTM D516 or ASTM D4130.

REQUISITOS DE DURABILIDAD (ACI 318-19)

19.3.2 REQUISITOS PARA LAS MEZCLAS DE CONCRETO:

Las mezclas de hormigón deben cumplir con los requisitos más restrictivos de la tabla 19.3.2.1.



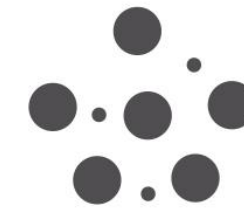
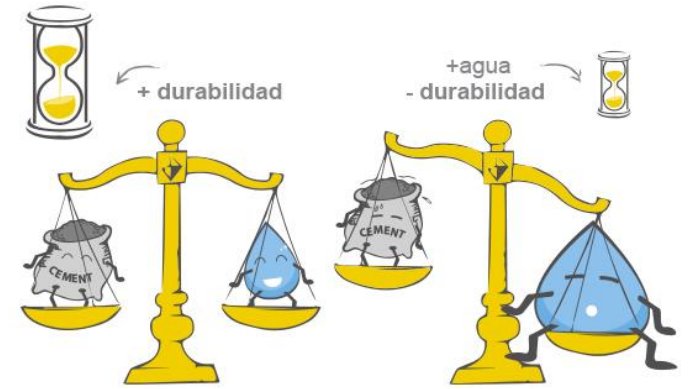
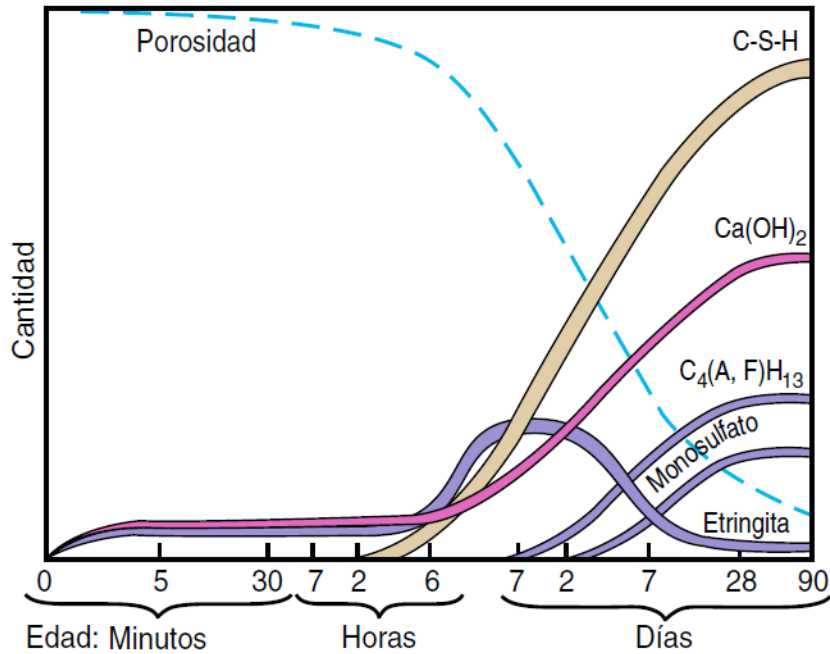
La durabilidad del hormigón se ve afectada por la resistencia del hormigón a la penetración de fluidos.

Table 19.3.2.1—Requirements for concrete by exposure class

Exposure class	Maximum w/cm ^[1,2]	Minimum f'_c , psi	Additional requirements			Limits on cementitious materials
			Air content			
F0	N/A	2500	N/A			N/A
F1	0.55	3500	Table 19.3.3.1 for concrete or Table 19.3.3.3 for shotcrete			N/A
F2	0.45	4500	Table 19.3.3.1 for concrete or Table 19.3.3.3 for shotcrete			N/A
F3	0.40 ^[3]	5000 ^[3]	Table 19.3.3.1 for concrete or Table 19.3.3.3 for shotcrete			26.4.2.2(b)
			Cementitious materials ^[4] — Types			Calcium chloride admixture
			ASTM C150	ASTM C595	ASTM C1157	
S0	N/A	2500	No type restriction	No type restriction	No type restriction	No restriction
S1	0.50	4000	II ^{[5][6]}	Types with (MS) designation	MS	No restriction
S2	0.45	4500	V ^[6]	Types with (HS) designation	HS	Not permitted
S3	Option 1	0.45	V plus pozzolan or slag cement ^[7]	Types with (HS) designation plus pozzolan or slag cement ^[7]	HS plus pozzolan or slag cement ^[7]	Not permitted
	Option 2	0.40	V ^[8]	Types with (HS) designation	HS	Not permitted
			None			
W0	N/A	2500	None			
W1	N/A	2500	26.4.2.2(d)			
W2	0.50	4000	26.4.2.2(d)			
			Maximum water-soluble chloride ion (Cl ⁻) content in concrete, percent by mass of cementitious materials ^[9,10]		Additional provisions	
			Nonprestressed concrete	Prestressed concrete		
C0	N/A	2500	1.00	0.06	None	
C1	N/A	2500	0.30	0.06		
C2	0.40	5000	0.15	0.06	Concrete cover ^[11]	

REQUISITOS DE DURABILIDAD (ACI 318-19)

19.3.2 REQUISITOS PARA LAS MEZCLAS DE CONCRETO:



Alta relación A/C
Partículas de cemento espaciadas
Baja durabilidad
Alta porosidad y permeabilidad



Baja relación A/C
Partículas de cemento cercanas
Alta durabilidad
Baja permeabilidad

Fig. 2-28. Volúmenes relativos de los compuestos principales en la microestructura de las pastas de cemento en proceso de hidratación (izquierda) en función del tiempo (adaptado de Locher, Richartz y Sprung 1976)

(PCA 2004)

REQUISITOS DE DURABILIDAD (ACI 318-19)

19.3.3 REQUISITOS ADICIONALES PARA EXPOSICIÓN A CONGELAMIENTO Y DESHIELO

El hormigón expuesto a congelamiento y deshielo (F1, F2 o F3) debe tener aire incorporado, y cumplir con los requisitos de la Tabla 19.3.3.1.

Table 19.3.3.1—Total air content for concrete exposed to cycles of freezing and thawing

Nominal maximum aggregate size, in.	Target air content, percent	
	F1	F2 and F3
3/8	6.0	7.5
1/2	5.5	7.0
3/4	5.0	6.0
1	4.5	6.0
1-1/2	4.5	5.5
2	4.0	5.0
3	3.5	4.5



REQUISITOS DE DURABILIDAD (ACI 318-19)

19.3.3 REQUISITOS ADICIONALES PARA EXPOSICIÓN A CONGELAMIENTO Y DESHIELO

El hormigón debe muestrearse de acuerdo con ASTM C172M, y el contenido de aire debe medirse de acuerdo con ASTM C231M o ASTM C173M.



ASTM C172M



ASTM C231M



ASTM C173M

Para $f'_c \geq 35$ MPa
se permite reducir
el contenido de aire
en 1,0 %.



REQUISITOS DE DURABILIDAD (ACI 318-19)

19.3.3 REQUISITOS ADICIONALES PARA EXPOSICIÓN A CONGELAMIENTO Y DESHIELO



Fig. 1-25. El concreto con aire incluido (barra de abajo) es muy resistente a ciclos repetidos de congelamiento y deshielo. (P25542)

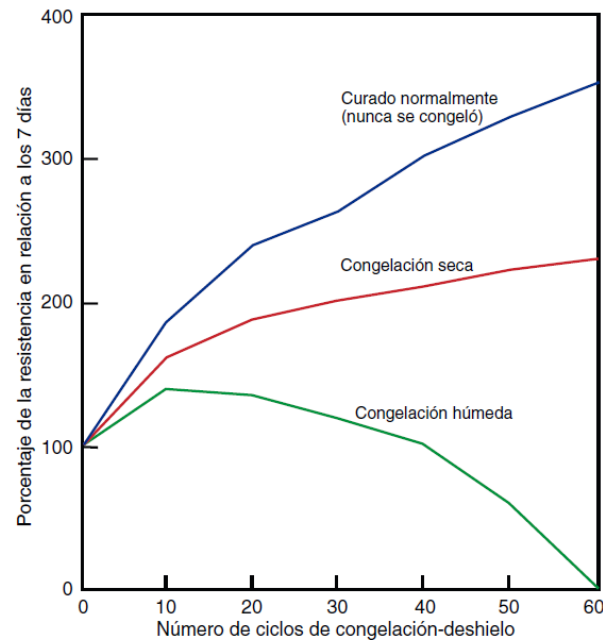


Fig. 14-10. Efecto de la congelación-deshielo sobre la resistencia del concreto que no contiene aire incluido (curado por 7 días antes de la primera congelación) (Powers 1956).

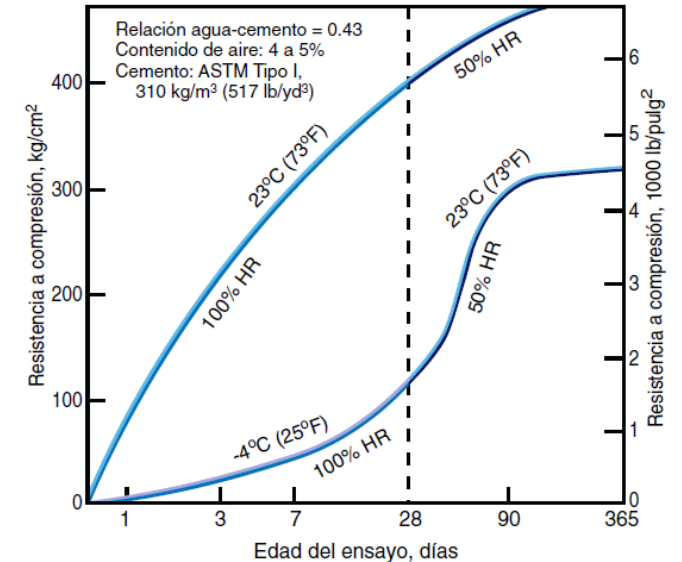


Fig. 14-5. Efecto de la temperatura sobre el desarrollo de la resistencia del concreto. El concreto de la curva inferior se colocó a 4°C (40°F) y se almacenó inmediatamente en un cuarto de curado a -4°C (25°F). Ambos concretos recibieron el curado húmedo con 100% de humedad relativa por 28 días, seguidos de curado con humedad relativa de 50%.



**#ESTAMOS
LISTOS**

PARA CONSTRUIR UN NUEVO COMIENZO



SELECCIÓN Y CALIDAD DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

SELECCIÓN Y CALIDAD DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

“Es indispensable tener en cuenta que las propiedades y características; así como las especificaciones de los materiales empleados en la producción de hormigón deben ajustarse a la normativa vigente en cada país”.

TABLA 3. Contenido total de aire recomendado para hormigón con aire incorporado ^{a c}

Condiciones de exposición ^b	Contenido total de aire, %						
	Tamaño nominal máximo del árido en mm						
	9,5	12,5	19,0	25,0	37,5	50,0	75,0
Suave	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5
Moderada	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5
Severa	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5

^a Cuando se especifique hormigón con aire incorporado.

^b Para descripción de las condiciones de exposición, referirse al ACI 211.1, Sección 6.3.3 con atención a las notas de pie de página respectivas.

^c A menos que las condiciones de exposición dictaminen lo contrario, los valores de contenido de aire recomendados en la Tabla 3, pueden ser reducidos en hasta 1 % para hormigones con resistencias a la compresión especificada f_c : 35 MPa o mayores.

SELECCIÓN Y CALIDAD DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

“Es indispensable tener en cuenta que las propiedades y características; así como las especificaciones de los materiales empleados en la producción de hormigón deben ajustarse a la normativa vigente en cada país”.

Atenas es un cemento compuesto, que en su formulación cuenta con adiciones minerales de alta calidad, entre ellas puzolanas.



TABLA 2. Hormigón expuesto a la acción de sulfatos.

Tipo de cemento y relación agua-cemento recomendada *

Grado de Exposición	Sulfato Soluble en agua (SO ₄) en el suelo, %	Sulfato (SO ₄) en el agua ppm	Tipo de cemento Pórtland o compuesto ASTM	Relación agua-cemento Máxima **
Leve	0,00-0,10	0-150	-----	-----
Moderado	0,10-0,20	150-1 500	Tipo II, IP (MS) IS (MS) Tipo I + puzolana***	0,50
Severo	0,20-2,00	1 500-10 000	Tipo V Tipo II + escoria (> 60%) Tipo II + puzolana	0,45
Muy Severo	Sobre 2,00	Sobre 10 000	Tipo V + puzolana Tipo V + escoria (> 60%)	0,45

* Estos valores son aplicables para hormigones de densidades entre 2.0 y 2,6
 ** Una relación agua-cemento menor puede ser necesaria para prevenir la corrosión de elementos embebidos.
 *** Una puzolana que haya sido verificada por ensayos o por registro de servicios, que mejora la resistencia a los sulfatos cuando se utiliza con el tipo de cemento a emplearse en la obra.
 (MS): Moderada resistencia a los sulfatos.

SELECCIÓN Y CALIDAD DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

“Para que un hormigón sea durable y mantenga su forma original y la calidad especificada durante su vida útil, no solo debe cumplir con los requisitos de resistencia sino también tener en cuenta los aspectos de durabilidad.”.

AGRESIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	CLASE DE CONCRETO POR DURABILIDAD	NIVEL DE RESISTENCIA [kg/cm ²]
Muy severa	Durable	> 350
Severa	Resistente	280 – 350
Moderada	Normal	210 – 280
Ligera	Pobre	100 – 210

(Durabilidad y Patología del Concreto 2013)



SELECCIÓN Y CALIDAD DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

CALIDAD DEL CEMENTO:

Los cementos compuestos (clinker de cemento portland con adiciones minerales) han probado tener muy buenas características de durabilidad.

CLASE DE HORMIGÓN	NIVEL DE RESISTENCIA (Mpa)	MÁXIMA A/C	DETERIORO POR CARBONATACIÓN [% de adición]	DETERIORO POR ATAQUE DE CLORUROS [% de adición]
Durable	> 35	$\leq 0,38$	≤ 10 % de puzolana, microsílíce o escoria	≥ 20 % de puzolana o microsílíce ≥ 65 % de escoria de alta horno
Resistente	28 – 35	0,38 - 0,50	≤ 10 % de puzolana, microsílíce o escoria ≤ 15 % de escoria de alto horno	≥ 10 % de puzolana o microsílíce ≥ 35 % de escoria de alta horno
Normal	21 – 28	0,50 - 0,58	Cualquiera	Cualquiera
Pobre	10 – 21	> 0,58	Cualquiera	Cualquiera

SELECCIÓN Y CALIDAD DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

CALIDAD DEL AGUA:

Las especificaciones son dirigidas tanto para el agua de mezclado como la de curado.

IMPUREZAS	MÁXIMA CONCENTRACIÓN TOLERADA
Carbonatos de sodio y potasio	1.000 ppm
Cloruro de sodio	20.000 ppm
Cloruro, como Cl (concreto pre-esforzado)	500 ppm
Sulfato de Sodio	10.000 ppm
Sulfato de Sodio como SO ₄	1.000 ppm
Carbonatos de Ca, Mg, como ion bicarbonato	400 ppm
Sales de hierro	40.000 ppm
pH	6.0 – 8.0



SELECCIÓN Y CALIDAD DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

CALIDAD DEL AGUA:

Las especificaciones son dirigidas tanto para el agua de mezclado como la de curado.

TABLA 1. Criterio de aceptación de aguas dudosas

Ensayos	Límites	Método de ensayo
Resistencia a la compresión, % mínimo de control a 7 días ^{a,b}	90	NTE INEN 1573 NTE INEN 1576
Tiempo de fraguado, desviación del testigo h:min ^a	Desde 1:00 antes hasta 1:30 después	ASTM C403
^a Las comparaciones se basan en proporciones fijas para el diseño de mezcla de hormigón representativo del suministro de agua dudosa y de la mezcla de control utilizando el 100 % de agua potable o agua destilada (Ver Anexo C). ^b Los resultados de resistencia a la compresión se basan en al menos dos ensayos normalizados de especímenes elaborados en una mezcla compuesta.		

(INEN 1855-1:2016)

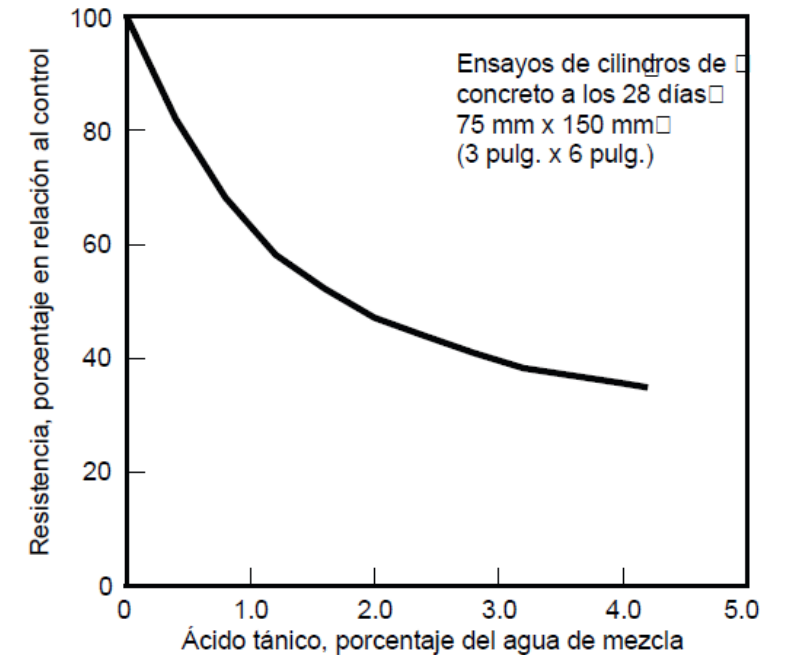


Fig. 4-3. Efecto del ácido tánico sobre la resistencia (Abrams 1920)

(PCA 2004)

SELECCIÓN Y CALIDAD DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

CALIDAD DEL AGREGADO:

- NTE INEN 872: Requisitos de los áridos para el hormigón.
- Carácter del trabajo, condiciones climáticas, durabilidad, economía.
- Granulometría continua.
- Alta densidad y baja absorción.
- Cantidad de finos adecuada.
- Evitar sustancias perjudiciales como: contenidos arcilla, partículas deleznable, sales solubles, materia orgánica.



SELECCIÓN Y CALIDAD DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

CALIDAD DEL AGREGADO:

Se puede determinar el contenido de materia orgánica mediante el ensayo de colorimetría. Si se comprueba que la coloración es causada por otros agentes distintos a la materia orgánica, se puede acudir al ensayo de relación de resistencia.

En este caso si la resistencia a los 7 días no resulta menor del 95%, el agregado puede ser usado.

COLOR	NÚMERO DE LA REFERENCIA ORGÁNICA	CRITERIO DE ACEPTACIÓN
Amarillo claro	1	Aceptable
Amarillo oscuro	2	Aceptable
Ámbar	3	Aceptable
Ámbar oscuro	4	No aceptable
Negro	5	No aceptable



SELECCIÓN Y CALIDAD DE LOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

CALIDAD DEL AGREGADO:

Los agregados representan entre el 70 al 85% del volumen del hormigón, e influyen directamente en sus propiedades en estado fresco y endurecido.

MATERIAL	% MÁXIMO PERMITIDO
Terrones de arcilla y partículas deleznable	1
Material que pasa por el tamiz de 74 micras (arena natural)	3
Material que pasa por el tamiz de 74 micras (arena triturada)	5
Cantidad de partículas livianas	0,5
Contenido de sulfatos, como SO ₄	1,2



