



Consideraciones sobre durabilidad en la Normativa

Ing. P. Castro Borges, Dr.



CINVESTAV del IPN
Unidad Mérida



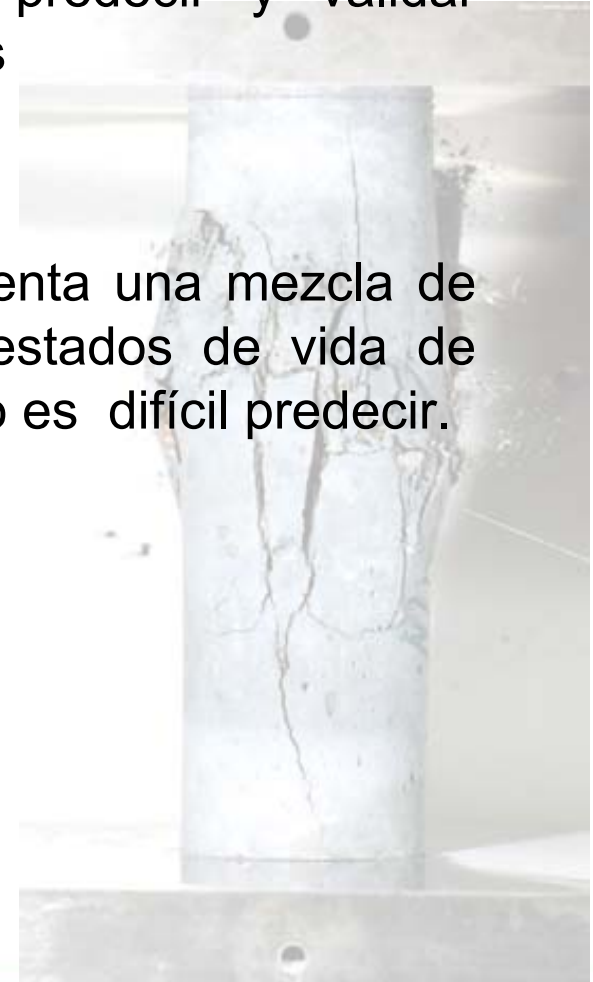




- Nuevos materiales, diseños de mezcla, y en general, una nueva generación de estructuras de concreto han permitido resolver problemas específicos con trabajos especializados.



- Se ha manifestado la dificultad para predecir y validar comportamientos futuros de las estructuras
- Debido a:
 - Los modelos usados toman en cuenta una mezcla de variables, métodos, materiales y estados de vida de servicio cuyo comportamiento futuro es difícil predecir.





¡Dos conceptos son muy importantes!

Vida de servicio

y

Durabilidad





Vida de servicio

- Es el periodo de tiempo después de la instalación, durante el cual todas las propiedades exceden los valores mínimos aceptables con mantenimiento rutinario.¹
- Es el periodo de tiempo durante el cual el desempeño puede ser mantenido a un nivel compatible con la realización de los requerimientos esenciales.²

1.-- ACI 365.1R-00, Service-Life Prediction, State-of-the-Art Report, reported by ACI Committee 365, April 2000.

2.- CPD (1998): Construction Products Directive, European Community Council 89/106/EWG updated 93/68/EWG.





Vida de servicio

- Es el periodo de tiempo durante el cual la estructura conserva los requerimientos del proyecto en seguridad, funcionalidad y estética, sin costos de mantenimiento inesperados.³
- En general, el fin de la vida de servicio es el punto en el tiempo, en el cual la estructura ya no cumple con la función para la cual fue prevista.⁴

3.- Red DURAR, "Manual de Inspección, evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado", CYTED, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Subprograma XV Corrosión/Impacto Ambiental Sobre Materiales (Maracaibo, Venezuela, CYTED, 1997).

4.- CIB W80 / RILEM 175 SLM Service Life Methodologies Prediction of Service Life for Building and Components, Task Group "Performance Based Methods for Service Life Prediction", State of the Art Reports, March 2004.





Vida de servicio

- Es el periodo de tiempo durante el cual el desempeño de un material, elemento o estructura de concreto conserva los requerimientos de proyecto en términos de seguridad (resistencia mecánica y estabilidad, seguridad en caso de fuego, seguridad en uso), funcionalidad (higiene, salud y medio ambiente, protección contra el ruido y ahorro energético y confort térmico) y estéticos (deformaciones, agrietamientos, desconchamientos), **con un mínimo de mantenimiento que permita controlar los efectos del cambio climático global en su entorno.**⁵

5.-Mendoza-Rangel, J.M., y Castro-Borges, P., (2008) *Validez de los conceptos y modelos vigentes de vida de servicio de estructuras de concreto ante los efectos del cambio climático global. situación actual*, Artículo aceptado como Nota Técnica, Materiales de Construcción.





Durabilidad

- La capacidad de mantener la utilidad de un producto, componente, ensamble, o construcción sobre un tiempo especificado.¹
- La capacidad de resistir durante un tiempo determinado, la acción del ambiente, ataque químico, o cualquier proceso de daño, manteniendo su forma original, condiciones de servicio y propiedades mecánicas.⁷

1.- ACI 365.1R-00, Service-Life Prediction, State-of-the-Art Report, reported by ACI Committee 365, April 2000.

7.- Norma Mexicana NMX-C-403-ONNCCE-1999, "Industria de la Construcción – Concreto Hidráulico Para Uso Estructural", 24 de Noviembre de 1999.





Durabilidad

- Capacidad de un material de construcción, elemento o estructura de concreto de resistir las acciones físicas, químicas, biológicas y ambientales **vinculadas al efecto del cambio climático global con su entorno** durante un tiempo determinado previsto desde el proyecto, manteniendo su serviceabilidad y conservando su forma original, propiedades mecánicas y condiciones de servicio.⁵

6.-Mendoza-Rangel, J.M., y Castro-Borges, P., (2008) *Validez de los conceptos y modelos vigentes de vida de servicio de estructuras de concreto ante los efectos del cambio climático global. situación actual*, Artículo aceptado como Nota Técnica, Materiales de Construcción.





Comentarios

- Podemos observar, que la **vida de servicio** es casi siempre definida como **un periodo de tiempo** durante el cual las propiedades, requerimientos de seguridad, funcionalidad y estética, exceden los valores mínimos
- Y la **durabilidad** es definida como **la capacidad** de los materiales para resistir durante un tiempo determinado cualquier proceso de daño.





¿Qué es una especificación prescriptiva?

- Una **especificación prescriptiva** es la que incluye cláusulas para la composición de la mezcla de **concreto**, así como de los **medios y métodos de construcción**, en lugar de definir los requisitos de desempeño⁸.
- Muchas veces los requisitos de desempeño no están claramente indicados en el inicio del proyecto y las especificaciones prescriptivas pueden entrar en conflicto con el desempeño que se espera de la estructura.

8.- L. Lemay, "Prescriptive specification versus performance specifications", Concrete Monthly, July 2004





Ejemplo de una especificación prescriptiva

- Una baja relación agua/material cementante (a/mc), con un alto contenido de pasta, podría aumentar el potencial de contracción y ocasionar mayores agrietamientos en un piso de concreto.
- Esto afectará negativamente en la colocación y el acabado.
- Muchas de las especificaciones del proyecto incluyen límites prescriptivos en la relación a/mc como un sustituto de la durabilidad.





Aspectos que toma en cuenta una especificación prescriptiva

- Especificaciones prescriptivas dan lugar a mayores costos.
- El mejor postor es el que ofrece el **menor costo** - lo que normalmente significa **más inversión** en el control de calidad, investigación y desarrollo.
- Un ingeniero puede pensar que obtendrá mejores resultados empleando una mezcla prescriptiva, pero en realidad está alentando a la baja calidad.
- Los ingenieros a menudo emplean normas prescriptivas que son extremadamente conservadoras (más de diseño) para compensar la **baja calidad** lo que conduce a **costos más altos**.





Comentario

- Si el ingeniero especifica **el rendimiento** deseado y se basa en la **experiencia** del contratista y el productor de concreto, podrá ofrecer una combinación óptima, con un producto de **mayor calidad y menor costo**.





¿Qué es una especificación de desempeño?

- Una especificación de desempeño es un conjunto de instrucciones que describen los requisitos funcionales para el concreto endurecido en función de la aplicación.
- Las instrucciones deben ser claras, alcanzables, medibles y ejecutables.





Ejemplo de una especificación de desempeño

- Los criterios de desempeño para columnas en el interior de un edificio pueden ser la compresión y el peso; por lo que la durabilidad no es una preocupación.
- Por el contrario, los criterios de desempeño para una plataforma de un puente podrían incluir la resistencia, la permeabilidad, descamación, grietas y otros criterios relacionados con la durabilidad, ya que el hormigón será sometido a un ambiente hostil.





Aspectos que toma en cuenta una especificación de desempeño

- Se deben especificar claramente los métodos de prueba y los criterios de aceptación que se utilizarán para verificar y hacer cumplir los requisitos.
- Pueden ser necesarios algunos exámenes para la precalificación y algunos podrían ser para la aceptación de lugar de trabajo.
- Las especificaciones deben proporcionar la flexibilidad para el contratista y el productor para proporcionar una mezcla que responda a los criterios de desempeño en la forma de elegir.





Aspectos que toma en cuenta una especificación de desempeño

- El contratista y el productor deberán trabajar juntos para desarrollar un diseño de mezcla que cumpla con requisitos adicionales para la colocación y el acabado, como la fluidez y el tiempo de fraguado que garanticen que los requisitos del desempeño del concreto endurecido, no corren peligro.
- Las especificaciones de desempeño deben evitar los requerimientos de los métodos de diseño, así como las limitaciones de los ingredientes o las proporciones de las mezclas de concreto.





Aspectos que toma en cuenta una especificación de desempeño

Una especificación basada en el desempeño del concreto debe plantearse de acuerdo a los siguientes aspectos:

- Establecer un sistema de calificación/certificación del control de la calidad de los sistemas de gestión, la calificación del personal y los requisitos para las plantas de producción de concreto.
- Las especificaciones deberán definir claramente las exigencias funcionales del concreto endurecido.





Aspectos que toma en cuenta una especificación de desempeño

- Los productores y los contratistas deberán asociarse para garantizar el mezclado del concreto, así como su entrega y colocación
- La hoja técnica no debe ser una lista detallada de los ingredientes de la mezcla, sino más bien una certificación de que la mezcla cumple con los requisitos de la especificación, incluyendo pre-resultados de las pruebas de calificación.





Aspectos que toma en cuenta una especificación de desempeño

- Después de que el concreto se coloque, deberán realizarse una serie de pruebas de campo para la aceptación y determinar si el concreto cumple con los criterios de desempeño.
- Deberá proveerse un conjunto claro de instrucciones que indiquen cómo proceder cuando el concreto no se ajuste a los criterios de desempeño





¿Cómo ha evolucionado la normativa de DURABILIDAD?





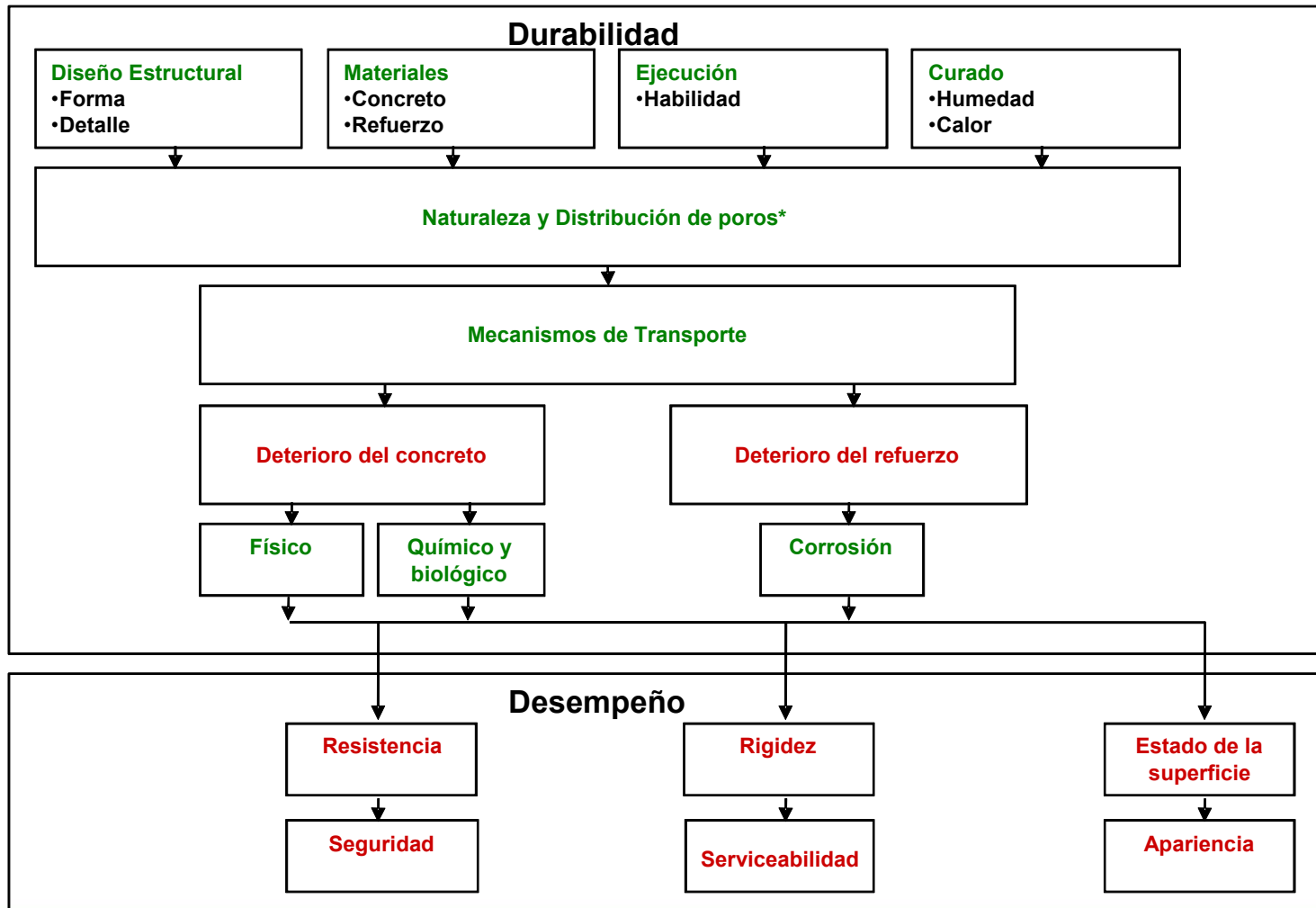
Caso Americano

- **ACI 365.1R-00**

Service life prediction



Relaciones entre durabilidad y el desempeño.





Consideraciones ambientales

➤ **Ataque químico**

- Lixiviado
- Retraso en la formación de etringita.
- Ataque por sulfatos
- Ataque por ácidos y bases (álcalis)
- Reacción álcali-agregado
- Corrosión del refuerzo
- Corrosión del acero pre-tensado





Consideraciones ambientales

➤ Ataque Físico

- Cristalización de sales
- Ataque por congelamiento y deshielo.
- Abrasión, erosión y cavitación.
- Daño térmico

➤ Efectos combinados.





Consideraciones de diseño y carga estructural

➤ **Antecedentes de los códigos.**

➤ **Factores de carga y resistencia.**





Interacción entre efectos ambientales y carga estructural.

➤ **Cambios en la integridad del concreto**

- Físicos y mecánicos
- Presencia de humedad y mecanismos de transporte
- Poros, grietas.
- Permeabilidad (microestructura)
- Carbonatación, etc...





Consideraciones relacionadas con la construcción

➤ Fabricación inicial

- Preparación del suelo/subrasante y forma de colocación.
- Colocación del acero de refuerzo
- Colado del concreto, mezclado y distribución
- Colocación del concreto

➤ Acabado y curado





Consideraciones relacionadas con la construcción

➤ Construcción secuencial

- Apuntalamiento y desapuntalamiento
- Juntas





Inspección en servicio, vida de servicio residual

➤ Sistemas de materiales de concreto

- Métodos no destructivos
- Métodos destructivos
- Composición de la mezcla

➤ Sistemas de materiales de acero de refuerzo

- Anclajes embebidos





Ejemplo de tipos de información necesaria para la evaluación de vida de servicio

Conformidad de la estructura con el diseño original

Revisión de documentación

Visita preliminar al sitio

- Inspección visual para el cumplimiento con la documentación de la construcción
- Revisión con Pacómetro para localizar y caracterizar el acero de refuerzo (por ejemplo, tamaño y espacio)

Análisis preliminar

Inspección para presencia de degradación

Inspección visual

Revisión de grietas

Revisión de Delaminación/Desprendimiento

Revisión de Cloruros

Revisión de Carbonatación

Eliminación de la muestra





Pruebas de laboratorio

Estudios petrográficos (por ejemplo, contenido de aire, distribución aire-vacio, agregados inestables, tipos de peligros, y estimación de a/cm)

Estudios químicos (por ejemplo, constituyentes químicos de materiales cementicios, pH, presencia de componentes químicos, y características de pasta y agregados)

Propiedades materiales del concreto y el acero de refuerzo (por ejemplo, esfuerzo y modulo de elasticidad)

Evaluación de degradación

Propiedades materiales especificadas contra actuales

Absorción y permeabilidad del concreto (relativa)

Recubrimiento del concreto (por ejemplo, corazones, o mediciones con Pacómetro)

Presencia de grietas en el concreto, desprendimiento, o delaminación

Profundidad de penetración de cloruros y carbonatación

Actividad de la corrosión en el acero de refuerzo (por ejemplo, mediciones de potencial con media-celda, y pulso galvanostático, cuatro-electrodos, y pruebas de corrosión)

Agresividad del medioambiente (por ejemplo presencia de humedad, cloruros, y sulfatos)

Reanálisis estructural para condiciones actuales

Reanálisis para las típicas cargas muertas y vivas

Examinación de daños por otras cargas (por ejemplo, sísmica y viento)



Métodos de pruebas no destructivas para determinar las propiedades materiales del concreto endurecido en construcciones existentes (ACI 228.2)

Propiedad	Posibles métodos		Comentario
	Primario	Secundario	
Esfuerzo de compresión	Corazones para pruebas de compresión (ASTM C 42 y C 39)	Resistencia a la penetración (ASTM C 803; en pruebas de retirado de perforado)	Esfuerzo del concreto en sitio, comparación de esfuerzos en diferentes lugares, y pruebas no estandarizada de retirado de perforado
Esfuerzo relativo de compresión	Número de rebote (ASTM C 805); Velocidad de pulso ultrasónico (ASTM C 597)	-	Número de rebote influenciado por las propiedades cercanas a la superficie; la velocidad de pulso ultrasónico da como resultado el promedio de espesor
Esfuerzo de tensión	Esfuerzo de tensión de corazones (ASTM C 496)	Pruebas de tensión en sitio (ACI 503R; BS 1881; parte 207)	Evaluar la resistencia a la tracción del concreto
Densidad	Peso específico de muestras	Calibrador nuclear	-
Contenido de humedad	Medidores de humedad	Calibrador nuclear	-
Módulos estáticos de elasticidad	Pruebas de compresión de corazones	-	-
Módulos dinámicos de elasticidad	Pruebas de frecuencia de resonancia para especímenes aserrados	Velocidad de pulso ultrasónico (ASTM C 597); eco de impacto; análisis espectral de ondas de superficie (SASW)	requiere el conocimiento de la densidad y el coeficiente de Poisson (excepto ASTM C 215); el módulo de elasticidad dinámico suele ser mayor que el módulo de elasticidad estática



Métodos de pruebas no destructivas para determinar las propiedades materiales del concreto endurecido en construcciones existentes (ACI 228.2)

Propiedad	Posibles métodos		Comentario
	Primario	Secundario	
Contenido de aire; contenido de cemento; y propiedades del agregado (escala. reactividad álcali-agregado, susceptibilidad a la congelación y descongelación)	Exanimación petrográfica de muestras de concreto removidas de la estructura (ASTM C 856, ASTM C 457); contenido de cemento (ASTM C 1084)	Exanimación petrográfica de los agregados (ASTM C 294, ASTM C 295)	Ayudar en la determinación de la causa(s) de daño; grado de daño; calidad del concreto originalmente y actual
Reactividad álcali-sílice	Pruebas rápidas Cornell/SHRP (SHRP-C-315)	-	Establecer en el campo si el deterioro observado se debe a la reactividad álcali-sílice
Carbonatación, pH	Fenolftaleína (indicador cualitativo), medidor de pH	Otros indicadores de pH (por ejemplo, papeles litmus)	Evaluación de los valores de la corrosión del concreto con la profundidad y susceptibilidad del acero a corroerse; profundidad de carbonatación
Daño por fuego	Petrografía; número de rebote (ASTM C 805)	SASW; velocidad de pulso ultrasónico; eco impacto; respuesta al impulso	Número de rebote que permite la demarcación de un concreto dañado
Daño por congelación y descongelación	Petrografía	SASW; respuesta al impulso	-



Métodos de pruebas no destructivas para determinar las propiedades materiales del concreto endurecido en construcciones existentes (ACI 228.2)

Propiedad	Posibles métodos		Comentario
	Primario	Secundario	
Contenido de iones cloruro	Acido soluble (ASTM C 1152) y agua soluble (ASTM C 1218)	Exanimación de iones específicos	El ingreso de cloruros aumenta la susceptibilidad del acero de refuerzo a la corrosión
Permeabilidad al aire	SHRP Método de flujo de aire de superficie (SHRP-S-329)	-	Medidas en sitio en el índice de permeabilidad cerca de la superficie del concreto(15 mm)
Resistencia eléctrica del concreto	Resistencia de AC usando un resistómetro	SHRP prueba de resistencia de la superficie (SHRP-S-327)	La resistencia de CA es útil para evaluar la eficacia de los aditivos y las adiciones de cemento: SHRP método útil para evaluar la eficacia de los selladores
Contracción / expansión	Cambio de la longitud de perforación o especímenes aserrados (ASTM C 341)	-	Mediciones del incremento de potencial del cambio de longitud
Resistencia para penetración de cloruros	Prueba de 90-días de encharcamiento (AASHTO-T-259)	Indicación de la capacidad eléctrica del concreto para resistir la penetración de iones de cloruro (ASTM C 1202)	Establece la susceptibilidad relativa del concreto a la intrusión de ion cloruro: evaluar la eficacia de los selladores químicos, membranas, y recubrimientos





Métodos para predecir vida de servicio

➤ **Predicciones basadas en la experiencia**

- Basadas en el conocimiento acumulado en el campo y en el laboratorio.
- Conocimiento empírico y heurístico.
- Colectivamente proveen una gran contribución a las bases de los estándares para el concreto





Métodos para predecir vida de servicio

➤ **Predicciones basadas en comparaciones de desempeño**

- No es usado comúnmente para el concreto,
- Aumento de estructuras envejecidas permitirán su uso, así como:
 - Cambios en los componentes del concreto
 - Cambios en los microclimas
 - Avances en el uso de las adiciones químicas y minerales





Métodos para predecir vida de servicio

➤ Pruebas aceleradas

- Enfoque:
 - Si es adecuadamente diseñada, desarrollada e interpretada puede ayudar a predecir el desempeño y la vida de servicio de una estructura.
 - Puede proveer información sobre la degradación del concreto que fuera necesaria para resolver modelos matemáticos

- Aplicación:
 - Pruebas de congelación y deshielo.
 - Ataque por sulfatos.





Métodos para predecir vida de servicio

➤ Modelos determinísticos

Los **determinísticos** de durabilidad son utilizados en diseños donde la dispersión de la **degradación** (o **desempeño** o **vida de servicio**) no es tomada en cuenta. Generalmente se usa información generada por **datos experimentales puntuales**. Con valores de parámetros conocidos el modelo alcanza solamente un valor (de degradación, desempeño o vida de servicio) el cual es llamado el **valor principal**⁹.

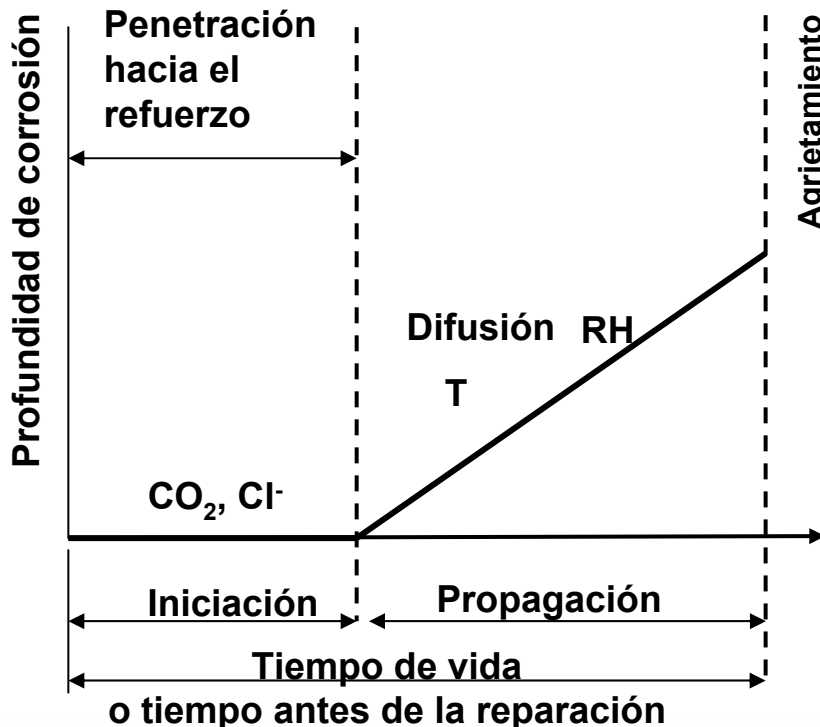
9.- A. Sarja, and E. Vesikari: "Durability Design of Concrete Structures", Manuscript of RILEM Report of TC 130-CSL, RILEM Report Series 14, Chapter 7 Durability models. pp: 97-111, E & FN Spon, Chapman and Hall, 165 p., (1996).



Métodos para predecir vida de servicio

➤ Modelos determinísticos

- Modelo de la corrosión del acero de refuerzo¹⁰.



$$\frac{\partial c_f}{\partial t} = \frac{D \partial^2 c_f}{\partial x^2}$$

Donde

D = Coeficiente de difusión

x = recubrimiento

t = tiempo

C_f = Concentración de iones libres

10.- Tuutti, K. (1982), Corrosion of steel in concrete, CBI, Research report 4, 1982, Stockholm.



Métodos para predecir vida de servicio

➤ Modelos matemáticos

- Ataque de Sulfatos.

$$R = \frac{X_{spall}}{T_{spall}} = \frac{(EB^2 c_s C_0 D_i)}{[\alpha_0 \tau (1 - \nu)]}$$

Donde

X_{spall} = espesor de la zona de reacción causante del desconchamiento

T_{spall} = Tiempo en el que ocurre el desconchamiento

E = Módulo de Young

B = Deformación lineal causada por la concentración de sulfatos

c_s = concentración de sulfatos.

C_0 = concentración de la reacción de sulfatos en forma de etringita

D_i = Coeficiente de difusión intrínseca de iones sulfato

α_0 = factor de rugosidad de la trayectoria de ruptura

ν = Relación de Poisson



Métodos para predecir vida de servicio

➤ Modelos matemáticos

- Lixiviado.

$$\frac{dM}{dt} = 2.6KA(C_s - C)^\theta$$

Donde

M_{spall} = Pérdida de masa en el tiempo t en un área A

K = Constante de disolución obtenida experimentalmente

C_s = Potencial de la solución de agua

C = concentración del material disuelto en el tiempo t

θ = Orden cinético del proceso de disolución





Métodos para predecir vida de servicio

➤ Métodos estocásticos

El planteamiento **probabilístico (métodos estocásticos)**, es un método donde la estructura está diseñada por seguridad con un cierto **mínimo de fiabilidad** con respecto al objetivo de la vida servicio. También proporciona un diseño con la posibilidad de **evaluar la sensibilidad** de los diferentes parámetros que afectan la vida de servicio.

11.- Sarja, A. and Vesikari, E. (1996): Durability Design of Concrete Structures. RILEM Report 14, E & FN Spon, London, UK.





Métodos para predecir vida de servicio

➤ **Métodos estocásticos**

- Método de la fiabilidad: combina las pruebas de degradación acelerada con los conceptos probabilísticos.
- Combinación de los métodos estadístico y determinístico.



Métodos para predecir vida de servicio remanente

➤ Falla por corrosión

$$C(x,t) = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2(D_{cl}t)^{1/2}} \right) \right]$$

Donde:

$C(x,t)$ = concentración de cloruros a la profundidad x después de un tiempo t

D_{cl} = coeficiente de difusión del ión cloruro.

erf = es la función de error

$$\theta(t) = \theta_i - 0.023 * i_{corr} * t$$

Donde:

$\theta(t)$ = diámetro del acero de refuerzo a un tiempo t , en mm

θ_i = diámetro inicial del acero de refuerzo, en mm

i_{corr} = velocidad de corrosión, en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

t = tiempo después de haber iniciado el periodo de propagación, en años

0.023 = factor de conversión de $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ a mm/año





Predicciones basadas en extrapolaciones

$$A_d = k_d t_y^n$$

Donde:

A_d = cantidad de deterioro acumulativa al tiempo t_y , en años y
 n = orden de tiempo

$$R_d = n k_d t_y^{n-1}$$

Donde:

R_d = velocidad total de degradación





Lo que no incluye el ACI 365.1R

- × Definiciones actualizadas de Durabilidad y Vida de servicio.
- × Consideraciones que tomen en cuenta las zonas climáticas y el cambio climático.
- × Visión holística del problema de la vida de servicio.



Caso Europeo

- **LIFECON D 3.2**

Probabilistic service life models for reinforced concrete structures.





LIFECON D 3.2: Probabilistic service life models for reinforced concrete structures.

Modelos para la predicción de la vida útil residual

- Los modelos para la predicción de la vida útil residual requieren datos de entrada, que pueden ser proporcionados por la literatura y/o investigaciones de la estructura. Por lo tanto, el modelado de vida de servicio está estrechamente relacionado con un protocolo de evaluación del estado (CAP).
- Los modelos son parte integral de un procedimiento paso a paso de evaluación y se aplican en dos niveles de sofisticación:
 - **Nivel semi-probabilísticos**
 - **Nivel Probabilísticos**



Modelos para la predicción de la vida útil residual

➤ Nivel semi-probabilísticos

- Las funciones de deterioro dependientes del tiempo son usadas sobre un nivel básico de ingeniería.
- Los **datos de entrada** se obtienen **solamente de inspecciones**. Como éstos datos se basan en un bajo alcance de la muestra, la dispersión se explica por factores de seguridad, que son una función de la dispersión de espera y el nivel deseado de fiabilidad.
- Los **datos de la respuesta** observada **combina** la **resistencia del material** y la **acción del ambiente**. El resultado de este cálculo es el tiempo hasta que un estado límite considerado es alcanzado con un nivel predefinido de fiabilidad.



Modelos para la predicción de la vida útil residual

➤ Nivel probabilísticos

- En un nivel superior de inspección el **modelo probabilístico** se aplica durante el procedimiento de evaluación de condiciones.
- Los modelos **separan** la **resistencia de los materiales** y las **cargas ambientales**. Esto requiere la **recopilación y procesamiento** de los datos de entrada de cada uno de ellos para la calibración de las ecuaciones empíricas.
- Los **modelos probabilísticos** requieren la aplicación de un software especial y personal capacitado. Los datos de entrada se actualiza durante las investigaciones estructura.





LIFECON D 3.2: Probabilistic service life models for reinforced concrete structures.

Lo que no incluye LIFECON D.32

- × Definiciones actualizadas de Durabilidad y Vida de servicio.
- × Consideraciones que tomen en cuenta las zonas climáticas y el cambio climático.
- × Visión holística del problema de la vida de servicio.



Tendencias

➤ Varias organizaciones están promoviendo Normas y especificaciones basadas en el **desempeño del concreto** o aún de las estructuras mismas, especialmente en lo referido a su **durabilidad**, ejemplos:

➤ **NRMCA**: Enfoque P2P,
“Prescription to Performance”.



➤ **RILEM**: Comité Técnico PSC,
“Performance-based Specification
and Control of Durability”





Norma Europea

- **EN 206-1:2000**

Clases de Exposición.



**European Concrete
Society Network**





ACI 318-2008. Clases de Exposición

Nomenclatura	Tipo de exposición	Sub-classes
F	Exposición a la congelación y descongelación	F0,F1,F2,F3
S	Exposición a sulfatos	S0,S1,S2,S3
C	Protección contra la corrosión del acero de refuerzo	C0,C1,C2
P	Concreto de baja permeabilidad	P0,P1





ACI 318-2008. Clases de Exposición

Clase	Descripción
1. Sin riesgo de corrosión o ataque	
X0	Concreto simple bajo cualquier exposición excepto congelación. Concreto armado muy Seco.
2. Corrosión inducida por carbonatación	
Cuando concreto armado está expuesto a aire y humedad	
XC1, XC2, XC3, XC4	Mayor riesgo para humedades intermedias o intermitentes
3. Corrosión inducida por cloruros que no sean del mar	
Cuando concreto armado está sujeto a contacto con agua conteniendo cloruros (incluyendo sales descongelantes) de fuentes que no sean agua de mar	
XD1, XD2, XD3	Mayor riesgo para humedades intermedias o intermitentes





ACI 318-2008. Clases de Exposición

Clase	Descripción
4. Corrosión inducida por cloruros del agua de mar	
Cuando el concreto armado está sometido a contacto con cloruros del mar o aire marino	
XS1, XS2, XS3	Mayor riesgo para humedades intermedias o intermitentes
5. Ataque por Congelación/Deshielo con o sin sales descongelantes	
Cuando el concreto húmedo está expuesto a un ataque por ciclos de congelación y deshielo	
XF1, XF2, XF3, XF4	Mayor riesgo para alta saturación y sales
6. Ataque Químico	
Cuando el concreto está expuesto al ataque químico por suelos o líquidos en contacto	
XA1, XA2, XA3	Mayor riesgo para mayores concentraciones de sustancias agresivas



Algunas Clases de exposición para Corrosión de acero en concreto armado

1. Sin riesgo de corrosión o ataque		
X0	Clima muy seco	Elementos interiores con muy baja humedad
2. Corrosión inducida por carbonatación		
XC1	Seco o permanentemente húmedo	Elementos interiores con baja humedad. Concreto permanentemente sumergido en agua
XC2	Húmedo, raramente seco	Superficies sometidas a largos períodos de contacto con agua. Muchas fundaciones
XC3	Humedad moderada	Elementos interiores con humedad moderada a alta. Concreto externo protegido de la lluvia
4. Corrosión inducida por cloruros de agua de mar		
XS1	Expuesta a aire salino sin contacto directo con el mar	Estructuras cerca o en la costa
XS2	Permanentemente sumergido	Partes de estructuras marinas
XS3	Zona mareas o salpicaduras	Partes de estructuras marinas



Límites recomendados a la composición y resistencia del concreto

Clase	a/c Max Kg/kg	Cemento Min. Kg/M ³	Clase Resistencia Min. (MPa)
1. Sin riesgo de corrosión o ataque			Opcional
X0	---	---	C12
2. Corrosión inducida por carbonatación			
XC1	0.65	260	C20
XC2	0.60	280	C25
XC3	0.55	280	C30
XC4	0.50	300	C30
4. Corrosión inducida por cloruros de agua de mar			
XS1	0.50	300	C30
XS2	0.45	320	C35
XS3	0.45	340	C35



Requisitos Prescriptivos para Ambiente Marino: EN206-1, ACI 318, NMX C403

Norma	a/c Max Kg/kg	Cemento Min. Kg/M ³	Resistencia Min. (kgf/cm ²)	
EN	0.50	300	300	Costa
EN	0.45	320	350	Mareas
ACI	0.40	---	350	
NMX	0.55	300	300	



Normas Prescriptivas: Análisis Crítico

Norma	a/c Max Kg/kg	Cemento Min. Kg/M ³	Resistencia Min. (kgf/cm ²)	
EN	0.50	300	300	Costa
EN	0.45	320	350	Mareas
ACI	0.40	---	350	
NMX	0.55	300	300	

- Suponen, erróneamente, que distintos materiales (ej. tipos de cemento), en las mismas proporciones, confieren idéntico desempeño al concreto.

Dan pocas oportunidades para innovar y agregar valor.

Tratan al concreto y a los materiales componentes como productos básicos.

¿Cómo se controla la a/cmáx?; ¿se cumple en la realidad?.





Enfoque reglamentario clásico (EN, ACI)

Estas normas se basan mayoritariamente en especificaciones prescriptivas: a/c máxima, contenido de cemento mínimo

¿CUAL ES EL PROBLEMA?





¿CUAL ES EL PROBLEMA?

- Calidad del Hormigón en la Estructura
- Importancia del “Recubrimiento”
- Factores Vitales: Tratamiento Reglamentario





ES NECESARIO UN CAMBIO





¿Existen normas en la actualidad que consideren los parámetros ideales de desempeño?



- Ejemplo de especificación por desempeño ACI 318**
 Propuesta CSA Clase C-1

	Límite de pre-calificación	PoD o In situ Limite de la media	PoD o In situ límite de valor único
Esfuerzo (MPa)	$>35 + 1.4S$	>35.0	>31.5
Contenido de aire (%)	5-8%	>5 (Concreto fresco)	>5 (Concreto endurecido)
Espacio de los factores	170	<230	<260
Permeabilidad (Coulombs)	<1150 (Sugerido)	<1500	<1750 (Sugerido)
Contracción a los 28 días (%)	<0.040	<0.040 (Sugerido)	<0.050 (Sugerido)



• Situación Ideal

Recubrimiento	DISEÑO	PRACTICA	CONTROL
Espesor	Recubrimiento max/min = f(K)	Ubicación y fijación cuidadosa de las barras	Conformidad medida "in situ" (pacómetro)
Calidad= K-1 K = penetrabilidad	Especificación por desempeño Kmax (ejemplo ASTM C1202)	Producción de concreto Ejecución: <ul style="list-style-type: none"> • Colado • Compactado • Acabado • Desmolde • Curado 	Control de K en laboratorio Conformidad medida "in situ"





Caso Suizo

- **SIA 262:2003**

Concrete Construction.

s i a **SN**
505 262



2.4 DURABILITY

2.4.1 General

- Respecto a la durabilidad, la calidad del hormigón de recubrimiento es de particular importancia

6.4.2 Production of on impermeable cover concrete

6.4.2.1 The quality of the cover concrete is influenced, among others, by the:

- Composition of the concrete
- Shape and dimensions of the structural member
- Reinforcement content and the arrangement of the reinforcement
- Type and pretreatment of the form work

- Se verificará la impermeabilidad del hormigón de recubrimiento, mediante ensayos de permeabilidad **in situ** (p.ej. mediciones de permeabilidad al aire) o
- sobre núcleos extraídos de **la estructura**





505 262

Norma Suiza SIA 262:2003:
Concrete Construction.

Normas prescriptivas

➤ Normas prescriptivas:

- Especifican indicadores de durabilidad (a/c) que:
 - ❑ tienen una relación indirecta con los parámetros de desempeño
 - ❑ son difíciles o imposibles de medir en la práctica
- Desalientan la innovación
- El punto de control es la planta de concreto, ignorando lo que sucede después
- No incorporan la calidad de la ejecución
- Por lo tanto, no garantizan la durabilidad, como lo atestiguan abundantes malos ejemplos





**Norma Suiza SIA 262:2003:
Concrete Construction.**

Norma SIA 262 (por Desempeño)

- El enfoque de la Norma Suiza **SIA 262** de establecer como indicador de **durabilidad** la **permeabilidad del recubrimiento** medida en la estructura , apunta a controlar el producto terminado.
- Así, mide el resultado de la contribución de todos los que intervienen en la cadena de la construcción (especificadores, proveedores de concreto y de materiales, contratistas, etc.)





Norma SIA 262 (por Desempeño)

- Al controlar el producto terminado, impone una mentalidad orientada al desempeño en todos los actores, asegurando una competencia leal:
 - en los Contratistas , que entregan el producto a ser controlado, donde quienes no apliquen buenas prácticas serán penalizados al deber usar mezclas más caras o aplicar medidas curativas
 - en los Productores de concreto, que deberán diseñar, producir y entregar, eficientemente, concretos que alcancen el desempeño requerido
 - en los Proveedores de Materiales (cementos, aditivos, áridos) que deben diseñar sus **productos hacia un desempeño óptimo en el concreto**





Norma SIA 262 (por Desempeño)

- **Incentiva la innovación fomentando el uso de:**
 - Concreto autocompactante, que crea un recubrimiento más compacto y uniforme que el concreto vibrado
 - Membranas permeables en las formas
 - Compuestos de curado más eficientes y/o de concretos “autocurantes”
 - Concretos de Alto Desempeño
 - Compuestos de Ultra Alto Desempeño (selectivamente)
 - Concretos de baja retracción y de retracción compensada
- **Facilita la tarea de la D. O., que no necesita controlar todas las etapas de la ejecución sino solamente el producto final (+ rol preventivo)**





Caso Latinoamericano

- **Normas de durabilidad**

Requerimientos de durabilidad.





Requerimientos de Durabilidad

- Generalidades
- Concepto Estructural
- Calidad de los Materiales
- Construcción
- Inspección
- Verificaciones
- Medidas Especiales de Protección



ACCIONES DEL MEDIO

<i>Clase General de Exposición</i>				<i>DESCRIPCION</i>
<i>Tipo</i>	<i>Subtipo</i>	<i>Clase de Proceso</i>	<i>Designación</i>	
No agresivo	Seco	Ninguno	C0 (equivalente a I y XC0 y XC1)	Interiores de edificios, no sometidos a condensaciones. Elementos de hormigón en masa.
Rural/Urbano	Humedad Media a alta y protegido de las lluvias	Corrosión por carbonatación	C1 (equivalente a IIa y XC4)	Interiores sometidos a humedades relativas medias altas (>70%/promedio anual) o a condensaciones frecuentes. Hormigones en el exterior, protegidos de la lluvia en zonas de HR media anual superior al 70%
	Humedad Media a alta y expuesto a las lluvias		C2 (equivalente a IIb y XC3)	Exteriores sometidos a la acción del ambiente (alta temperatura y agua de la lluvia), en zonas con HR media anual inferior al 70%
	Humedad alta y expuesto a las lluvias		C3 (equivalente a IIc y XC2 y XC4)	Exteriores sometidos a la acción del ambiente (alta temperatura y agua de la lluvia), en zonas con HR media anual superior al 70%



ACCIONES DEL MEDIO

<i>Clase General de Exposición</i>				<i>DESCRIPCION</i>
<i>Tipo</i>	<i>Subtipo</i>	<i>Clase de Proceso</i>	<i>Designación</i>	
Marino	Sumergido	Corrosión por Cloruros	M1 (equivalente a IIIb y XS2)	Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar.
	Zonas de mareas		M3 (equivalente a IIIc y XS3)	Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de mareas
	Zonas aéreas con distancias de 5/500m a la línea de costa		M4 (equivalente a IIIab y XS1)	Elementos exteriores de estructuras en las proximidades de la línea de costa (de 5 a 500 m)
	Zonas aéreas con distancias de 0/5m		M5 (equivalente a IIIaa y XS1)	Elementos de estructuras marinas por encima del nivel de pleamar (salpique) a menos de 5m de la superficie del agua.

1 (muy baja), 2 (baja), 3 (media), 4 (alta), 5 (muy alta): Categorías de Corrosividad de acuerdo a ISO 9223.

C: Ataque por Carbonatación

M: Ataque por Medios Marinos





Caso Latinoamericano: Requerimientos de durabilidad

Valores límites de concentraciones para distintas clases de exposición de ataque químico proveniente del suelo y aguas subterráneas.				
Características químicas	Método para determinar la concentración	Clasificación de Ataque Químico		
		Q2	Q3	Q4
Aguas subterráneas				
Ion sulfato SO ²⁻ ₄ (mg/l)	En 196-2	200-600	600-3000	3000-6000
Valor del pH	ISO 4316	6.5-5.5	5.5-4.5	4.5-4
CO ₂ agresivo (mg/l)	Pr En 13577:1999	15-40	40-100	100-Saturacion
Ion amonio NH ⁺ ₄ (mg/l)	ISO 7150-1 ISO 7150-2	15-30	30-60	60-100
Ion magnesio Mg ²⁻ (mg/l)	ISO 7980	300-1000	1000-3000	3000-Saturacion
Suelos				
Ion sulfato SO ²⁻ ₄ (mg/kg total) ^a	En 196-2 ^b	2000-3000	3000 ^c -12000	12000-24000
Grado de acidez Baumann-Gully	DIN 4030-2	>200	Estas condiciones no se dan en la practica	

a. Suelos arcillosos con permeabilidad menor a 10-5 m/s serán ubicados en la clase inferior.

b. Puede usarse un método alternativo en base a extracción de agua.

c. El valor límite de 3000 mg/kg debería ser disminuido a 2000 mg/kg cuando hay riesgo de acumulación de iones sulfatos en el concreto debido a ciclos de humedecimiento y secado o a succión capilar.





Generalidades

- Adecuada concepción estructural
- Buena selección de la calidad de los materiales
- Detallado correcto del acero de refuerzo
- Diseño adecuado de la mezcla de concreto, acorde a las condiciones medio ambientales y de servicio.
- Adecuada ejecución tomando en cuenta el transporte y colocación de la mezcla de concreto
- Control de calidad
- Adecuada inspección
- Verificación por medio de ensayos de campo y de laboratorio del concreto a utilizar
- Identificar la agresividad del medio ambiente mediante actividades de visita al lugar y, de ser posible, ensayos de campo y/o laboratorio de los agresivos ambientales.
- Otras medidas especiales en lo que a durabilidad se refiere





Concepción estructural

- La estructura debe ser tolerable a daños, por lo cual la falla de elementos individuales no debe causar el colapso de ésta.
- La selección de una forma estructural apropiada que minimice la absorción de agua o el tiempo de exposición a la humedad.
- Las dimensiones, formas y el detallado de aquellos elementos expuestos deberán permitir suficiente drenaje y evitar la acumulación de agua.





Concepción estructural

- Se deberá tener especial cuidado en minimizar el agrietamiento por contracción de secado del concreto, o por las cargas en tensión durante la colocación.
- Los elementos estructurales deben ser accesibles a ser inspeccionados y reparados. Para lograr esto, se debe prever un acceso adecuado a todos los elementos estructurales.



Calidad de materiales

Valores limites recomendados para la composición y propiedades del concreto														
	Sin riesgo	Corrosión inducida por Carbonatación				Corrosión inducida por Cloruros						Medios Químicamente Agresivos		
						De Agua de Mar				Otros orígenes				
	C0	C0	C1	C2	C3	M1	M3	M4	M5	Cl4	Cl5	Q1	Q2	Q3
Máxima relación a/c	-	0.65	0.60	0.55	0.50	0.50	0.45	0.45	0.40	0.45	0.40	0.55	0.50	0.45
Mínimo contenido de Cemento (kg/m³)	-	260	280	280	300	300	340	380	420	380	420	300	340	380
Mínimo espesor de recubrimiento	-	20	20	30	40	50	50	50	70	50	70	50	50	50
Otros requerimientos												Use(1) cemento resistente a sulfato		

(1) Debe utilizarse un Tipo de Cemento Portland II o V si ocurre exposición en los medios Q3 y Q4. Existen algunos países donde el cemento Portland I presenta un bajo contenido de C3A (< 5 %), por lo cual también podría utilizarse.





Medidas Especiales de Protección

- Incrementar el espesor de cubrimiento del concreto sobre la armadura.
- Refuerzo Galvanizado.
- Protección Catódica.
- Inhibidores de Corrosión.
- Recubrir el concreto con pinturas, especialmente las de carácter hidrofóbico.





Caso Latinoamericano: Requerimientos de durabilidad

Verificaciones

- Criterios de porosidad efectiva para efectos de durabilidad

Porosidad Efectiva

Porosidad Efectiva (%)	Criterio de Aceptación
≤ 10	Concreto de buena calidad y compacidad
10 - 15	Concreto de moderada calidad
≥ 15	Concreto de calidad inadecuada

Carga (Coulombs)	Clase de Permeabilidad
100-1000	Muy baja
1000 - 2000	Baja
2000 – 4000	Moderada
> 4.000	Alta

Permeabilidad a Cloruros





Norma Mexicana

- **NMX-C-403-ONNCCE-1999**

**Industria de la construcción-
concreto hidráulico para uso
estructural**





Especificaciones

- Materiales componentes
 - Cemento hidráulico
 - Agregados
 - Agua de mezclado
 - Aditivos

- Requisitos del concreto en estado fresco
 - Revenimiento
 - Masa unitaria
 - Temperatura del concreto fresco en climas extremos





Especificaciones

- **Requisitos del concreto en estado endurecido**
 - **Resistencia a compresión**
 - **Modulo de elasticidad**
 - **Comprobación de la calidad del concreto mediante el ensaye de núcleos**

- **Durabilidad**





Tabla A.1.- Clasificación de exposición ambiental

Clase de exposición	Condiciones ambientales
1	Ambiente seco: <ul style="list-style-type: none">•Interior de edificaciones habitables.•Componentes interiores que no se encuentran expuestos en forma directa al viento ni a suelos o agua.•Regiones con humedad relativa mayor al 60% por un lapso no mayor a tres meses al año.
2a	Ambiente húmedo sin congelamiento: <ul style="list-style-type: none">•Interior de edificaciones con humedad relativa mayor al 60% por más de tres meses al año.•Elementos exteriores expuestos al viento pero no al congelamiento.•Elementos en suelos no reactivos o no agresivos, y/o en agua sin posibilidad de congelamiento.
2b	Ambiente húmedo con congelamiento: <ul style="list-style-type: none">•Elementos exteriores expuestos al viento y al congelamiento.•Elementos en suelos no reactivos o no agresivos, y/o en agua con posibilidad de congelamiento.
3	Ambiente húmedo con congelamiento y agentes descongelantes: <ul style="list-style-type: none">•Elementos exteriores expuestos al viento, con posibilidad de congelamiento y/o exposición a agentes descongelantes.•Elementos en suelos no reactivos o no agresivos y/o en agua con posibilidad de congelamiento y agentes químicos descongelantes.
4	Ambiente marino: <ul style="list-style-type: none">•Elementos en zonas de humedad o sumergidas en el mar con una cara expuesta al aire.•Elementos en aire saturado de sales (zona costera).



Tabla A.1.- Clasificación de exposición ambiental (continuación)

Clase de exposición	Condiciones ambientales
5a	<p>Ambiente de agresividad química ligera (por gases, líquidos o sólidos):</p> <ul style="list-style-type: none"> •En contacto con agua PH 6.5 – 5.5 CO₂ agresivo (en mg/l como CO₂) 15 - 30 Amonio (en mg/l como NH⁴⁺) 15 - 30 Magnesio (en mg/l como Mg²⁺) 100 - 300 Sulfato (en mg/l como SO₄²⁻) 200 - 600 •En contacto con suelo Grado de acidez según Baumann – Gully Mayor a 20 Sulfatos (en mg de SO₄²⁻/kg de suelo secado al aire) 2000 – 6000
5b	<p>Ambiente de agresividad química moderada (por gases, líquidos o sólidos):</p> <ul style="list-style-type: none"> •En contacto con agua PH 5.5 – 4.5 CO₂ agresivo (en mg/l como CO₂/l) 31 - 60 Amonio (en mg/l como NH⁴⁺/l) 31 - 60 Magnesio (en mg/l como Mg²⁺/l) 301 - 1500 Sulfato (en mg/l como SO₄²⁻/l) 601 - 3000 •En contacto con suelo Sulfatos (en mg de SO₄²⁻/kg de suelo secado al aire) 6000 - 12000





Tabla A.1.- Clasificación de exposición ambiental (continuación)

Clase de exposición	Clase de exposición
5c	<p>Ambiente de agresividad química alta (por gases, líquidos o sólidos):</p> <ul style="list-style-type: none">•En contacto con agua <p>PH 4.5 – 4.0</p> <p>CO₂ agresivo (en mg/l como CO₂/l) 61 - 100</p> <p>Amonio (en mg/l como NH⁴⁺/l) 61 - 100</p> <p>Magnesio (en mg/l como Mg²⁺/l) 1501 - 3000</p> <p>Sulfato (en mg/l como SO₄²⁻/l) 3001 - 6000</p> <ul style="list-style-type: none">•En contacto con suelo <p>Sulfatos (en mg de SO₄²⁻/kg de suelo secado al aire) >12000</p>
5d	<p>Ambiente de agresividad química muy alta (por gases, líquidos o sólidos):</p> <ul style="list-style-type: none">•En contacto con agua <p>PH <4.0</p> <p>CO₂ agresivo (en mg/l como CO₂/l) >100</p> <p>Amonio (en mg/l como NH⁴⁺/l) >100</p> <p>Magnesio (en mg/l como Mg²⁺/l) >3000</p> <p>Sulfato (en mg/l como SO₄²⁻/l) >6000</p>

Nota A.1.- En todos los casos registrará la condición o combinación de exposición más agresiva.





Tabla A.2.a.- Requisitos de durabilidad según la clase de exposición

Requisito		Clase de exposición según la tabla A.1.								
		1	2a	2b	3	4	5a	5b	5c	5d
Resistencia a la compresión (kg/cm ²).	Concreto reforzado. Concreto presforzado o postensado.	≥ 200 ≥ 250	≥ 250	≥ 250	≥ 250	≥ 300	≥ 250	≥ 300	≥ 350	≥ 350
Relación agua/cementante.	Concreto reforzado. Concreto presforzado o postensado.	≥ 0.60 ≥ 0.60	≥ 0.60 ≥ 0.60	≥ 0.55	≥ 0.55	≥ 0.55	≥ 0.55	≥ 0.50	≥ 0.45	≥ 0.45
Contenido de cemento para agregados gruesos entre 20 y 40 mm (kg/cm ³).	Concreto reforzado. Concreto presforzado o postensado.	≥ 270 ≥ 300	≥ 300 ≥ 300	≥ 300 ≥ 300	≥ 300 ≥ 300	≥ 300	≥ 300	≥ 300	≥ 300	≥ 300
Contenido de aire por tamaño máximo de agregado %. Se permite una tolerancia de ± 1.5 %.	≤ 40 mm ≤ 20 mm ≤ 10 mm			Si el concreto o se puede saturar ver clase 3	≥ 4 ≥ 5 ≥ 6					
Requisitos adicionales para agregado.				Resistentes al congelamiento	Resistentes al congelamiento					
Requisitos adicionales para cemento.							Véase Tablas A.2.b. y A.2.c.			

Para protección contra ataques por agentes agresivos en aguas o suelos, véase tablas A.2.b. y A.2.c.





Tabla A.2.b.- Especificaciones contra el ataque químico de agentes agresivos cuando existen

Parámetros	sulfatos Clase de exposición 5a		Clase de exposición 5a	Clase de exposición 5a	Clase de exposición 5a
	Ligera		Moderada	Alto	Muy alto
Tipo de cemento	CPO	RS	RS	RS	RS
Máxima relación agua/cementante	0.50	0.55	0.50	0.45	0.45
Mínimo contenido de cementante (kg/cm ³)	330	300	330	370	370
Protección adicional	No necesaria		No necesaria	No necesaria	No necesaria

CPO - Cemento Portland Ordinario.

RS – Cemento con características especiales de resistencia a los sulfatos según NMX-C-414-ONNCCE.



**Tabla A.2.c.- Especificaciones contra el ataque químico de agentes agresivos cuando no existen sulfatos**

Parámetros	Clase de exposición 5a	Clase de exposición 5a	Clase de exposición 5a	Clase de exposición 5a
	Ligera	Moderada	Alto	Muy alto
Tipo de cemento	CPO	RS	RS	RS
Máxima relación agua/cementante	0.55	0.50	0.45	0.45
Mínimo contenido de cementante (kg/cm ³)	300	330	370	370
Protección adicional	No necesaria	No necesaria	No necesaria	No necesaria

CPO - Cemento Portland Ordinario.

RS – Cemento con características especiales de resistencia a los sulfatos según NMX-C-414-ONNCCE (véase Capítulo 3).





Tabla A.2.a.- Requisitos de durabilidad según la clase de exposición

Tipo de construcción	Contenido de iones cloruro (Cl ⁻) solubles en agua. % en peso de cemento
Concreto presforzado	0.06
Concreto reforzado expuesto al cloro en condiciones húmedas	0.08
Concreto reforzado expuesto al cloro en condiciones secas	0.15
Otras construcciones	0.30





Tabla A.4.1.- Métodos de prueba para la durabilidad según la clase de exposición

Requisito		Se debe utilizar el método de prueba indicado en:
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Concreto reforzado Concreto presforzado o concreto postensado	NMX-C-083-ONNCCE NMX-C-169-ONNCCE (véase Capítulo 3)
Relación agua-cemento	Concreto reforzado Concreto presforzado o concreto postensado	NMX-C-159 (véase Capítulo 3)
Contenido de cemento para agregados gruesos entre 20 y 40 mm (kg/cm ³)	Concreto reforzado Concreto presforzado o concreto postensado	Véase 9.4.
Contenido de aire por tamaño máximo de agregado %. Se permite una tolerancia de ± 1.5 %.	≤ 40 mm ≤ 20 mm ≤ 10 mm	NMX-C-157, NMX-C-162 (véase Capítulo 3)
Requisitos adicionales para agregados		Véase 9.5.
Requisitos adicionales para cemento		Véase Tablas A.2.b. y A.2.c.





Tabla A.4.1.- Métodos de prueba para la durabilidad según la clase de exposición (continuación)

Requisito	Se debe utilizar el método de prueba indicado en:
Ataque por exposición ambiental	
Humedad relativa	Véase 9.10.
pH en agua	NMX-AA-088-89
CO2 en agua	NMX-C-283
Amonio en el agua	NMX-C-283
Sulfato en el agua	NMX-C-283
Sulfato en el suelo	A.4.3. y NMX-C-283
Ácidos en el suelo	A.4.4.
Contenido de cemento	Véase 9.7.
Resistencia al congelamiento de agregados	Véase 9.5.





Tabla A.4.1.- Métodos de prueba para la durabilidad según la clase de exposición (continuación)

Requisito	Se debe utilizar el método de prueba indicado en:
Ataque químico de agentes agresivos cuando existen sulfatos	
Tipo de cemento	
Máxima relación agua/cementante	Véase 9.4. y 9.5.
Mínimo contenido de cementante (kg/cm ³)	Véase 9.4.
Protección adicional	
Ataque químico de agentes agresivos cuando no existen sulfatos	
Tipo de cemento	
Máxima relación agua/cementante	Véase 9.4. y 9.5.
Mínimo contenido de cementante (kg/cm ³)	Véase 9.4.
Protección adicional	





Lo que no incluye la Norma Mexicana

- × Definiciones actualizadas de Durabilidad y Vida de servicio.
- × Consideraciones que tomen en cuenta las zonas climáticas y el cambio climático.
- × Visión holística del problema de la vida de servicio.
- × Inspección y ensayos de durabilidad.
- × Modelos de predicción de vida de servicio, etc.





Prenorma Mexicana

- **La aplicabilidad de los modelos semi-probabilísticos para predecir vida de servicio en función de un modelo holístico.**





En la actualidad, los métodos de predicción no se han desarrollado dentro de una **ciencia exacta** debido a los muchos y diferentes factores que deben ser considerados, de ahí el hecho de que la predicción de vida de servicio sea una actividad **interdisciplinaria**.¹¹

11.- CIB W80 / RILEM 175 SLM: "Service Life Methodologies Prediction of Service Life for Building and Components", Task Group Performance Based Methods for Service Life Prediction, State of the Art Reports, March (2004).





Existen dos enfoques principalmente para predecir la vida de servicio:

- **Enfoque semi-probabilístico**
- **Enfoque probabilístico**



Modelos semi-probabilísticos

- Los **modelos semi-probabilísticos** de durabilidad son utilizados en diseños donde la dispersión de **degradación** (o **desempeño** o **vida de servicio**) no es tomada en cuenta. Generalmente se usa información generada por datos **experimentales** puntuales. Con valores de parámetros conocidos el modelo alcanza solamente un valor (de degradación, desempeño o vida de servicio) el cual es llamado el **valor principal**¹¹.

[11.- A. Sarja, and E. Vesikari: "Durability Design of Concrete Structures", Manuscript of RILEM Report of TC 130-CSL, RILEM Report Series 14, Chapter 7 Durability models. pp: 97-111, E & FN Spon, Chapman and Hall, 165 p., (1996).



Modelos semi-probabilísticos

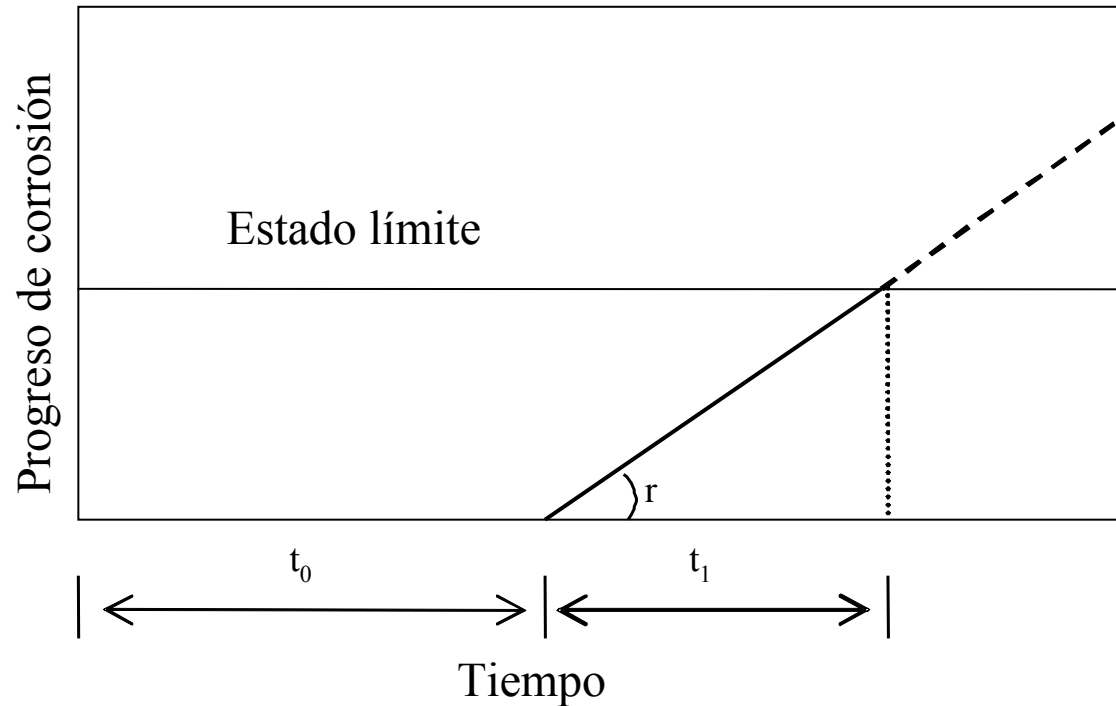


Fig. 1.- Enfoque determinista¹¹

11.- A. Sarja, and E. Vesikari: "Durability Design of Concrete Structures", Manuscript of RILEM Report of TC 130-CSL, RILEM Report Series 14, Chapter 7 Durability models. pp: 97-111, E & FN Spon, Chapman and Hall, 165 p., (1996).





Modelos probabilísticos

- El **enfoque probabilista** o estocástico, por su parte, se considera esencial en el diseño mecánico de estructuras, ya que la **dispersión** debida a la degradación es **normalmente amplia** y el grado de riesgo puede ser mayor.

11.- A. Sarja, and E. Vesikari: "Durability Design of Concrete Structures", Manuscript of RILEM Report of TC 130-CSL, RILEM Report Series 14, Chapter 7 Durability models. pp: 97-111, E & FN Spon, Chapman and Hall, 165 p., (1996).



Modelos probabilísticos

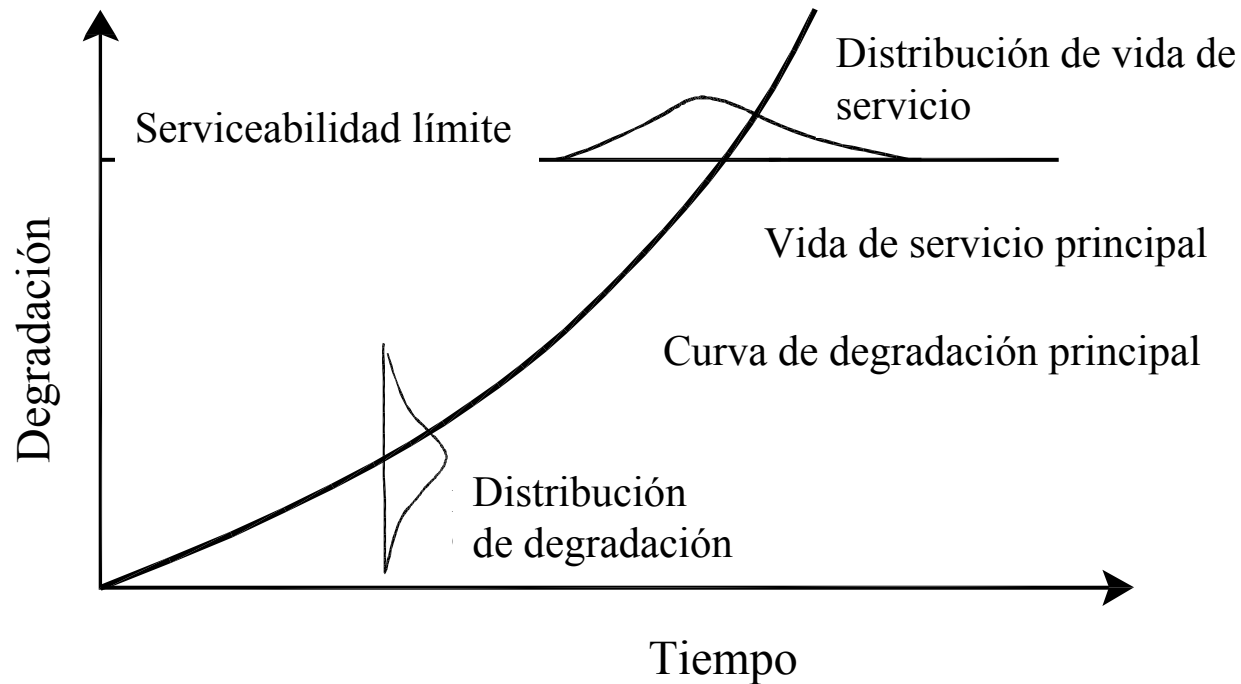


Fig. 2.- Enfoque Probabilista¹¹

11.- A. Sarja, and E. Vesikari: "Durability Design of Concrete Structures", Manuscript of RILEM Report of TC 130-CSL, RILEM Report Series 14, Chapter 7 Durability models. pp: 97-111, E & FN Spon, Chapman and Hall, 165 p., (1996).





- A nivel mundial estos dos enfoques han cobrado auge (tabla 1). Sin embargo en México aún no se les ha dado la importancia necesaria. Aunque ya se han realizado algunos esfuerzos, aún no se tiene el suficiente material científico para diseñar por durabilidad, en parte, debido a la falta de especialistas en la materia. En nuestro país se han realizado ya algunas revisiones críticas¹² sobre los modelos y enfoques existentes, aunque también se han propuesto enfoques nuevos holísticos¹³

12.- J.M. Mendoza-Rangel, P. Castro-Borges: "Critical Review of Service Life Concepts of Reinforced Concrete Structures", ECS Transactions, Vol. 3, No. 13, ISBN 978-1-56677-540-3, pp. 3-8, (2007)

13.- P. Castro-Borges, P. Helene: "Service life of reinforced concrete structures. New approach", ECS Transactions, Vol. 3, No. 13, ISBN 978-1-56677-540-3, pp. 9-14, 2007.



Tabla 1. Autores trabajando en modelos semi-probabilísticos, probabilísticos y enfoques esquemáticos⁶.

Autor	Modelos semi-probabilísticos	Modelos Probabilísticos	Enfoques esquemáticos	Año
Tuutti (1982)			X	1982
Masters (1987)	X			1987
British Standard Institution (1992)	X			1992
C. Andrade (1994)			X	1994
Canadian Standard Association (CSA, 1995)	X			1995
Sarja and Vesikari (1996)	X	X		1996
K. Pettersson (1998)			X	1998
R. de Coss, G. Murrieta, P. Castro (1998)		X		1998
Paulo Helene (1998)			X	1998
Siemes, T., Edvarsen, C. (1999)		X		1999
S. Caré and E. Hervé (2000)	X			2000
Siemes, T., de Vries, H. (2002)		X		2002
Steen Rostam (2003)		X	X	2003
CIB W80/RILEM 175 SLM (2004)				2004
A. Lindvall (2005)		X		2005
Jieying Zhang, Zoubir Lounis (2006)		X	X	2006
P. Castro-Borges and P. Helene (2007)			X	2007

6.-Mendoza-Rangel, J.M., y Castro-Borges, P., (2008) *Validez de los conceptos y modelos vigentes de vida de servicio de estructuras de concreto ante los efectos del cambio climático global. situación actual*, Artículo aceptado como Nota Técnica, Materiales de Construcción.





- En México, además de la utilización de normas internacionales (especialmente ASTM y ACI) se tienen normas **(NMX-C-403-ONNCCE-1999, 1999)**¹⁴ sobre características del concreto hidráulico para uso estructural del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE), que si bien, contempla a la **durabilidad**, **no incluye** modelos de predicción de vida de servicio.

14.- NMX-C-403-ONNCCE-1999: "Construction Industry – Hydraulic Concrete for Structural Use" (in Spanish), México, (1999).





Propuesta de Prenorma

1.- Título:

“Modelos **semi-probabilísticos** de predicción de vida de servicio en concretos para uso estructural”.

2.- Prefacio:

Se enumeran a todas aquellas instituciones públicas y privadas que participan en la elaboración y revisión de dicha norma, entre otras:

- Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida. (CINVESTAV-IPN)
- Instituto Mexicano del Transporte
- Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería
- Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Civil Zona Xalapa





Proyecto: CONACyT CB 2006 57420

Generación de propuestas de normativa sobre durabilidad del concreto armado basada en datos de diversos proyectos de ciencia básica y aplicada para ambientes tropicales marinos

Responsable: Dr. Ing. Pedro Castro Borges

Propuestas de Normativa:

- Determinación de umbrales de cloruros libres y totales para producir corrosión en el concreto armado.
- Metodología simplificada para obtener y determinar cloruros libres a pie de obra en estructuras de concreto armado.
- Métodos de predicción de vida útil del concreto armado acotada a la etapa de iniciación de daños en ambiente tropical marino.





Proyecto: CONACyT CB 2006 57420

Generación de propuestas de normativa sobre durabilidad del concreto armado basada en datos de diversos proyectos de ciencia básica y aplicada para ambientes tropicales marinos

Responsable: Dr. Ing. Pedro Castro Borges

Propuestas de Normativa:

- Métodos para predecir vida útil residual del concreto armado acotada a la etapa de propagación de daños en ambiente tropical marino.
- Métodos para preparar superficies de acero de refuerzo en ambiente tropical marino para recibir imprimaciones en casos de estructuras nuevas y reparadas. Consecuencias esperadas de la preparación inadecuada.
- Método para compensar pérdidas por adherencia en varillas de refuerzo al aplicarle primarios y/o pinturas como método de prevención de la corrosión.





Proyecto: CONACyT CB 2006 57420

Generación de propuestas de normativa sobre durabilidad del concreto armado basada en datos de diversos proyectos de ciencia básica y aplicada para ambientes tropicales marinos

Responsable: Dr. Ing. Pedro Castro Borges

Propuestas de Normativa:

- Métodos para medir eficiencia de diversos tipos de imprimación usados artesanalmente y por costumbre para proteger o reparar barras de acero de refuerzo contra la corrosión en ambientes tropicales marinos.
- Metodología para medir y analizar pares galvánicos generados al realizar reparaciones localizadas usando imprimaciones al acero de refuerzo o sustituciones parciales de acero con aceros especiales en ambientes tropicales marinos.
- Metodología para aplicar métodos de reparación especializados (realcalinización y remoción de cloruros)





Proyecto: CONACyT CB 2006 57420

Generación de propuestas de normativa sobre durabilidad del concreto armado basada en datos de diversos proyectos de ciencia básica y aplicada para ambientes tropicales marinos

Responsable: Dr. Ing. Pedro Castro Borges

Propuestas de Normativa:

- Métodos Método para realizar reparaciones localizadas
- Método de diseño de estructuras de concreto con criterios de durabilidad
- Método para evaluar durabilidad en campo a través de técnicas básicas.
- Reglamento de construcciones costeras con criterios de durabilidad en clima tropical marino.





Propuesta de Prenorma

3.- Introducción:

Se hace una breve descripción de la importancia de los modelos de predicción en México y el mundo, su aplicación y beneficio en el diseño y construcción de nuevas obras.

“El concreto armado es un material cuyo uso se ha extendido enormemente a nivel mundial por sus buenos resultados en cuanto a prestaciones mecánicas y su relativo bajo costo en comparación con estructuras realizadas con acero. Sin embargo, también ha mostrado que es vulnerable a los ataques físicos y químicos, teniendo como consecuencia una reducción en su durabilidad y vida de servicio”.





Propuesta de Prenorma

4.- Índice:

Se hace una enumeración de los tópicos antes mencionados.

	Página
Prefacio	
Introducción	
1.Objetivo.....	
2.Campo de Aplicación.....	
2.1Responsabilidad.....	
3.Referencias.....	
4.Términos y Definiciones.....	
4.1.Vida de Servicio Estándar.....	
4.2.Vida de Servicio Estimada.....	
4.3.Durabilidad.....	
4.4.Vida de Servicio.....	
5.Especificaciones.....	
6.Descripción del Modelo.....	
7.Ejemplo de cálculo.....	
8.Bibliografía.....	
9.Concordancia con Normas Internacionales.....	





Propuesta de Prenorma

5.- Objetivo:

“Esta norma mexicana establece las especificaciones para predecir la vida de servicio en concreto para uso estructural mediante la utilización de un modelo **semi-probabilísticos** usando el método de los factores”.

6.- Campo de aplicación:

“Éste será aplicable al concreto hidráulico para uso estructural sea industrializado o hecho en obra con medios mecánicos. Las referencias serán a las normas y códigos tanto nacionales como internacionales en las que se base la presente norma para su elaboración, así como a investigaciones y resultados nacionales sobre el tema”.





Propuesta de Prenorma

7.- Referencias:

Se incluirán todas las referencias bibliográficas así como los artículos y normas utilizadas para la redacción de la norma.

8.- Definiciones:

Se utilizarán varias de diversos códigos así como otras publicadas por los autores, entre las que destacan para su utilización en los modelos:





Durabilidad⁶: Capacidad de un material de construcción, elemento o estructura de concreto de resistir las acciones físicas, químicas, biológicas y ambientales **vinculadas al efecto del cambio climático global con su entorno** durante un tiempo determinado previsto desde el proyecto, manteniendo su serviceabilidad y conservando su forma original, propiedades mecánicas y condiciones de servicio.

6.- Mendoza-Rangel, J.M., y Castro-Boreges, P., (2008) *Validez de los conceptos y modelos vigentes de vida de servicio de estructuras e concreto ante los efectos del cambio climático global. situación actual*, Artículo aceptado como Nota Técnica, Materiales de Construcción.





Vida de Servicio⁶: Es el periodo de tiempo durante el cual el desempeño de un material, elemento o estructura de concreto conserva los requerimientos de proyecto en términos de seguridad (resistencia mecánica y estabilidad, seguridad en caso de fuego, seguridad en uso), funcionalidad (higiene, salud y medio ambiente, protección contra el ruido y ahorro energético y confort térmico) y estéticos (deformaciones, agrietamientos, desconchamientos), **con un mínimo de mantenimiento que permita controlar los efectos del cambio climático global en su entorno.**

6.- Mendoza-Rangel, J.M., y Castro-Boreges, P., (2008) *Validez de los conceptos y modelos vigentes de vida de servicio de estructuras e concreto ante los efectos del cambio climático global. situación actual*, Artículo aceptado como Nota Técnica, Materiales de Construcción.





Método de los Factores

- El **método de los factores**¹⁵ para la estimación de vida de servicio permite hacer la estimación de un componente o ensamble en condiciones específicas. Está basado en una vida de servicio de referencia (normalmente la vida de servicio esperada con una serie de condiciones en servicio bien definidas que aplican a ese tipo de componente o ensamble) y una serie de factores modificando esa relación a las condiciones específicas del caso

15.- International Organization for Standardization (2000): ISO 15686-1, (2000) *Buildings and constructed assets – service life planning – Part 1: General principles*. International for Standardization, Geneva, Switzerland,.





9.- Especificaciones: Se dan las relacionadas a los modelos **semi-probabilísticos**, los factores a tomar en cuenta, las variables y fórmulas a utilizar dependiendo de las condiciones ambientales y mecánicas, etc.





- Como parte de la prenorma, una vez definidos los factores que intervienen en la estructura, el paso final del proceso de producir un modelo de predicción de vida de servicio es la cuantificación y **formulación**. La información obtenida de ensayos, junto con resultados de pruebas de campo, es comúnmente suficiente para construir un modelo de degradación (o desempeño) como los que siguen:



La forma general de un modelo de degradación es:

$$\mu(D) = D(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \quad (1)$$

donde:

$\mu(D)$	=	degradación principal
x_1, x_2, x_n	=	parámetros del material, estructural y ambiental
t	=	la edad de la estructura

La forma general de un modelo de desempeño se puede escribir:

$$\mu(P) = P(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \quad (2)$$

donde:

$\mu(P)$	=	desempeño principal
x_1, x_2, x_n	=	parámetros del material, estructural y ambiental
t	=	la edad de la estructura





La **vida de servicio principal** es aproximada al periodo de tiempo sobre el cual la **degradación** principal alcanza un **máximo permisible** de degradación, o sobre el cual el **desempeño** principal alcanza un **mínimo permisible** de desempeño. Cuando la máxima degradación, D_{max} , o el mínimo desempeño, P_{min} , es conocido, la correspondiente **vida de servicio principal** se puede trabajar utilizando los modelos de degradación o desempeño:

$$\mu(t_L) = t_L(x_1, x_2, \dots, x_n, D_{max}) \quad (3)$$

$$\mu(t_L) = t_L(x_1, x_2, \dots, x_n, P_{min}) \quad (4)$$

donde $\mu(t_L)$ es la vida de servicio principal





EJEMPLO





Cálculo de la vida de servicio de una estructura por el efecto de la carbonatación

En la prenorma se incluirá un ejemplo de cálculo de la vida de servicio con un modelo determinístico con la finalidad de servir de guía a las personas o instituciones que necesiten aplicarlos, de manera que sea más sencilla su aplicación.

Para efectos de ejemplo, a continuación se usarán datos extraídos de **probetas** expuestas a un clima tropical marino del norte de **Yucatán** por **15 años** ¹⁶. Como ejemplo de un modelo determinista, se utilizará el efecto de la **carbonatación** para determinar la **vida de servicio** de una estructura, tomado del manual **Lifecon** ¹⁷, pero utilizando datos de investigaciones propios:

16.- Castro, P., y Maldonado, L., (1995) *Initial efforts to evaluate the corrosion problems in the infrastructure of Mexican southeast coastal zones*, NACE International, Innovative Ideas for Controlling the Decaying Infrastructure, Victor Chaker Editor, ISBN: 1-877914-83-5.

17.- Lifecon Deliverable D 3.2, Service Life Models, (2003) *Instructions on methodology and application of models for the prediction of the residual service life for classified environmental loads and types of structures in Europe*.





Factores:

- Recubrimiento de concreto d_{Rec} , se mide un valor principal de $\mu_{Rec}=30\text{ mm}$ y una desviación estándar de $\sigma_R=8\text{ mm}$.
- La profundidad de carbonatación X_c se midió en tres puntos a una edad de 15 años. El valor principal es de $\mu_S=20\text{ mm}$.
- Contenido promedio de CO_2 en el aire C_S de $9.4 \times 10^{-4}\text{ KgCO}_2/\text{m}^3$.



Cálculo:

Se calcula el coeficiente de variación de la profundidad de carbonatación mediante la ecuación:

$$CoV_{Xc} = a \cdot \left[\left(\frac{Xc}{\tau} \right)^2 \cdot 10^{11} \right]^b \quad (5)$$

donde:

- CoV: Coeficiente de variación [%]
a: Parámetro de regresión [$10^{11b} \text{ m}^5/(\text{s kgCO}_2)$], aquí $a = 68,9$
b: Parámetro de regresión [de signo -]; aquí $b = -0,22$
Xc: Profundidad de carbonatación medida de ensayos acelerados [m]
 τ : Constante de tiempo [$(\text{s kgCO}_2/\text{m}^3)^{0.5}$];



Primero calcularemos la constante de tiempo τ con la ecuación:

$$\tau = \sqrt{2 \cdot \Delta C_s \cdot t} \quad (6)$$

$$\tau = \sqrt{2 \cdot 9.4 \times 10^{-4} \cdot 15 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} = 943 \quad (7)$$

Sustituyendo en la ecuación (5):

$$CoV_{x_c} = 68.9 \cdot \left[\left(\frac{0.015}{943} \right)^2 \cdot 10^{11} \right]^{-0.22} = 34\% \quad (8)$$



el valor principal de la velocidad de carbonatación K se determina de:

$$X_c(t) = K \cdot \sqrt{t} \quad (9)$$

$$K = \frac{X_c}{\sqrt{t}} = \frac{20}{\sqrt{15}} = 3.87 \quad (10)$$

por lo tanto el valor principal es $\mu K = 3.87 \text{ mm}/\sqrt{a}$. La desviación estándar será entonces:

$$\sigma_K = CoV_{X_c} * \mu_K \quad (11)$$

$$\sigma K = 0.34 \mu K \quad (12)$$



La vida de servicio fijada es de **30 años**, con un índice de confiabilidad mínima de $\beta_0 = 1.8$. Este último valor tomado de tablas, cuyos índices varían dependiendo del tipo de exposición ambiental, que para este ejemplo es un **clima húmedo, raramente seco (XC1)** tomado de la norma europea **EN 206**.

$$\mu_{X_c}(t) = 3.87 \cdot \sqrt{(30)} = 21.19 \quad (13)$$

$$\sigma_{X_c}(t) = 21.19 \cdot 34\% = 7.20 \text{ mm} \quad (14)$$



Se considera una **variable R** de **resistencia del material** al agente agresivo dada por el recubrimiento y su desviación estándar y otra **variable de carga** (o cualquier agresividad al material) **S** dada por el valor principal de la profundidad de carbonatación al cabo de 30 años y su desviación estándar, de tal forma que:

$$L(U_1, U_2) = R - S \quad y \quad (15)$$

$$U_1 = \frac{R - \mu_{Rec}}{\sigma_R} \quad U_2 = \frac{S - \mu_{Xc}}{\sigma_{Xc}} \quad (16)$$



Sustituyendo valores:

$$U_1 = \frac{R - 30}{8} \quad U_2 = \frac{S - 21.19}{7.20} \quad (17)$$

$$L(U_1, U_2) = R - S = 8U_1 - 7.2U_2 + 8.81 = AU_1 + BU_2 + C = 0 \quad (18)$$

Calculando con el formato normal de Hesse (comparación de coeficientes A, B, C) obtenemos el **índice de confiabilidad calculado** (β) para las condiciones dadas después de 30 años:

$$\beta = \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2}} = 0.82 < 1.8 \quad (19)$$

Esto significa que después de 30 años el índice de confiabilidad calculado decaerá a niveles muy **por debajo** de la confiabilidad objetivo ($\beta < \beta_0$).



Si se busca la vida de servicio residual, la confiabilidad tiene que estar en $\beta = \beta_0 = 1.8$. El esfuerzo o carga S es igual a la profundidad de carbonatación dependiente del tiempo X_c :

$$U_1 = \frac{R - 30}{8} \quad U_2 = \frac{S - 3.87 \cdot \sqrt{t}}{3.87 \cdot \sqrt{t} \cdot 0.34} \quad (20)$$

$$\beta = \frac{(30 - 3.87\sqrt{t})}{\sqrt{(8)^2 + [1.32\sqrt{t}]^2}} = 1.8 \quad (21)$$

Resolviendo la ecuación (21) por medios algebraicos tenemos que la vida de servicio es de:

$$t = 12 \text{ años}$$





Esto significa, que la **predicción** de la vida de servicio es **mucho más baja** para las condiciones dadas en el modelo de lo que se pretende debería durar en el diseño (**30 años**). El resultado de este cálculo indica que la vida de servicio de la estructura debe ser tratada de diferente manera a partir de los **12 años**.





Esto lleva a pensar en el planteamiento de **nuevos enfoques** que dividan a la vida de servicio en **varias etapas** en las cuales solo se tomen en cuenta los fenómenos o factores que en esa etapa intervengan para que, una vez utilizados los modelos de predicción, éstos sean más eficientes y más precisos [4]

[4] P. Castro-Borges, P. Helene: "Service life of reinforced concrete structures. New approach", ECS Transactions, Vol. 3, No. 13, ISBN 978-1-56677-540-3, pp. 9-14, 2007.





Ejemplo propuesto

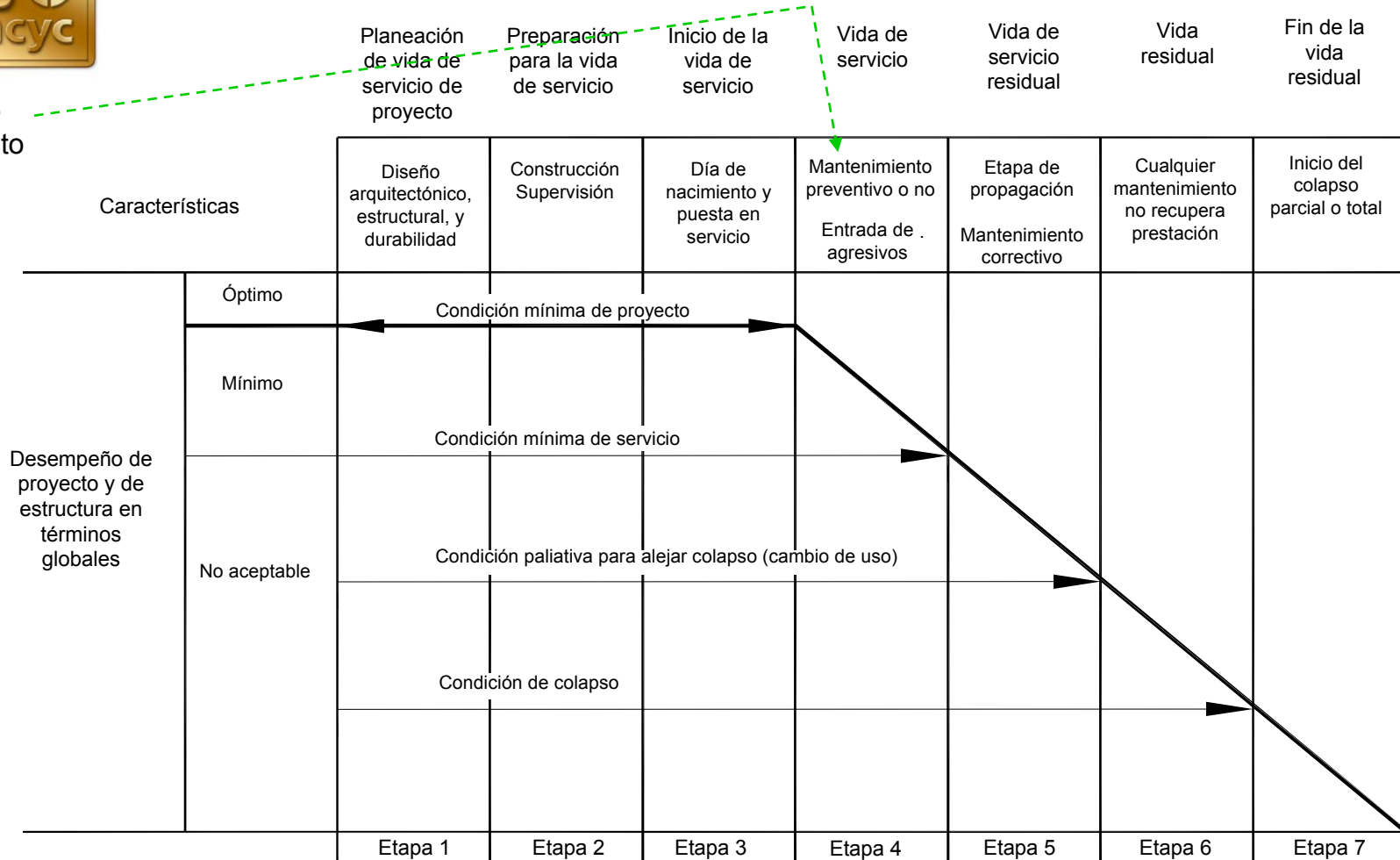


Fig. 1.- Modelo esquemático de siete etapas de vida de servicio de estructuras de concreto reforzado¹³

13.- P. Castro-Borges, P. Helene: "Service life of reinforced concrete structures. New approach", ECS Transactions, Vol. 3, No. 13, ISBN 978-1-56677-540-3, pp. 9-14, 2007.





Comentarios

- En el caso del ejemplo aquí presentado, a los 12 años la estructura estaría en la etapa 4 de este enfoque (agente agresivo ha penetrado).
- Se requiere de más estudios para saber que factores son los que influyen en las etapas anteriores y posteriores (medio ambiente, clima, etc.).
- Para fines de esta discusión de pre-norma, el método de factores utilizado es válido únicamente si se tiene la seguridad que el factor escogido para el análisis y la confiabilidad actúa única y/o muy preferencialmente.
- De otra manera, deben seleccionarse con el peso respectivo otros factores y/o usar otros enfoques de vida de servicio (V.gr. el de siete etapas).





CONCLUSIONES





1. Los modelos semi-probabilísticos de predicción de vida de servicio son una necesidad imperante que daría a los diseñadores y constructores una herramienta útil y práctica. Una normativa mexicana que los incluya ayudaría a su mejor comprensión y utilización en la práctica.
2. El modelo semi-probabilístico que usa el método de los factores no es tan preciso como los modelos probabilísticos, sin embargo da una idea clara y muy cercana del comportamiento de las estructuras en el futuro. Sus principales ventajas son su rapidez y sencillez de cálculo.
3. La utilización de enfoques que dividan la vida de servicio en varias etapas dan la opción de involucrar por etapa solo los factores que en ella intervienen, haciendo la modelación más eficaz y precisa.





¡Gracias por su atención!

