

DISEÑO POR
VIDA ÚTIL DE
ESTRUCTURAS
MARÍTIMAS EN
HORMIGÓN
ARMADO



Diseño por Vida Útil

Manchas de Óxido

**Espesor del
Recubrimiento**

**Calidad del
Hormigón**

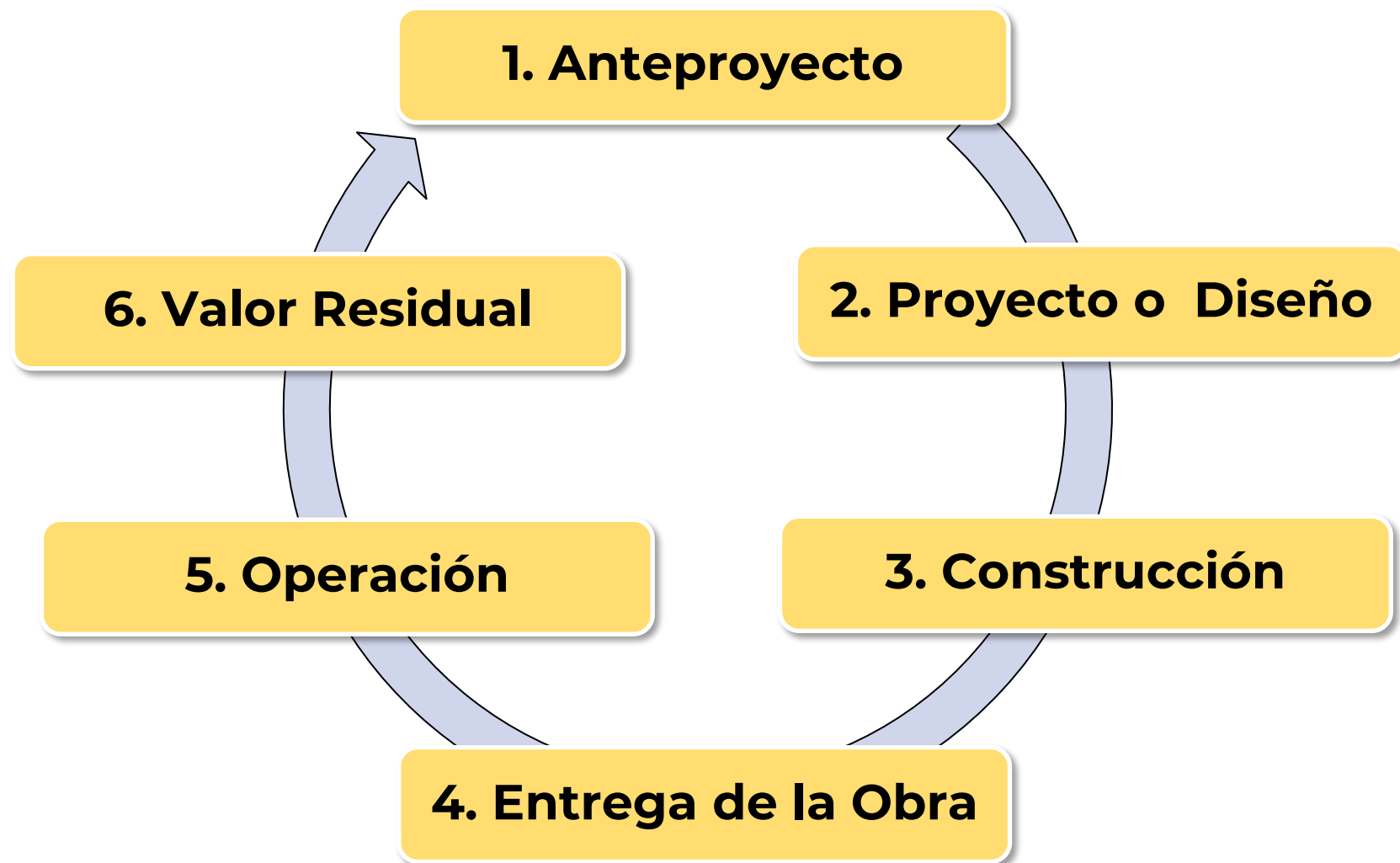
**Descascaramiento del
acero en delgadas capas**

Armadura oxidada

Ciclo de Vida de un Proyecto

Enfoque Holístico

ETAPAS



Importancia del Recubrimiento

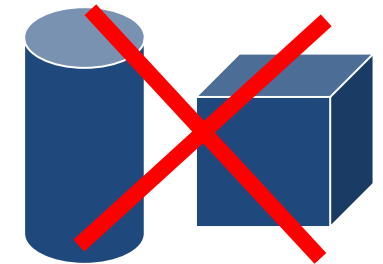
Agentes **EXTERNOS**
agresivos:

- Abrasión
- Hielo/deshielo
- Ácidos
- CO_2
- Cl^-
- SO_4^{-2}

Agentes **INTERNOS**
dañinos:

Cl^- , SO_4^{-2} , RAA, DEF

**Control
Resistencia
Tradicional**



Probetas moldeadas
y curadas en
condiciones
normalizadas

NO

representan la **calidad real** del recubrimiento del hormigón.

Debido a:

- Segregación
- Compactación
- Curado
- Exudación
- Acabado Superficial
- Microfisuras
- Nidos de piedras

**Menor Calidad del
Recubrimiento;**

- más impermeable
- más poroso, y
- menos durable



Conceptos
Básicos



Ensayos de Desempeño (Superficial)

Conceptos Básicos

Resistividad Eléctrica
SR*
AASHTO T358 (TP95)



Coef. Difusión de
Cloruros CDC - **D***
ASTM C1556



Permeabilidad al Aire por Vacío
in-situ - kT*
SIA 262/1 Anexo E



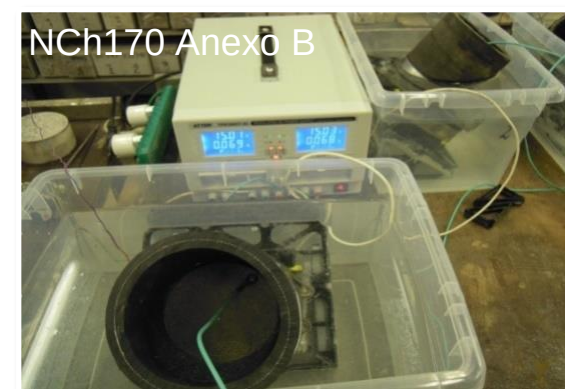
Penetración Rápida de Cloruros
RCPT **Q***
ASTM C1202



Penetración de Agua a Presión
WP*
NCh 2262 / EN 12390-8



Migración Rápida de Cloruros
RCM **M***
NT Build 492



Estrategia de Durabilidad

NCh170-2016: Grados de Exposición y Severidad

Clase	Acción	Grado	Descripción
F	Congelación /Deshielo	F0	Sin riesgo
		F1	Humedad ocasional
		F2	Humedad continua
		F3	Humedad continua + sales
S	Sulfatos en suelos o aguas	S0	No agresivo
		S1	Moderada
		S2	Severa
		S3	Muy severa
C	Corrosión de Armaduras	C0	No agresivo
		C1	Leve – Carbonatación
		C2-A	Moderada – Cloruros, sumergido
		C2-B	Severa – Cloruros, aire salino
		C2-C	Muy severa – Cloruros, agua de mar
P	Permeabilidad	P0	Seco
		P1	Humedad
		P2	Humedad + Ataque químico

1.

Etapa de
Anteproyecto

Condiciones ambientales que afectan a las estructuras NCh170:2016

Etapa de
Anteproyecto

**C2-C: Muy Severo Intermareas /
Salpicadura**

C2-B: Severo
Atmosférico / Brisa Marina

F2: Exposición a Ciclos
Hielo/Deshielo con humedad

C2-A: Moderado
Sumergido

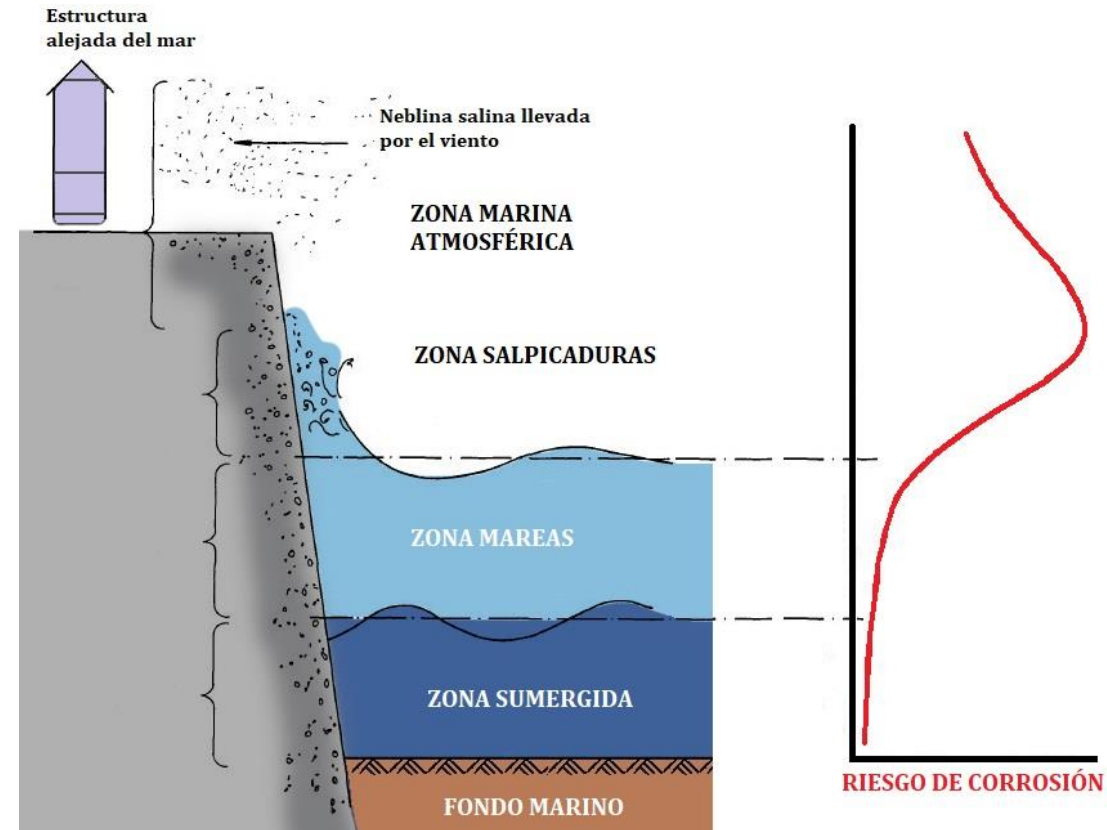
S1: Moderado
Sulfatos del agua de mar

Exposición a Cloruros

Grados de Severidad:

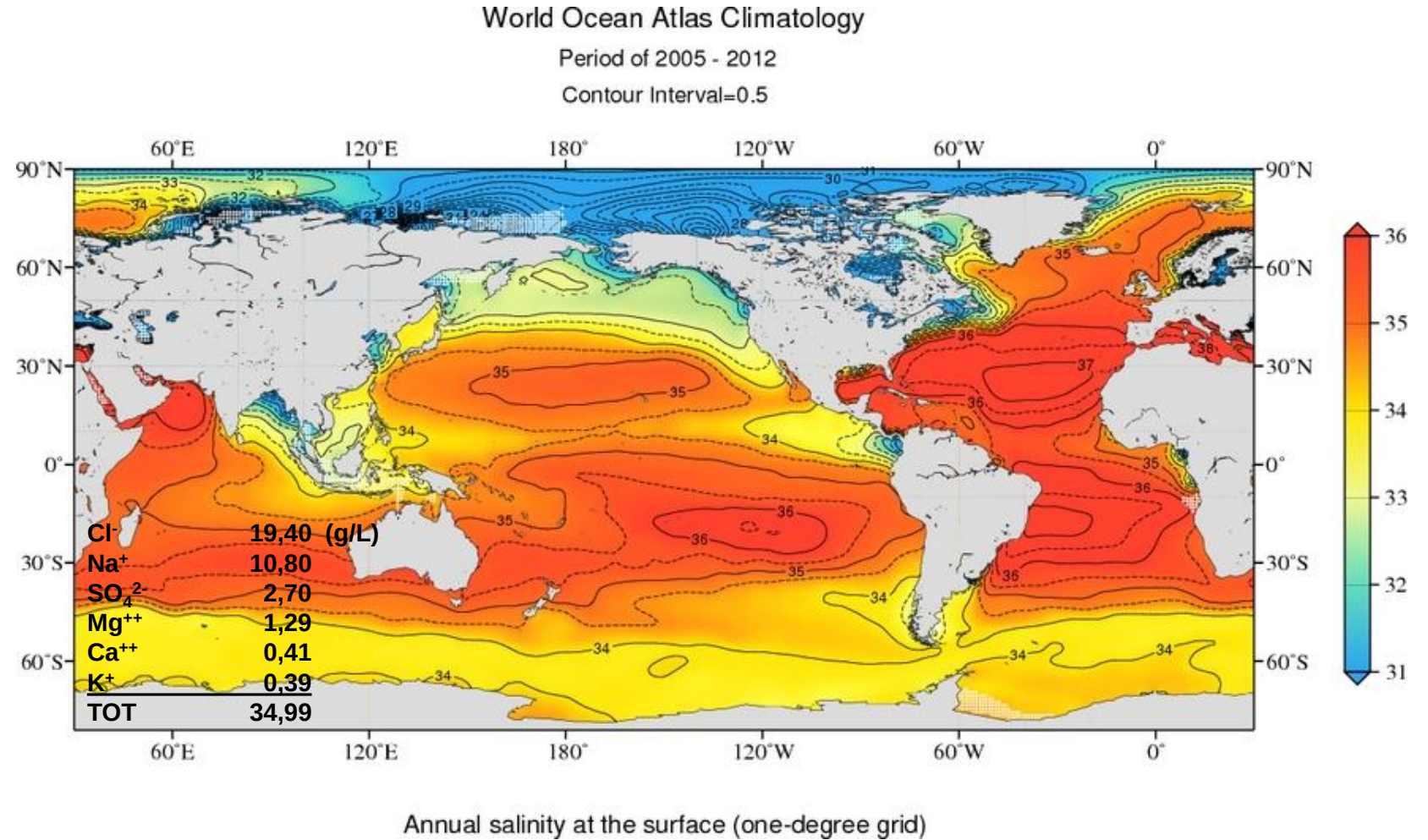
- **C2-A:** Cloruros de Mar – Sumergido - MODERADO
- **C2-B:** Cloruros de Mar – Atmosférico - SEVERO
- **C2-C:** Cloruros de Mar – Zona de Mareas / Salpicaduras – MUY SEVERO

Etapas de
Anteproyecto



Salinidad de los Océanos

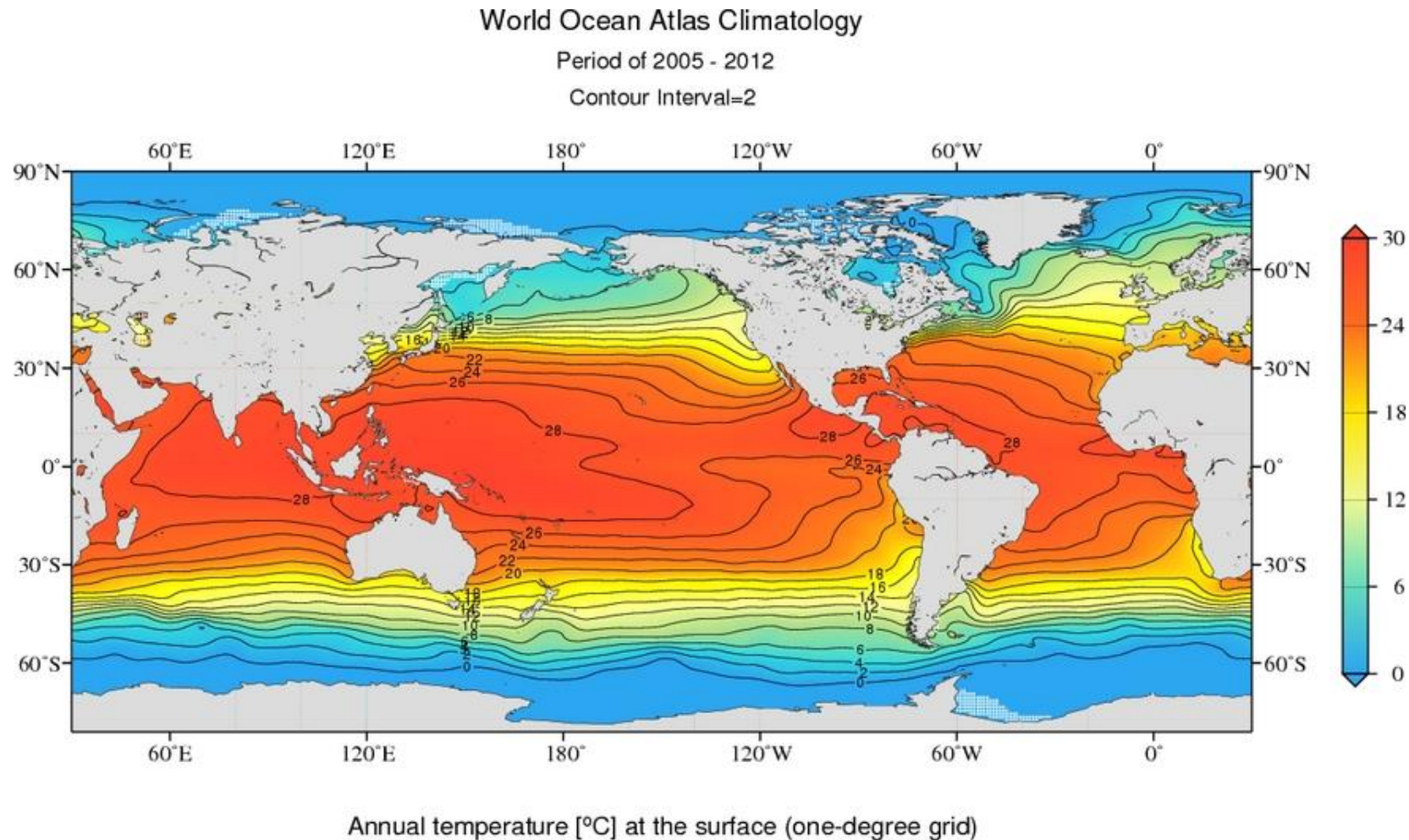
Etapa de
Anteproyecto



➤ NOAA Satellite and Information Service, 2013.

Temperatura de los Océanos

Etapa de
Anteproyecto

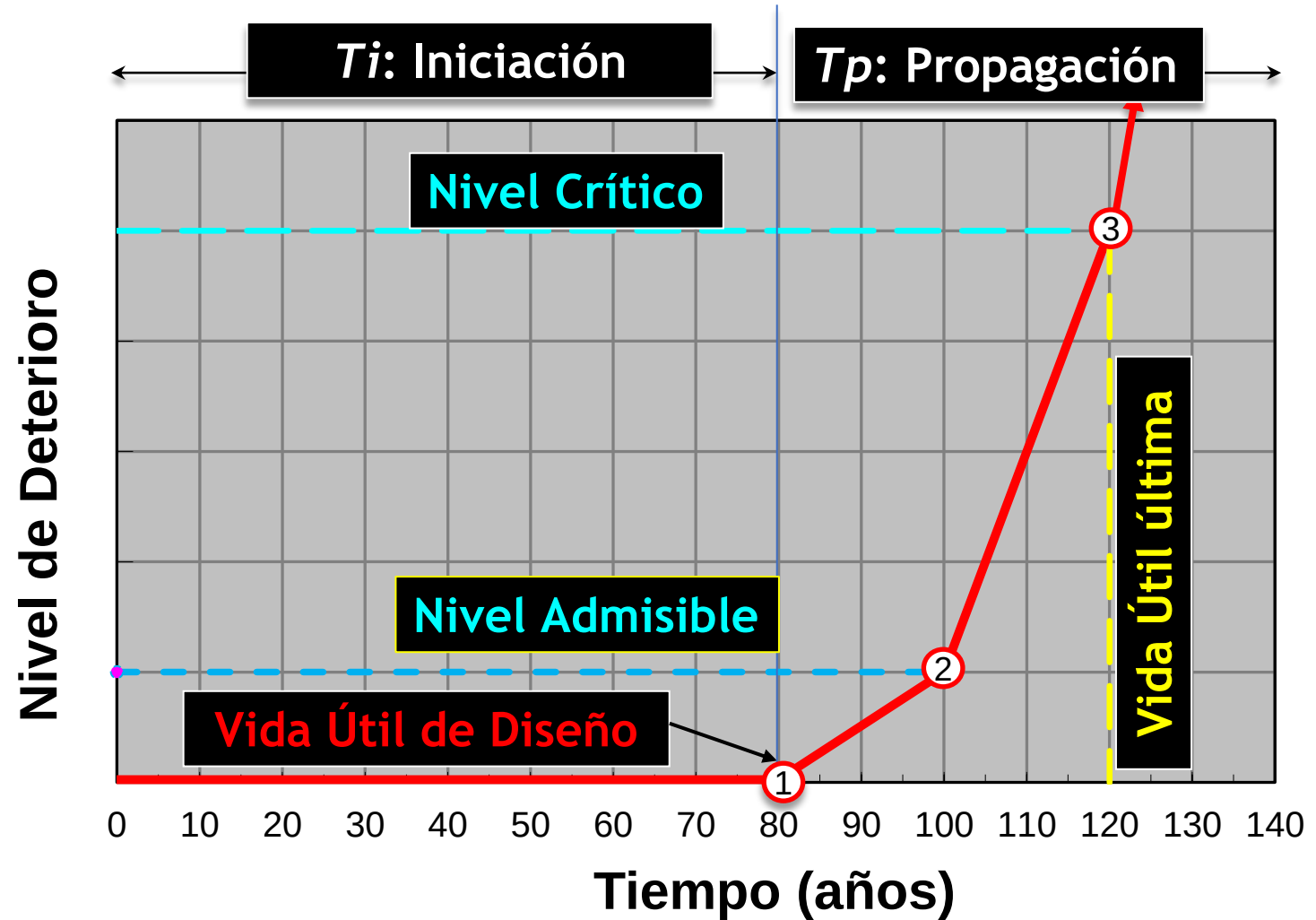


➤ NOAA Satellite and Information Service, 2013.

Diseño por Vida Útil

2.

Etapa de
Diseño



* Tuutti, K., "Corrosion of Steel in Concrete", Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, Sweden, 1982.

Tiempo de Iniciación

Tiempo de Iniciación T_i

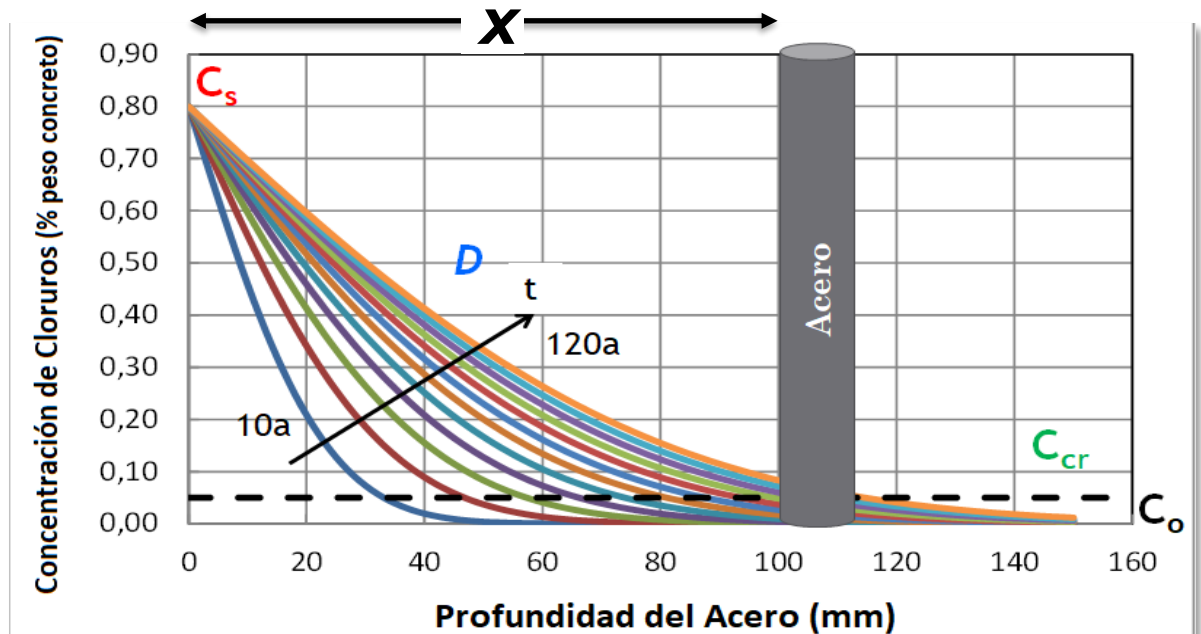
Momento en que los cloruros o la carbonatación alcanzan el acero. Ocurre la depasivación del acero, pudiendo darse inicio a la corrosión.

Se basa en la solución de la 2da. Ley de Fick de la distribución de la concentración, y los modelos consideran este momento para considerarlo como Vida Útil de Diseño (Service Life Design), como lo hace el **Modelo fib Duracrete** y otros.

Etapa de
Diseño

Perfil de Ingreso de Cloruros

- $VU = 80$ años
- $x = 100$ mm
- $D = ??$
- $C_{cr} > C_{(100 \text{ mm}; 80a)}$



Tiempo de Iniciación

Incorporando análisis Probabilístico

Modelo 1 CTK- ServiceLife Design®

MODELO CTK-ServiceLifeDesign®

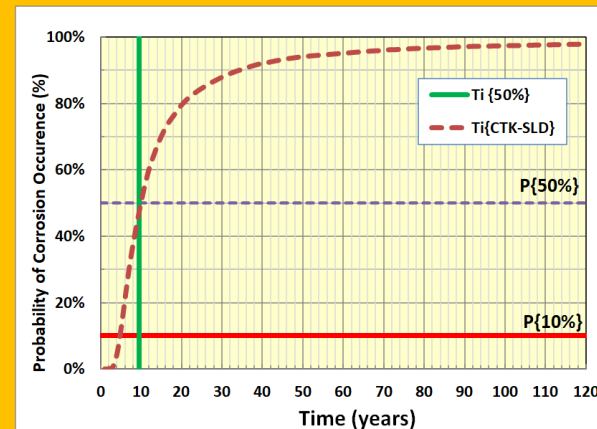
1.- DATA INPUT

máx	150					
	Xc	CCr	Cs	Do	m	Ti
	mm	%wt.con.	%wt.con.	10 ⁻¹² m ² /s	-	años
Mean	60	0,050	0,700	8,000	0,40	9,6
CoV	10%	20%	20%	20%	20%	
SD	6,000	0,010	0,140	1,600	0,080	
Distr.	LOGNOR	NOR	NOR	NOR	LOGNOR	

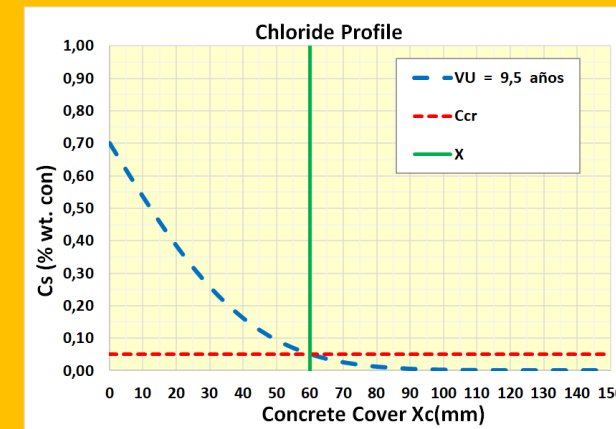
T°	
°C	
20,0	yearly

Co	THyd
%wt.con.	y
0,017	120,0

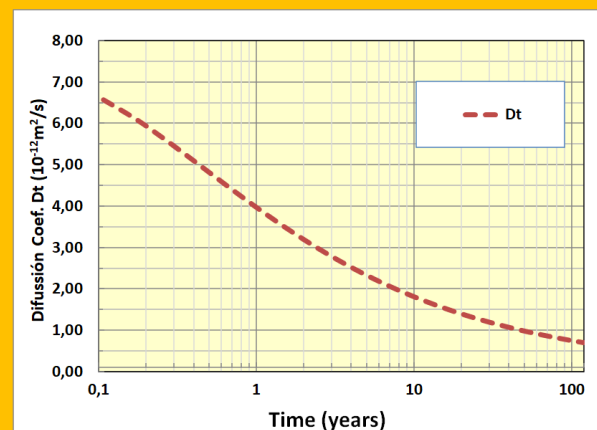
2.- DATA OUTPUT



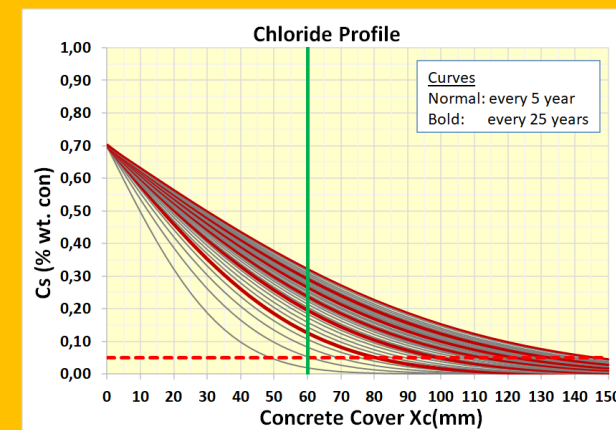
Probability function of Initiation Time of corrosion.



Chloride Concentration at depth for estimated Service Life.



Diffusion Coeff. Aging Function



Chloride Concentration at depth for different ages.

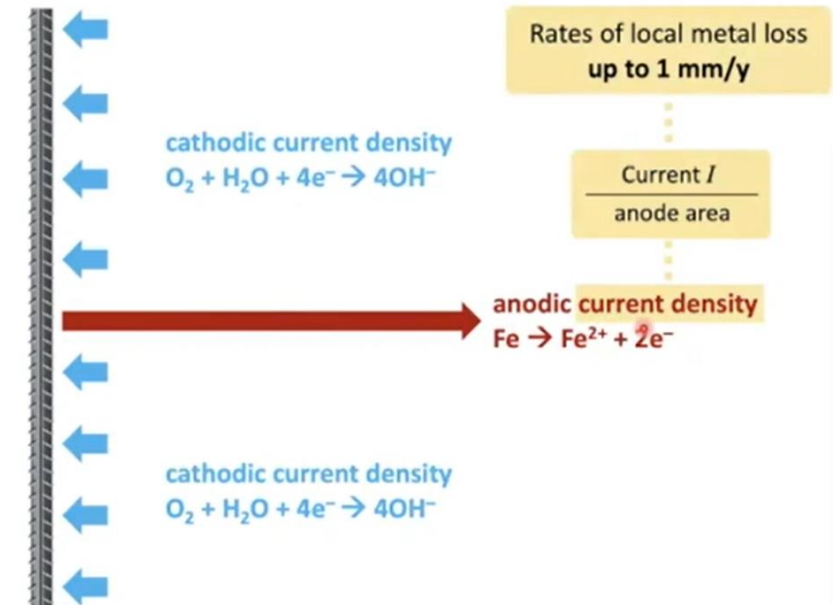
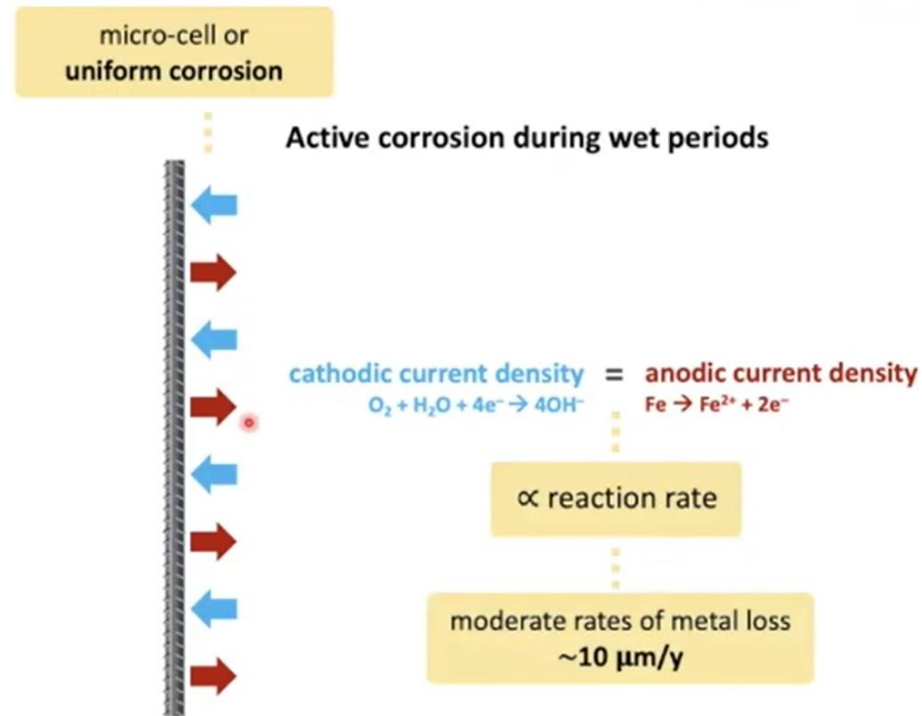
Tiempo de Propagación

2 Tipos de Corrosión: una vez que el pH del hormigón se redujo por efecto de reacciones químicas $> 12,5$.

Corrosión **uniforme** por CO_2

Corrosión **localizada** por Cl

Etapa de
Diseño



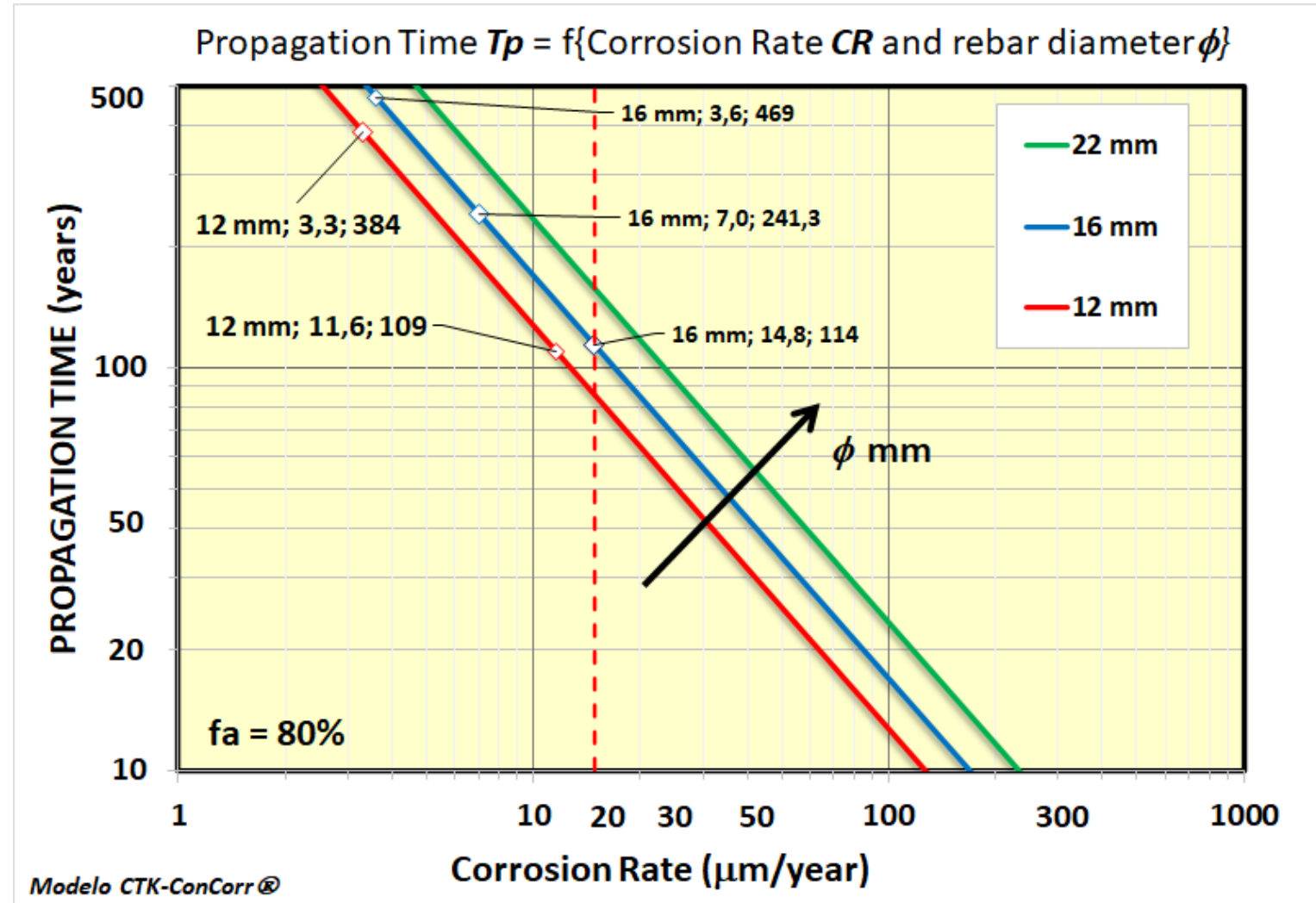
Tiempo de Propagación

Incorporando análisis Probabilístico

Modelo 2

CTK-ConCorr

iCor



Modelo 3

CTK-
ConcreLife®

Diseño por Vida Útil

Objetivos del Modelo:

Determinar la combinación de las variables que definen el comportamiento del hormigón - **Espesor de Recubrimiento** y **Permeabilidad al Aire** – que permita estimar para el **Tipo de Exposición Ambiental** esperado y Vida Útil requerida, **la probabilidad de inicio de la Corrosión para el nivel de confianza definido**.

Supuestos del Modelo:

- Considera las **relaciones** obtenidas a nivel internacional entre la Permeabilidad al Aire y el Coef. de Difusión de Cloruros D_{Cl} y el Coef. de Velocidad de Carbonatación **Kc**.
- Ejecuta un análisis según el método **Montecarlo** hasta 10.000 iteraciones con una variable aleatoria de probabilidad $P\{0,1\}$ para cada una de las variables.
- Utiliza el valor promedio y la desviación estándar.
- Utiliza una **Distribución Normal** de cada variable.

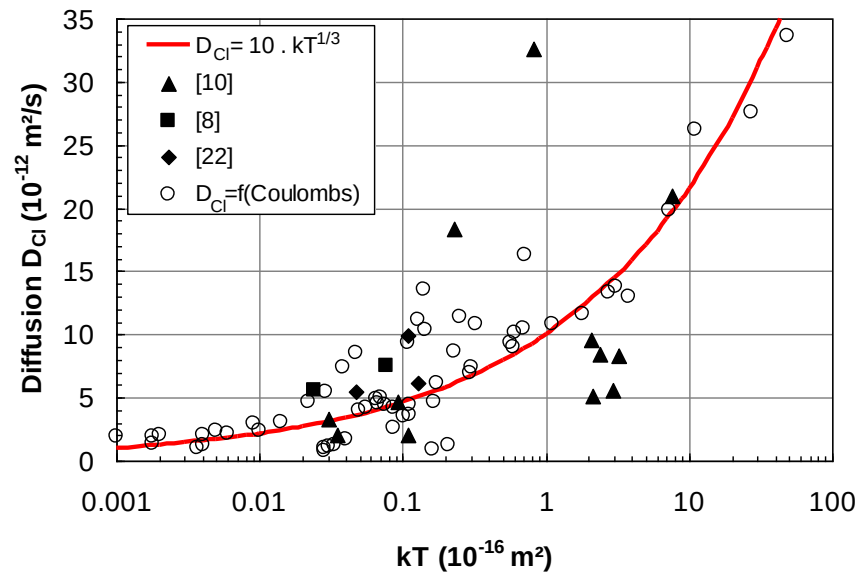
Diseño por Vida Útil

Modelo CTK-ConcreLife®

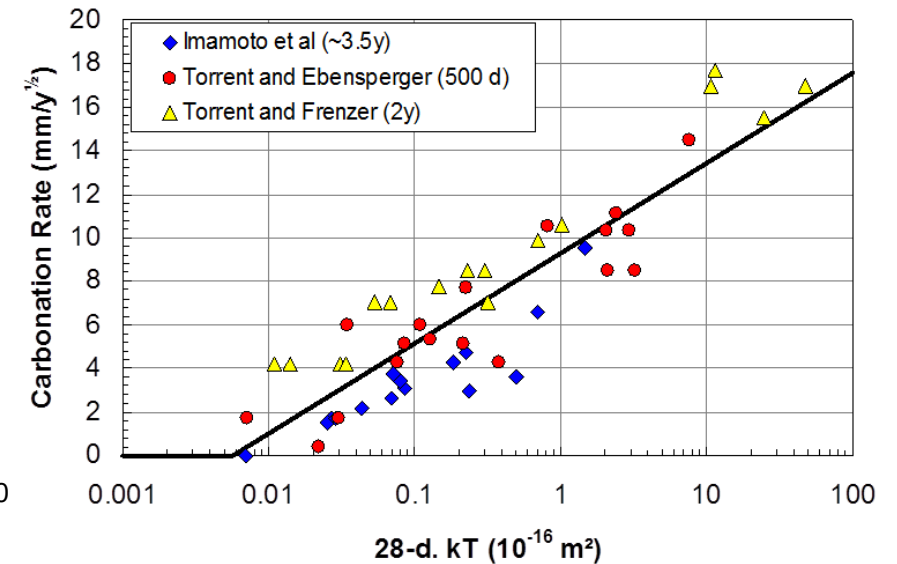
Relaciones entre Permeabilidad al Aire y ensayos de Ingreso de sustancias agresivas

Etapa de
Diseño

Difusión de Cloruros



Carbonatación



Inicio de Corrosión:

$$Ti_{Cl} = \alpha * \frac{x^2}{kT^{1/3}}$$

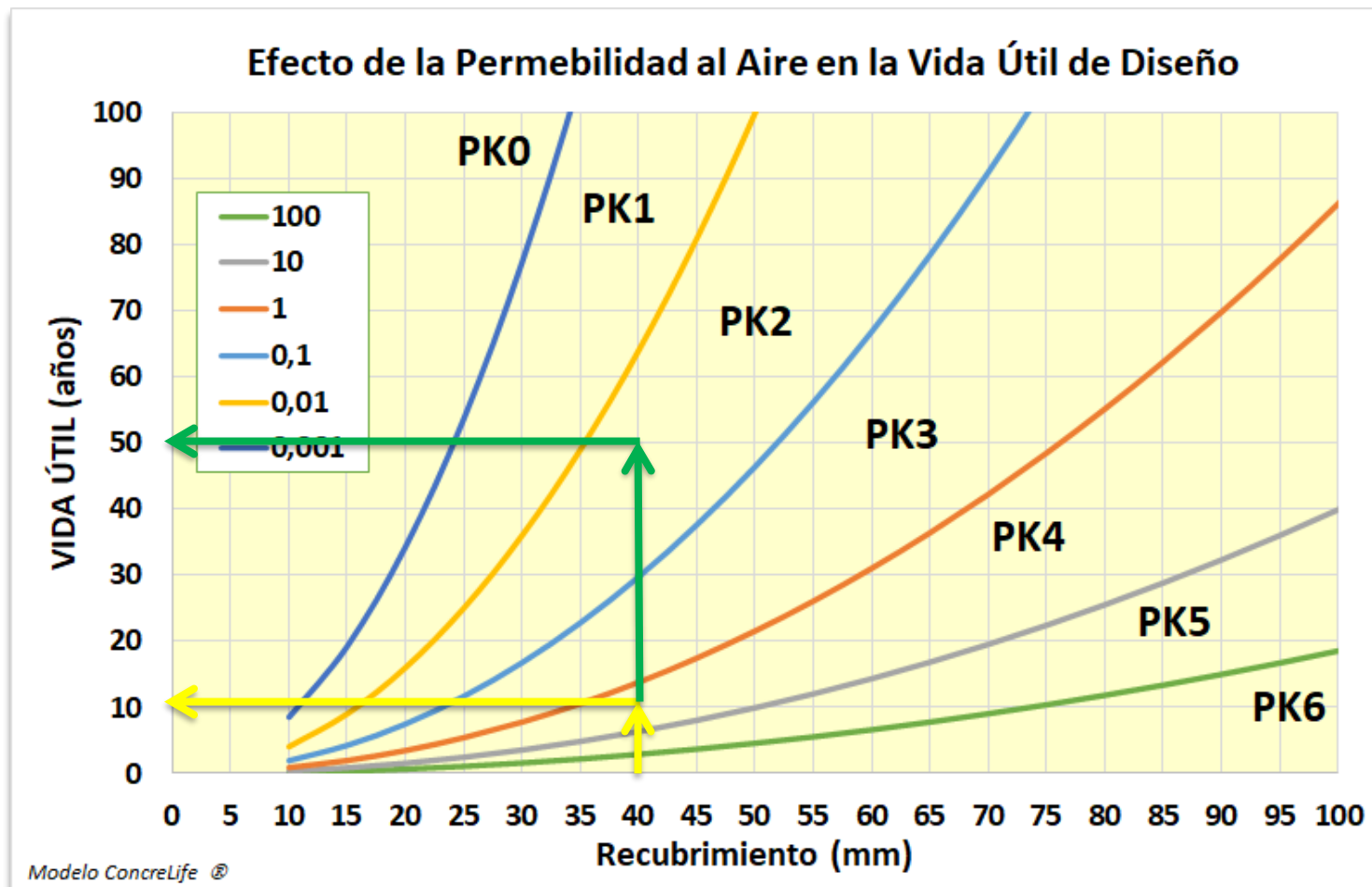
$$Ti_{CO2} = \beta * \frac{x^2}{\{\ln(174 * kT)\}^2}$$

Diseño por Vida Útil

Modelo CTK-ConcreLife®

Tiempo de iniciación para Exposición de Cloruros

Etapa de
Diseño



Módulo de Diseño

Modelo CTK-ConcreLife®

Etapa de Diseño

CTK-CONCRELIFE - Concrete Service Life Design&Control v2

Design

Design Service Life years

Exposure Type (select Type)

Exposure Class (select Class)

Exposure Conditions

In-Situ Requirements

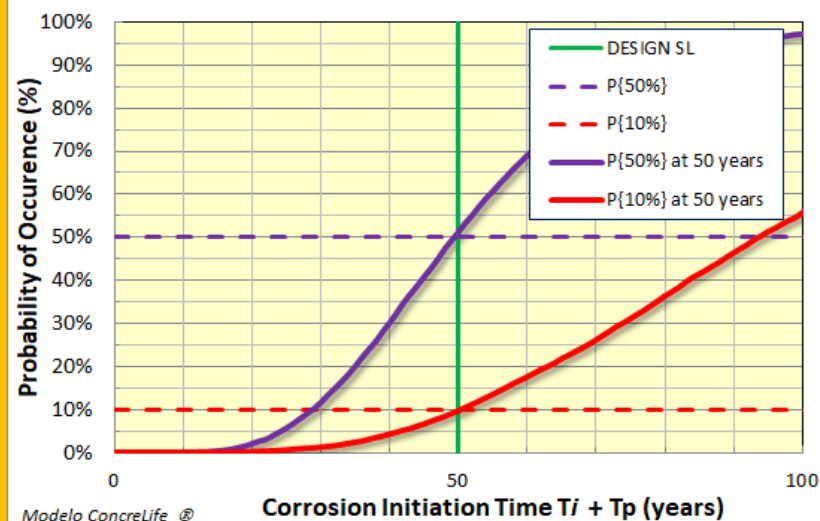
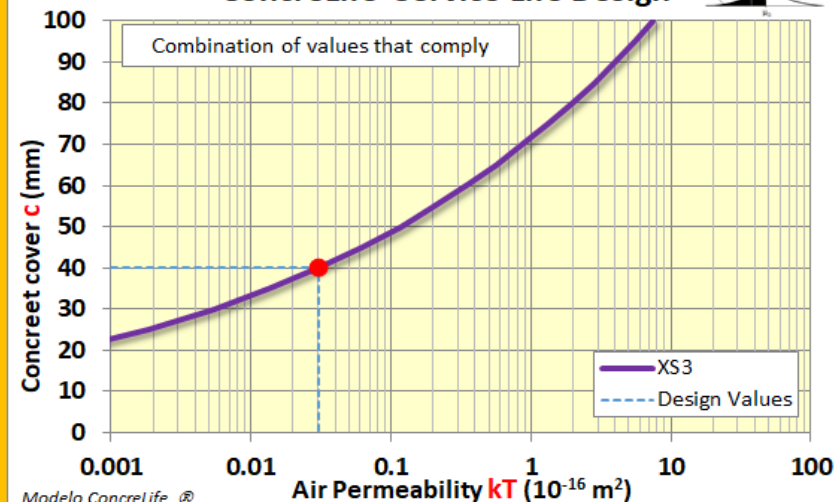
Xc	kT
mm	10^{-16} m^2

Design Values	40	0.031	PCorr {50%}
STD%	20%	20%	
STD	8.0	0.278	
Distr.	NOR	NOR	

Design Values	40	0.004	PCorr {10%}
STD%	20%	20%	
STD	8.0	0.373	
Distr.	NOR	NOR	

Find

ConcreLife- Service Life Design



3.

Etapa de Construcción

Control in-situ

Modelo CTK-ConcreLife®

Verificación de valores reales en terreno con 2 ensayos No-Destructivos

- Medición de la **Permeabilidad al Aire** al menos 2 lotes con un mínimo de 6 puntos por lote según **SIA 262/1-Anexo E** por tipo de hormigón
- Medición de el **Espesor de Recubrimiento** **según BS 1881 204** con al menos 10 puntos por lote en cada dirección (X e Y)
- Determinación de valores promedio en terreno
- Determinación de desviaciones reales en terreno

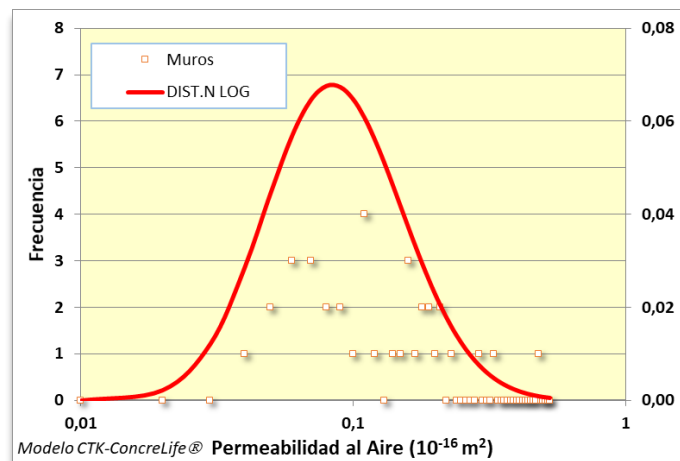
Ventajas

- Al medir en la obra terminada se cuenta con la mejor estimación posible de Vida Útil, dado que el valor medido representará la dispersión probabilística de los valores que comprende la totalidad de condiciones que pudieron haber ocurrido desde el proceso de Diseño hasta el término de la Construcción.

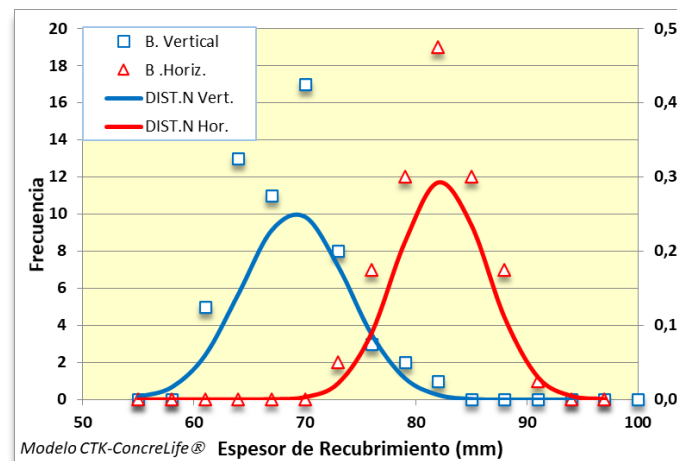
Control in-situ - Ejemplo

Modelo CTK-ConcreLife®

Mediciones en terreno Permeabilidad al Aire



Espesor de Recubrimiento



Etapa de
Construcción

Equipo
PermeaTorr



Scanner de
Armaduras



Módulo de Control

Modelo CTK-ConcreLife®

Etapa de
Construcción

CTK-CONCRELIFE - Concrete Service Life Design&Control v2

Control

Design Service Life years

Exposure Type

Exposure Class

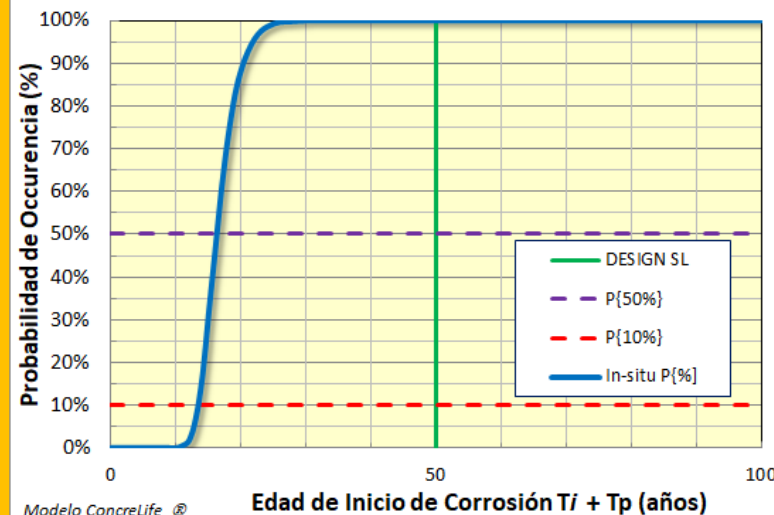
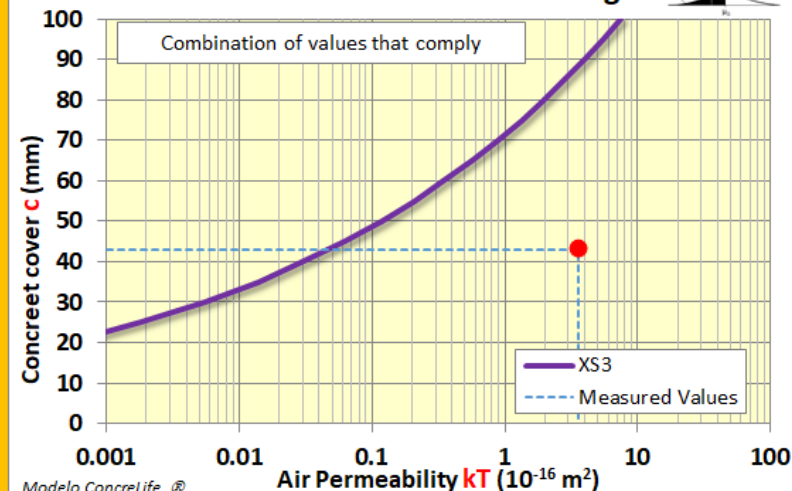
Exposure Conditions

	Xc	kT
	mm	10^{-16} m^2

Mean	43.0	3.6
STD%	8%	51%
STD	3.4	0.282
Distr.	NOR	NOR

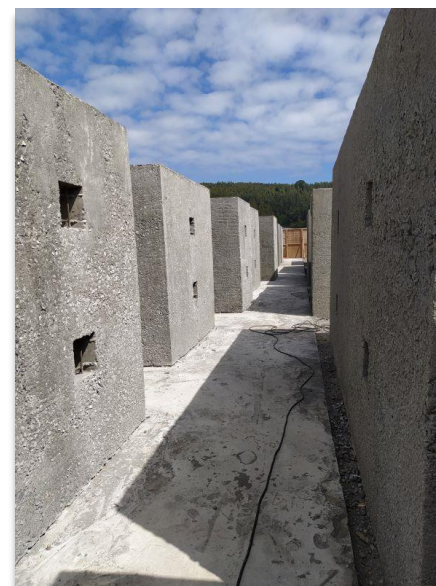
PCorr {100%}	24.0	years
PCorr {50%}	16.0	years
PCorr {10%}	13.0	years

ConcreLife- Service Life Design



Ejemplo de Control

Etapa de
Construcción

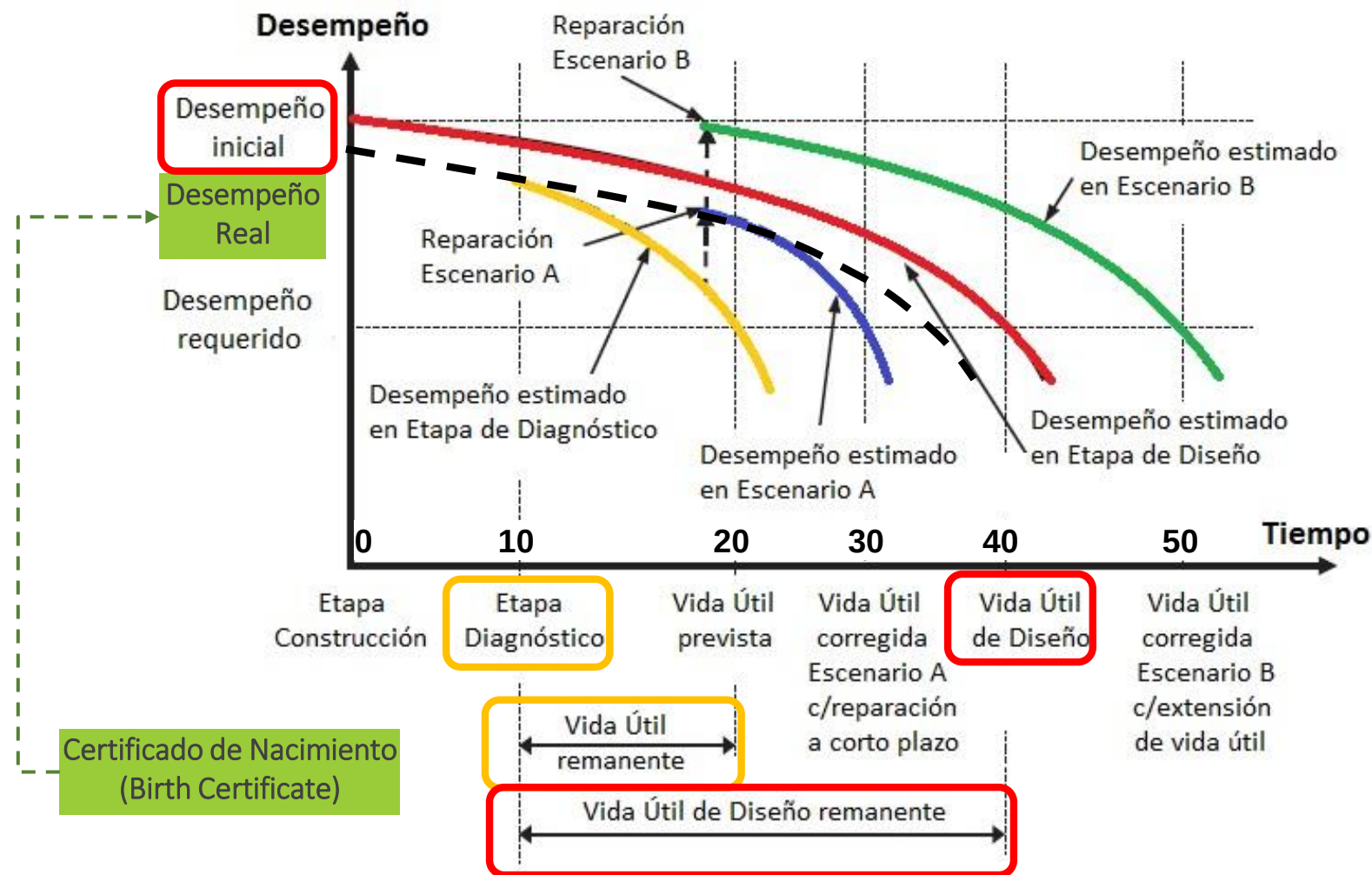


Deterioro de Estructuras en el tiempo

Terminología

- Nivel de Serviciabilidad de una estructura en el tiempo

4.
Entrega de la
Obra y
Operación



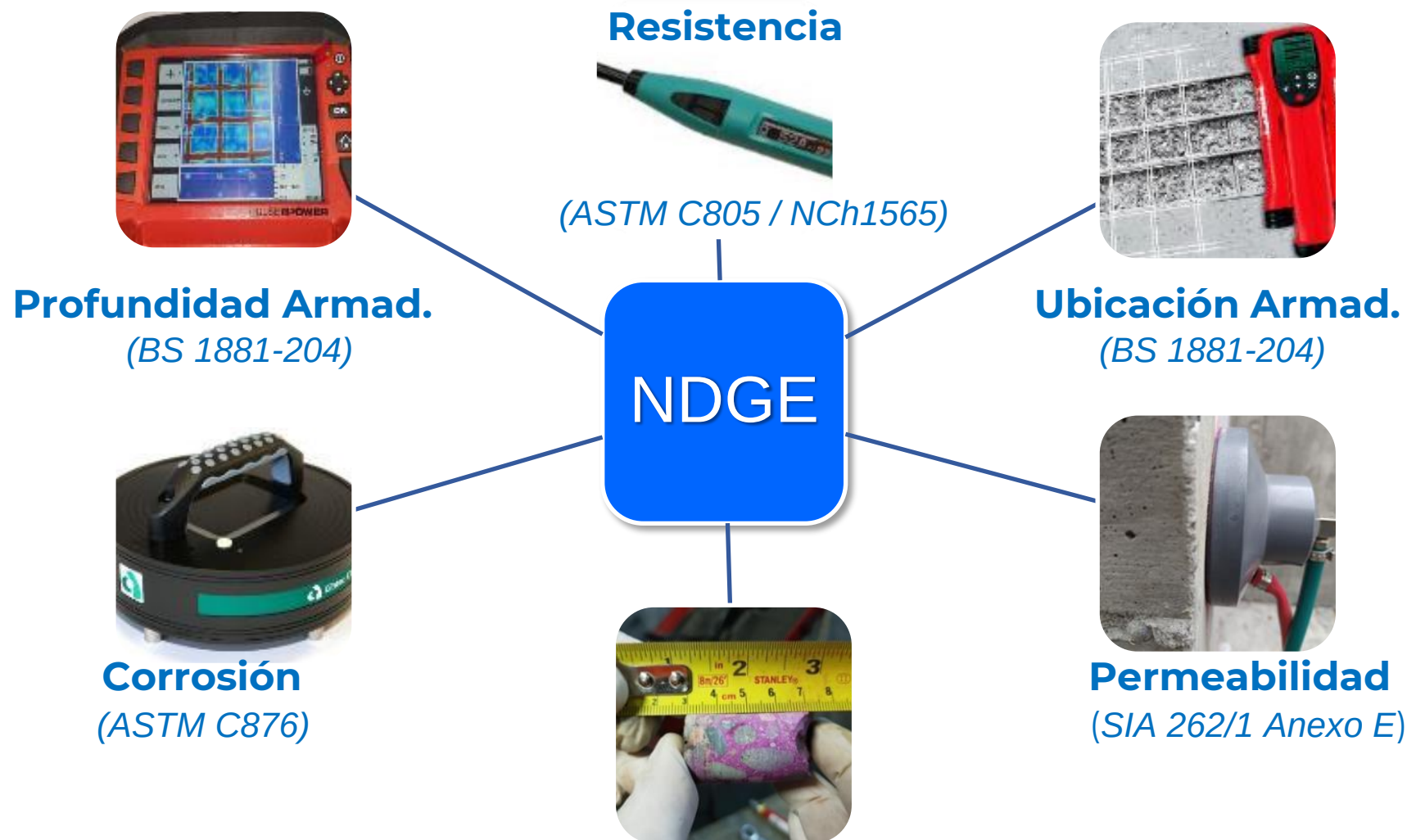
Metodología Integral CTK-ConDiag®

Nivel de Deterioro Global de la Estructura

5.

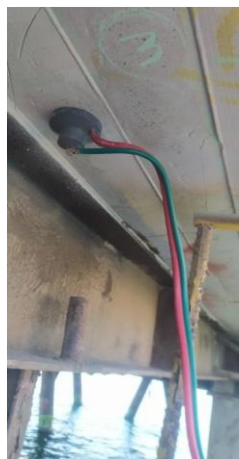
Operación

Diagnóstico



Metodología Integral CTK-ConDiag®

Diagnóstico de Estructura Marítima



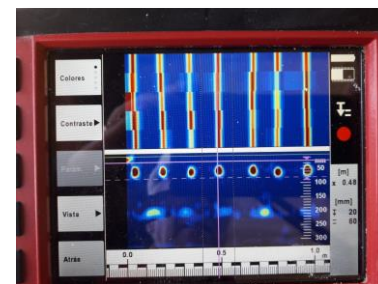
5.
Operación
Diagnóstico

Metodología Integral CTK-ConDiag®

Diagnóstico de Puente Carretero cercano a la costa

5.

Operación
Diagnóstico



DISEÑO POR
VIDA ÚTIL DE
ESTRUCTURAS
MARÍTIMAS EN
HORMIGÓN
ARMADO

Diseño por Vida Útil

Muchas Gracias

Email:

luis.ebensperger@gmail.com

Web:

www.ctk.cl

