



Líderes en
Innovación y
Transferencia
Tecnológica



DISEÑO PRESTACIONAL DE HORMIGONES

Dr. Ing. Luis Fernández Luco

Universidad de Buenos Aires-Facultad de Ingeniería

6 de Marzo de 2019

DISEÑO PRESTACIONAL DE HORMIGONES

LUIS FERNANDEZ LUCO

INDICE DE CONTENIDO

- Objetivos del Curso Web
- ¿Qué es el “Diseño por prestaciones”
- ¿Qué disciplinas en el ámbito de la construcción están incorporando el Diseño por prestaciones?
- Descripción metodológica del diseño prestacional
 - Identificación de requisitos funcionales
 - Trasposición de esos requisitos en propiedades medibles
 - Identificación de técnicas y procedimientos de medida
 - Diseño del procedimiento para asegurar la conformidad con requisitos funcionales

DISEÑO PRESTACIONAL DE HORMIGONES

LUIS FERNANDEZ LUCO

INDICE DE CONTENIDO

- **Objetivos del Curso Web**
- ¿Qué es el “Diseño por prestaciones”
- ¿Qué disciplinas en el ámbito de la construcción están incorporando el Diseño por prestaciones?
- Descripción metodológica del diseño prestacional
 - Identificación de requisitos funcionales
 - Trasposición de esos requisitos en propiedades medibles
 - Identificación de técnicas y procedimientos de medida
 - Diseño del procedimiento para asegurar la conformidad con requisitos funcionales

¿Qué deberíamos saber al terminar este Curso?

- Qué es diseño prestacional
- Cómo se aplica el diseño prestacional al diseño de hormigones
- Qué disciplinas vinculadas a la construcción emplean el recurso del diseño prestacional como un avance sobre los métodos prescriptivo
- Qué ventajas tiene el diseño prestacional sobre otras alternativas
- Qué aspectos metodológicos deben cuidarse para concretar el diseño prestacional de hormigones

¿Qué temas exceden el alcance de este Curso?

- Descripción detallada de métodos y procedimientos de ensayo
- Determinación de incertidumbres, error de repetibilidad y reproducibilidad
- Estadística y construcción de curvas de potencia de muestreo (Curvas OC)

DISEÑO PRESTACIONAL DE HORMIGONES

LUIS FERNANDEZ LUCO

INDICE DE CONTENIDO

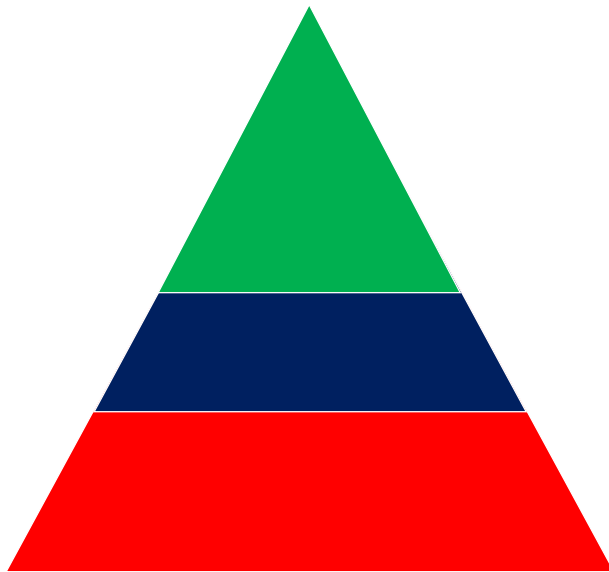
- Objetivos del Curso Web
- ¿Qué es el “Diseño por prestaciones”
- ¿Qué disciplinas en el ámbito de la construcción están incorporando el Diseño por prestaciones?
- Descripción metodológica del diseño prestacional
 - Identificación de requisitos funcionales
 - Trasposición de esos requisitos en propiedades medibles
 - Identificación de técnicas y procedimientos de medida
 - Diseño del procedimiento para asegurar la conformidad con requisitos funcionales

¿Qué son las prestaciones / “ la performance”?

- Las prestaciones o la Performance de una estructura es la **conformidad con los requisitos funcionales** a todas las edades (temprana y durante la vida útil), por ejemplo:
 - Capacidad portante
 - Durabilidad – Corrosión del acero (Penetrabilidad del hormigón – permeabilidad, capilaridad, difusión, tamaño y distribución de fisuras.
 - Deformación (módulo de elasticidad instantáneo, Creep, movimientos originados por cambios de temperature, asentamientos de bases, etc.)
 - Requisitos de habilitación temprana
 - Requisitos especiales de ejecución

FIB (CEB-FIP), Bulletin 34 – *Model Code for Service Life Design*, **fib**, Lausanne, Switzerland, 2006, p. 116

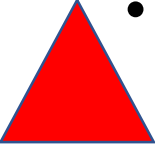
¿Qué es el diseño basado en las prestaciones?



Estructurar especificación y control a través de dichos parámetros

Fijar valores admisibles para esos parámetros

Definición de necesidades y trasposición en parámetros medibles

- 
- El proceso comienza con la identificación de las necesidades funcionales, que pueden involucrar diferentes situaciones. Esta es la base del proceso, que incluye la consulta directa con el “cliente”.
 - Las necesidades se enuncian de manera clara, coloquial, digamos.... Por ejemplo:
 - Debe habilitarse de forma temprana
 - No puede considerarse el bombeo del hormigón porque la tecnología no está disponible
 - Existen exigencias vinculadas con el hormigón visto
 - La posibilidad de mantenimiento futuro será limitada
 - Es crítico disponer de una vida útil superior a los 100 años
 - No se admiten fisuras superiores a los 0,2 mm

Esas “necesidades” se traducen en parámetros “ingenieriles”

- Por ejemplo

- Debe habilitarse a las 24 horas → ¿Qué resistencia necesito?
- No puede considerarse el bombeo del hormigón porque la tecnología no está disponible → ¿Qué consistencia elijo para la ejecución?
- Existen exigencias vinculadas con el hormigón visto → ¿Cómo específico uniformidad de color? ¿Y calidad de encofrados?
- La posibilidad de mantenimiento futuro será limitada → No se puede prever mantenimiento preventivo en el diseño
- Es crítico disponer de una vida útil superior a los 100 años → ¿Qué modelo adopto?
- No se admiten fisuras superiores a los 0,2 mm → ¿En que condiciones las mido? ¿A qué edad? ¿Estructuralmente, cómo las controlo?

Definir los límites de especificación.

- Por ejemplo

- ¿Qué resistencia necesito? → Compresión / Tracción Valor a 24 h
- ¿Qué consistencia elijo para la ejecución? → Método del Tronco de Cono de Abrams $As = 12 \text{ cm}$
- ¿Cómo especifico uniformidad de color? ¿ Y calidad de encofrados? → Material?
¿Desencofrante? ¿Tratamiento de juntas? ¿Uniformidad?
- ¿Qué modelo adopto? → Modelo de vida útil validado / parámetros
- ¿En que condiciones las mido? ¿A qué edad? ¿Estructuralmente, cómo las controlo? → Medición in situ / a los 60 días / % fisuras $> 0,2 \text{ mm}$ será menor al 10 %

- Identificación de parámetros medibles y su técnica de medida.
- Asociado con esto, determinar los límites de especificación (valores de referencia para esos parámetros)
- Por ejemplo
 - Compresión / Tracción Valor a 24 h → ¿Con qué frecuencia mido?
 - Método del Tronco de Cono de Abrams $As = 12 \text{ cm}$ → ¿Frecuencia de muestreo? ¿Recorrido en la tolerancia?
 - ¿Material? ¿Desencofrante? ¿Tratamiento de juntas? ¿Uniformidad?
 - Modelo de vida útil validado / parámetros → ¿Técnica de medición? ¿In situ / laboratorio? ¿Frecuencia?
 - Medición in situ / a los 60 días / % fisuras $> 0,2 \text{ mm}$ será menor al 10 %
→ ¿Cómo identifico los paños para medir? ¿Cómo verifico que el percentil de defectuoso es conforme con la especificación?

VENTAJAS

- Se prescinde de “recetas” o medidas prescriptivas asociadas con un “presunto desempeño”.
- Esta situación da mayor libertad en la búsqueda de soluciones, valorizando el know-how y alentando la innovación tecnológica.
- La verificación de la conformidad se realiza de forma armónica con la especificación, porque se apoyan en los mismos parámetros medibles.

Nota: cuando se limita la relación a/c por durabilidad, se determinan condiciones para la “dosificación” de la mezcla a emplear, pero después no se mide la relación a/c efectiva en obra. Esto es falta de armonización entre especificación y control

DISEÑO PRESTACIONAL DE HORMIGONES

LUIS FERNANDEZ LUCO

INDICE DE CONTENIDO

- Objetivos del Curso Web
- ¿Qué es el “Diseño por prestaciones”
- ¿Qué disciplinas en el ámbito de la construcción están incorporando el Diseño por prestaciones?
- Descripción metodológica del diseño prestacional
 - Identificación de requisitos funcionales
 - Trasposición de esos requisitos en propiedades medibles
 - Identificación de técnicas y procedimientos de medida
 - Diseño del procedimiento para asegurar la conformidad con requisitos funcionales

Disciplinas en el ámbito de la construcción que están incorporando el Diseño por prestaciones

- La “resistencia a la compresión” del hormigón
- El diseño por durabilidad del hormigón
- El diseño de estructuras sismorresistentes – Ing. geotécnica
- El diseño arquitectónico
- El diseño de estructuras contra fuego

Resistencia del hormigón

Parámetro medible: la resistencia del hormigón

Técnica de medida: compresión en probetas cilíndricas, moldeo y curado estándar

Valor especificado: Un hormigón H30, tiene 30 MPa de valor de especificación – Valor característico con valor deseable de hasta 10 % de defectuosos.

Frecuencia de muestreo: 1 muestra por elemento estructural / 1 muestra cada 50 m³ / 100 m³) según Reglamento y tipo de obra.

Condición de aceptación: (según sea Modo I o Modo II)

Requisitos para valores individuales

Requisitos para la media móvil

ESPECIFICO Y MIDO EL MISMO PARÁMETRO-

Baso la aceptación en la medida efectiva de la prestación (no importa la composición / dosificación del hormigón)

Diseño por Durabilidad

- En diferentes países, se van introduciendo modelos
 - mixtos prescriptivos – prestacionales (CIRSOC 201) donde se combinan estos criterios de manera complementaria, sin que el Reglamento sea capaz de indicar prelación alguna.
 - Prestacionales – Norma Suiza Norma Suiza **SIA 262/1: 2013**. Construcción en Hormigón. Ensayos de Desempeño
- Aparecen propuestas tales como
 - Performance-based Testing Methodology for Concrete Durability, Aut: Niall Holmes et al.
 - Guideline for service life design of structural concrete - A performance based approach with regard to chloride induced corrosion
 - Performance Based Design for Durability - The Durability Index (DI) Approach (South Africa – M. Alexander; H. Beushausen et al.)

El diseño de estructuras (sismo, viento, geotécnica)

- ACI Committee 374 'Performance-Based Seismic Design of Concrete Buildings
- Performance-based Design: An Approach towards Safer, Reliable Structures – Anwar (Asian Institute of Technology)
- Nonlinear Soil–Abutment–Bridge Structure Interaction for Seismic Performance-Based Design - Anoosh Shamsabadi et al.
- Performance-based wind design of tall buildings - Francesco Petrini & Marcello Ciampoli

El diseño arquitectónico y de seguridad al fuego

- Why performance based design is the future of architecture – Sefaira
- Performance-Based Approach to Fire Safety Design

DISEÑO PRESTACIONAL DE HORMIGONES

LUIS FERNANDEZ LUCO

INDICE DE CONTENIDO

- Objetivos del Curso Web
- ¿Qué es el “Diseño por prestaciones”
- ¿Qué disciplinas en el ámbito de la construcción están incorporando el Diseño por prestaciones?
- **Descripción metodológica del diseño prestacional**
 - Identificación de requisitos funcionales
 - Trasposición de esos requisitos en propiedades medibles
 - Identificación de técnicas y procedimientos de medida
 - Diseño del procedimiento para asegurar la conformidad con requisitos funcionales

Descripción metodológica

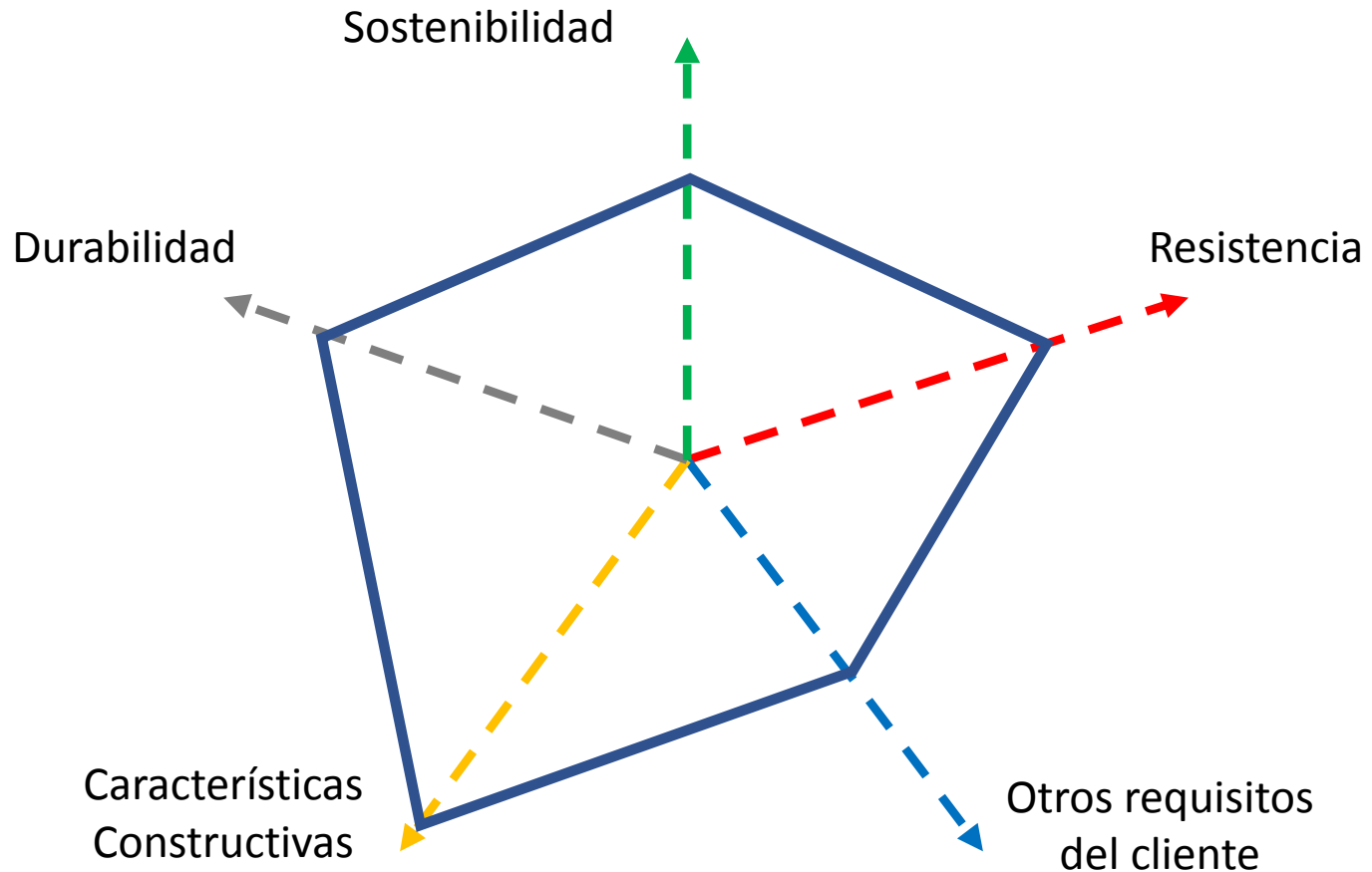
Identificación de requisitos funcionales

- Los requisitos funcionales pueden incluir conceptos de construcción sostenible (limitar residuos, limitar energía embebida, inducir el uso de material reciclado, limitar emisiones asociadas, etc.), así como aspectos asociados con requisitos del cliente (estilo, modelo corporativo, etc.)
- Estos requisitos se establecen como principios rectores del diseño *sin que sea posible establecer límites de especificación en esta etapa*.
 - ¿Qué se pretende con la estructura –Cuál es el destino?
 - ¿Qué vida útil sería razonable esperar?
 - ¿Cuáles son los riesgos asociados con fallos en la performance?
 - ¿Qué deformaciones son aceptables?
 - ¿Qué tecnologías hay disponibles? (concepto BAT)?
 - ¿Qué mantenimiento es previsible para la estructura?

Identificación de requisitos funcionales

- La envolvente de estos requisitos asegura que todos ellos se cumplan de manera simultánea, pudiendo armonizar diferentes aspectos:
 - durabilidad
 - resistencia
 - Sostenibilidad
 - Etc.,
- La determinación de las condiciones más severas, en cada caso, van a condicionar la posición de la envolvente, asegurando la satisfacción de los requisitos del cliente, reglamentarios, de seguridad, de durabilidad, de sostenibilidad global, etc.
- Como ejemplo geométrico, la envolvente será el polígono que satisface los requisitos y los vértices de ese polígono determinarán los puntos críticos que integraran las especificaciones y sobre las que se basa el control.

a) Identificación de requisitos funcionales - Armonización



DISEÑO PRESTACIONAL DE HORMIGONES

LUIS FERNANDEZ LUCO

Trasposición de esos requisitos a parámetros medibles

- Resistencia - La compresión es un indicador de la calidad
- Sostenibilidad – Emisiones de CO₂ equivalente – Energía embebida - % de Clinker – Uso de agregados locales – Uso de agregados reciclados – Durabilidad (vida útil) -
- Durabilidad – Vida útil esperada (años), Estado límite de durabilidad – Indicador de durabilidad – Modelo de vida útil
- Características constructivas: condiciones de ejecución – plazos de habilitación – logística disponible
- Otros requisitos del cliente: textura, color, tipologías, etc.

Ejemplos de trasposición a parámetros medibles

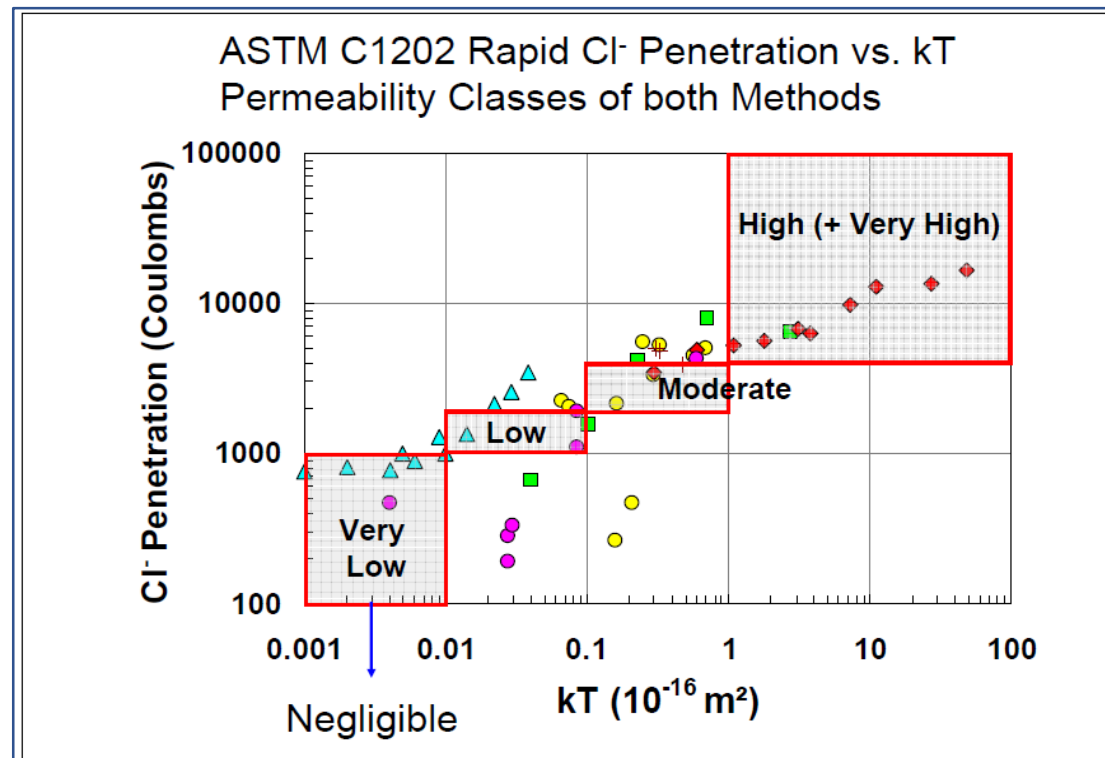
- Resistencia mecánica
- Compresión en cilindros
- Compresión en cubos
- Tracción indirecta
- Módulo de elasticidad
- Velocidad de pulso ultrasónico
- Penetrabilidad
- Permeabilidad / difusión / succión capilar
- Estabilidad volumétrica
- Retracción en prismas
- Transmitancia térmica
- Placa caliente / hilo conductor

DISEÑO PRESTACIONAL DE HORMIGONES

LUIS FERNANDEZ LUCO

Capacidad de transporte de fluidos como indicadores de durabilidad

Están asociados con la capacidad de transporte de fluidos por parte del hormigón (permeabilidad, difusión, capilaridad, migración)



Fuente: Materials Advanced Services

Identificación de técnicas / métodos de medida

Cada uno de los parámetros está asociado con uno o más métodos de medida, con distintos niveles de aplicación:

Ensayos de precalificación (Ensayo de laboratorio) (por ejemplo, “fórmula de obra” en obras viales.)

Ensayo de control en laboratorio

Ensayo de control in situ

Cada uno de los métodos de medida ofrece características propias en lo que respecta a su función de densidad (parámetro estadístico) y es importante conocerlas. (Distribución Normal, logNormal, etc.)

Identificación de técnicas / métodos de medida

Concepto probabilístico de las estimaciones

Lo anterior nos introduce de lleno en aspectos estadísticos, y a la adopción de un nivel de “riesgo” que es posible asumir.

Desaparece esa idea “determinista” en la que los valores no ofrecen incertidumbre alguna y parece que se cuenta con total exactitud.

Conceptos como “riesgo”, “confiabilidad”, “incertidumbre”, “probabilidad”, “nivel de significación”, etc. pasan a formar parte de las evaluaciones habituales.

Identificación de técnicas / métodos de medida

Incertidumbre de las medidas

Aún cuando fuese deseable considerar a los “límites de especificación” como valores deterministas (representan un objetivo de referencia), es necesario recordar que toda medida lleva asociada una incertidumbre.

El conocimiento de la incertidumbre (error de repetibilidad / reproducibilidad) es esencial para el uso de los diferentes métodos de medida y, en particular, **DEBE TENERSE ESPECIAL CUIDADO** porque el hormigón **REPRESENTA UNA MATRIZ MUY VARIABLE**.

La variabilidad de la matriz con frecuencia “enmascara” la incertidumbre propia de los métodos de medida.

c) Identificación de técnicas / métodos de medida

Aplicación in situ - Influencia de preacondicionamiento

No todas las técnicas de medida pueden aplicarse in situ, pero aún cuando así resultase, debe tenerse especial cuidado en la variación de los resultados inducidos por el contenido de humedad / temperatura del material.

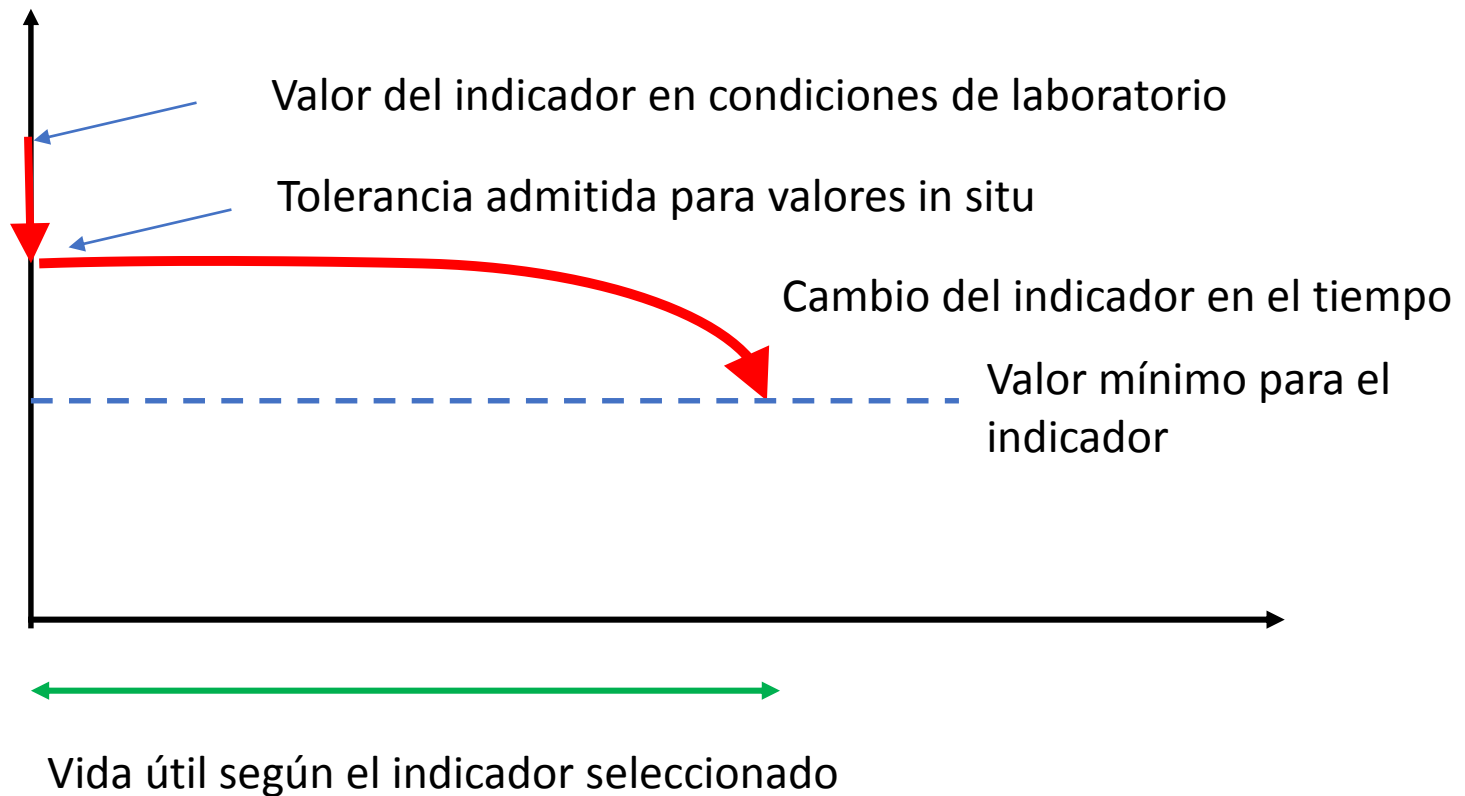
Con frecuencia, se establecen límites más estrictos en condiciones de laboratorio para que, en situaciones de obra, con menos posibilidades de adecuación, se verifiquen las pautas adoptadas.

DISEÑO PRESTACIONAL DE HORMIGONES

LUIS FERNANDEZ LUCO

Identificación de técnicas / métodos de medida

Medidas en laboratorio / medidas in situ



Identificación de técnicas / métodos de medida

Identificación del Límite de especificación

Es necesario identificar un “estado límite” y un valor “asociado” con ese estado límite.

Este valor es el límite de especificación y sirve de parámetro de referencia. Puede llevar asociado un nivel de probabilidad (¿10 % de defectuosos admitidos?). Este límite va asociado con el método de medida (la técnica empleada).

Por ejemplo, en aplicaciones viales, es frecuente diseñar el hormigón a partir de un cierto valor de “módulo de rotura en flexión”. Este módulo de rotura se “traspone” en un valor de compresión que permite emplear los ábacos y curvas de diseño.

Diseño del muestreo / verificación de la conformidad

Criterio de aceptación / rechazo

El control se apoyará en el método experimental asociado con el “límite de especificación”, situación que automáticamente armoniza Especificación y Control.

Aparecen entonces distintos aspectos que considerar a la hora de definir:

Muestreo / tipo / frecuencia

Balance de riesgos (productor / consumidor)

Diseño del muestreo / verificación de la conformidad

Tipo de muestreo / toma de decisiones

El muestreo puede hacerse en diferentes situaciones (material bruto, material colocado, obra finalizada, etc.) y los ensayos deben aportar información suficiente para tomar acciones, por ejemplo:

- Verificación de la conformidad
- Asignación de responsabilidades
- Determinar la necesidad de acciones preventivas / correctivas
- Validar procedimientos de Rehabilitación / mantenimiento

DISEÑO PRESTACIONAL DE HORMIGONES

LUIS FERNANDEZ LUCO

Verificación de la conformidad / Riesgos asociados

		Qué se infiere de los ensayos	
		Conforme	No conforme
Situación real	Conforme	OK	X Riesgo del productor
	No conforme	X Riesgo del consumidor	OK

Toma de decisiones / verificación de la conformidad

Criterio de aceptación / rechazo

Tipo de muestreo / toma de decisiones

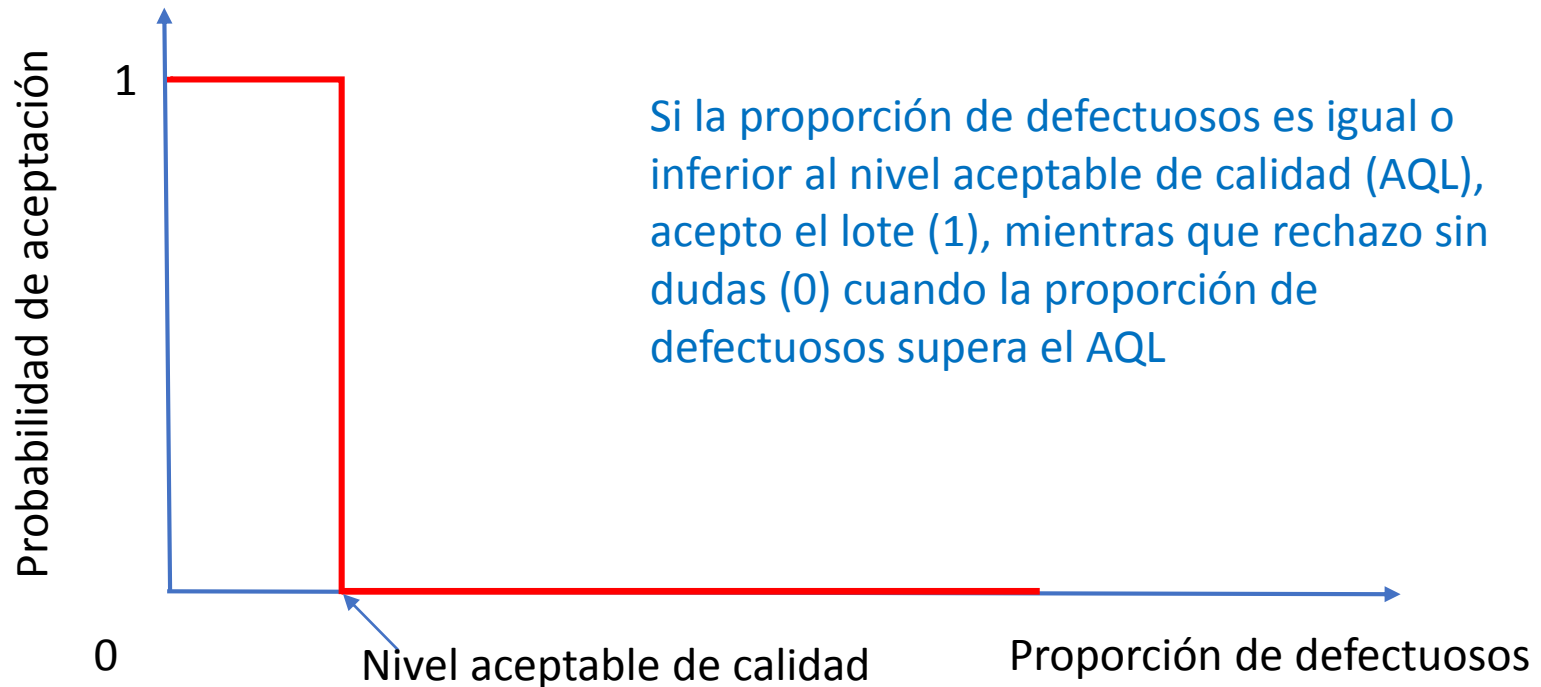
El muestreo lleva asociada cierta incertidumbre... porque a partir de un número finito de muestras se infiere sobre el lote de población que la muestra representa.

La estadística del muestreo y la incertidumbre asociada se suele representar en una gráfica que se llama “curva de potencia” o “curva de Operación Característica” (OC)

Esta curva permite identificar el riesgo del consumidor de aceptar un lote defectuoso y el riesgo del productor de que se le rechace un lote conforme.

Toma de decisiones / verificación de la conformidad

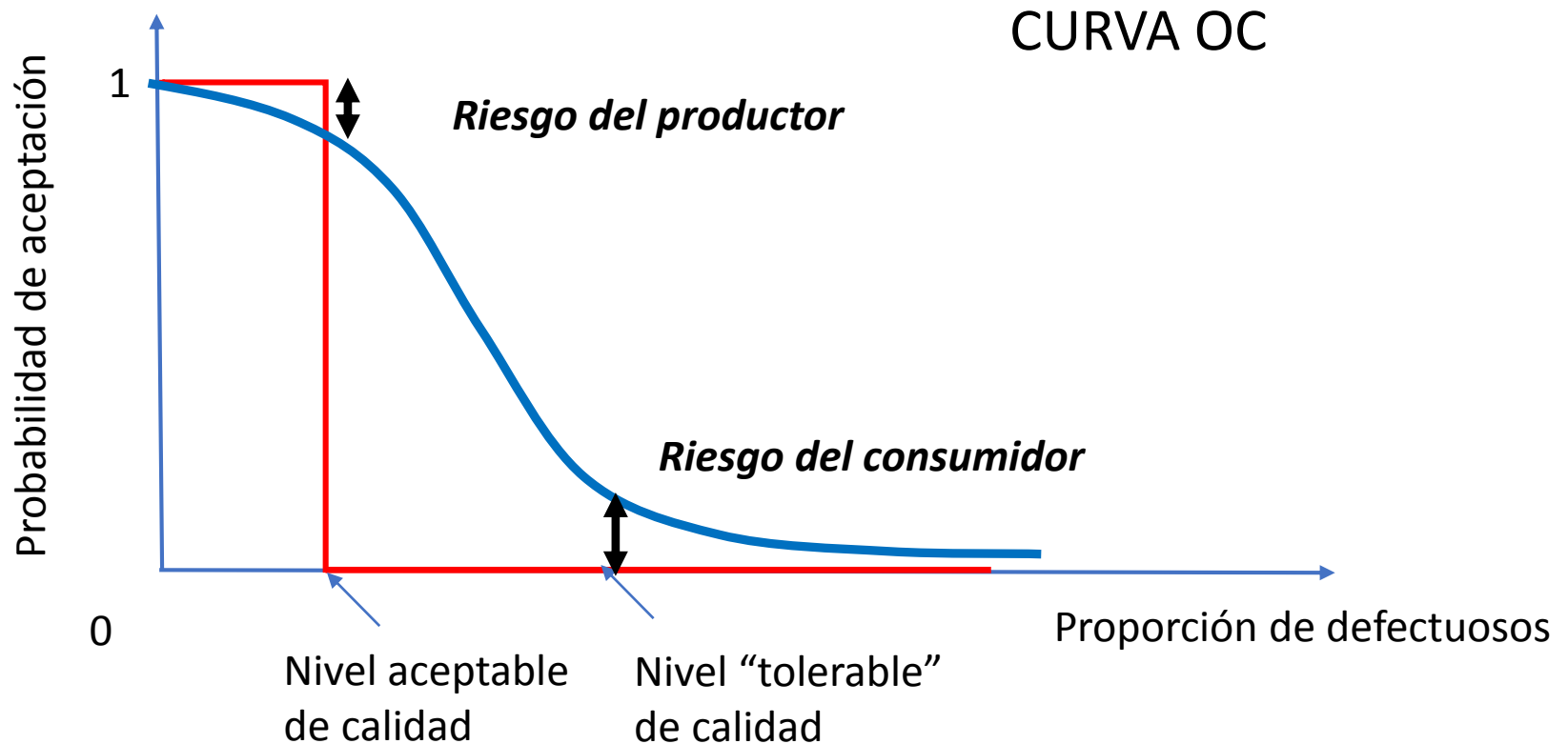
Curva ideal para la toma de decisiones



DISEÑO PRESTACIONAL DE HORMIGONES

LUIS FERNANDEZ LUCO

Toma de decisiones / verificación de la conformidad



Toma de decisiones / verificación de la conformidad

Integración del autocontrol con el control de recepción

En el control de la conformidad de productos, según ISO, hay tres tipos básicos: el control de tipo, control de lote y control tipo 5, que permite que los resultados de control de lote se hagan extensivos a la producción.

Este tipo de control integra tanto el control de producción (que hace el productor para conocer su proceso) con el control externo (o control a cargo de la inspección).

Esta modalidad permite optimizar fuertemente los recursos y bajar costos, manteniendo la seguridad para el usuario. Aparecen conceptos como “ensayos de identidad” que validan los resultados del autocontrol (Caso de los cementos y aceros de producción nacional)

CONCLUSIONES

- La tendencia hacia procedimientos de diseño basados en la performance es irreversible.
- Es necesario comprender cabalmente TODO lo que esto implica. No es suficiente disponer de ensayos que valoren una prestación, sino que deben cumplirse todos los pasos descriptos previamente
- El conocimiento de la estadística de los métodos y la influencia del acondicionamiento de las muestras sobre los resultados es esencial
- La situación que condiciona las decisiones a determinado nivel de riesgo debe constituirse en una rutina, evitándose enfoques deterministas.

CONCLUSIONES

- Los métodos, sus correlaciones y la validación contra la evidencia experimental a largo plazo son esenciales para aportar exactitud a las decisiones
- El fortalecimiento de los profesionales en temas asociados con incertidumbre, riesgo de las decisiones, distribuciones de probabilidad y su manejo conceptual es deseable
- Es posible transitar caminos mixtos prescriptivos-prestacionales hasta tanto se disponga de suficiente experiencia y se hayan validado los nuevos métodos de medida



Líderes en
Innovación y
Transferencia
Tecnológica



MUCHAS GRACIAS

DISEÑO PRESTACIONAL DE HORMIGONES

Dr. Ing. Luis Fernández Luco

lfdezluco@fi.uba.ar ; lfdezluco@gmail.com