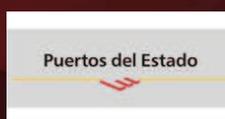




## REHABILITACIÓN ESTRUCTURAS MARÍTIMAS DE HORMIGÓN. CASO MUELLE DEL CENTENARIO

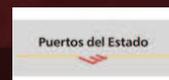
**Victoria Bajo González**

jefa división proyectos y obras



### ÍNDICE:

1. ESTRUCTURAS MARÍTIMAS DE HORMIGÓN.
2. CORROSIÓN
3. MUELLE CENTENARIO NORTE
4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS.
5. CONCLUSIONES



# 1. ESTRUCTURAS MARÍTIMAS DE HORMIGÓN

## INTRODUCCIÓN

El hormigón armado es un material empleado habitualmente en las obras marítimas. Motivos:

- Versatilidad: piezas de cualquier forma
- Resistencia: elevada resistencia mecánica a compresión
- Durabilidad
- Económico: materiales abundantes y baratos

CORROSIÓN

↓  
VIDA ÚTIL

## TIPOS DE ESTRUCTURAS

- Muelle de pilotes
- Diques verticales, flotantes
- Cajones
- Canales, esclusas



# 1. ESTRUCTURAS MARÍTIMAS DE HORMIGÓN

## IDENTIFICACIÓN DE ZONAS SOMETIDAS A DIFERENTES AMBIENTES

mayor riesgo de corrosión



## 2. CORROSIÓN

**CAPA PASIVANTE:** durante la hidratación del cemento se libera hidróxido de calcio (PORTLANDITA). Otorga carácter básico al hormigón ( $\text{pH} \geq 12,5$ ). El acero se cubre con una capa de óxido continua y compacta.

El acero está protegido frente a la corrosión

CÓMO SE PRODUCE LA CORROSIÓN ENTONCES?

- Ión cloruro ( $\text{Cl}^-$ )
- Anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ )

Destruyen la **CAPA PASIVANTE** que protege las armaduras

## 2. CORROSIÓN

Una vez despasivado el acero

IMPRESCINDIBLES



**CORROSIÓN**

Proceso según el cual los metales pasan de su estado elemental a su estado combinado (generalmente con  $\text{O}_2$ ) de origen que presentan en la naturaleza.

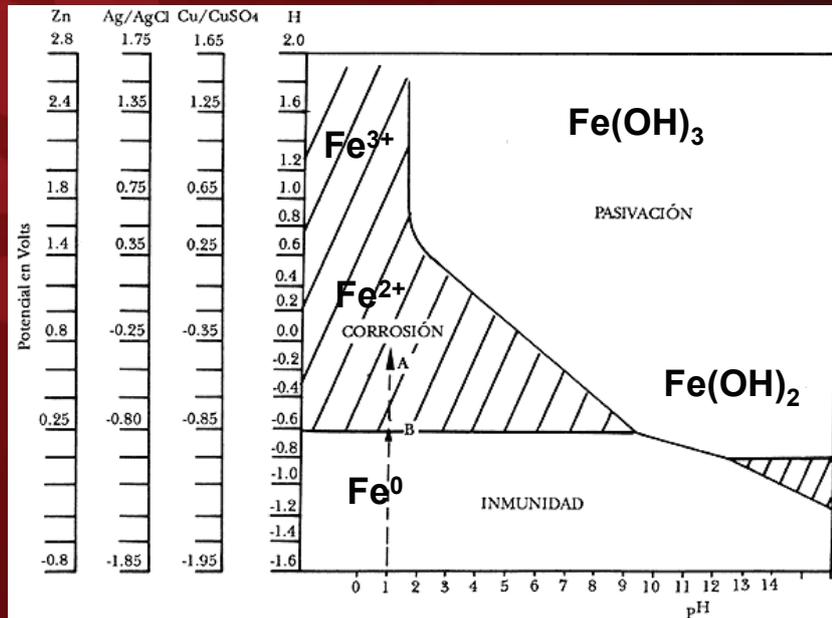
termodinámicamente inevitable

**EQUILIBRIO**



## 2. CORROSIÓN

**Diagrama de Pourbaix:** indicador de corrosión para cada metal en función del pH y del potencial del medio.



## 2. CORROSIÓN

### TIPOS DE CORROSIÓN

Ión cloruro Cl<sup>-</sup> →

CORROSIÓN LOCALIZADA

CORROSIÓN POR PICADURA

penetran desde el exterior  
por absorción capilar

Anhídrido carbónico CO<sub>2</sub> →

CORROSIÓN GENERALIZADA

CARBONATACIÓN

## 2. CORROSIÓN

### CORROSIÓN LOCALIZADA: por PICADURA

El ión cloruro penetra en el hormigón a través de la **red de poros**, y avanza por difusión.

2 estados posibles:

- **Cloruro libre**: permanece disuelto en el agua que contienen los poros.
- **Cloruro ligado**: se une a las fases sólidas del hormigón. ADSORCIÓN. **no penetra hacia el interior.**

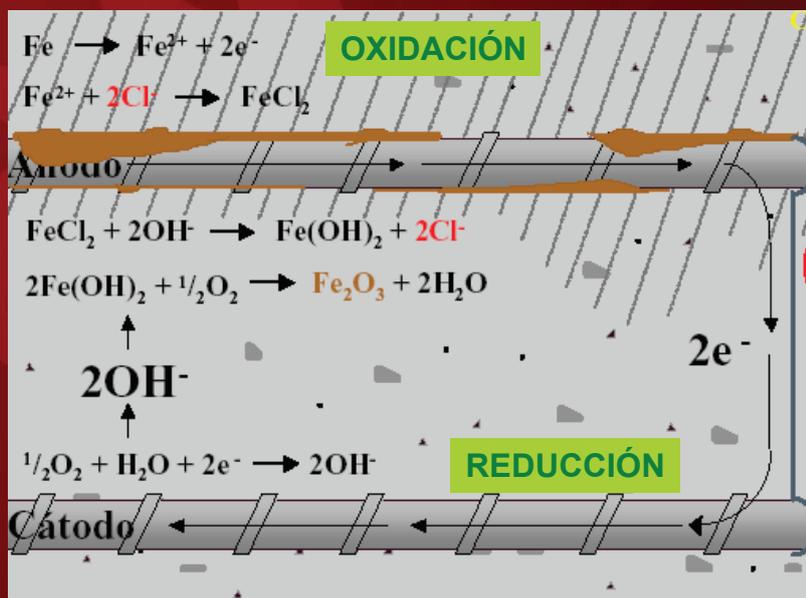
Producto de la evaporación del agua sobrante en el fraguado.

RELACIÓN  
AGUA-CEMENTO

RESPONSABLE  
DE LA  
CORROSIÓN

## 2. CORROSIÓN

### CORROSIÓN LOCALIZADA: por PICADURA



Si  $[\text{Cl}^-] \geq 0,4\%$  peso cemento (concentración crítica)

↓  
Despasivado LOCAL

↓  
**CORROSIÓN**

ÁNODO: picadura  
CÁTODO: barra pasivada  
CONDUCTOR METÁLICO: barra  
ELECTROLITO: agua  
OXÍGENO

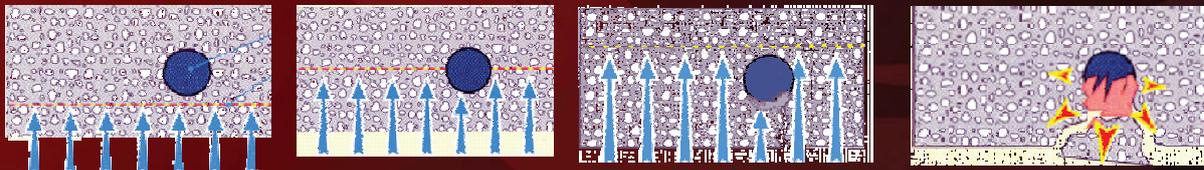
## 2.CORROSIÓN

### CORROSIÓN GENERALIZADA: CARBONATACIÓN

Ataque UNIFORME en toda la superficie del acero debido a un descenso de alcalinidad , provocado por la presencia de  $\text{CO}_2$ , que rompe la capa pasiva.



↓ pH



## 2.CORROSIÓN

### CORROSIÓN GENERALIZADA: CARBONATACIÓN

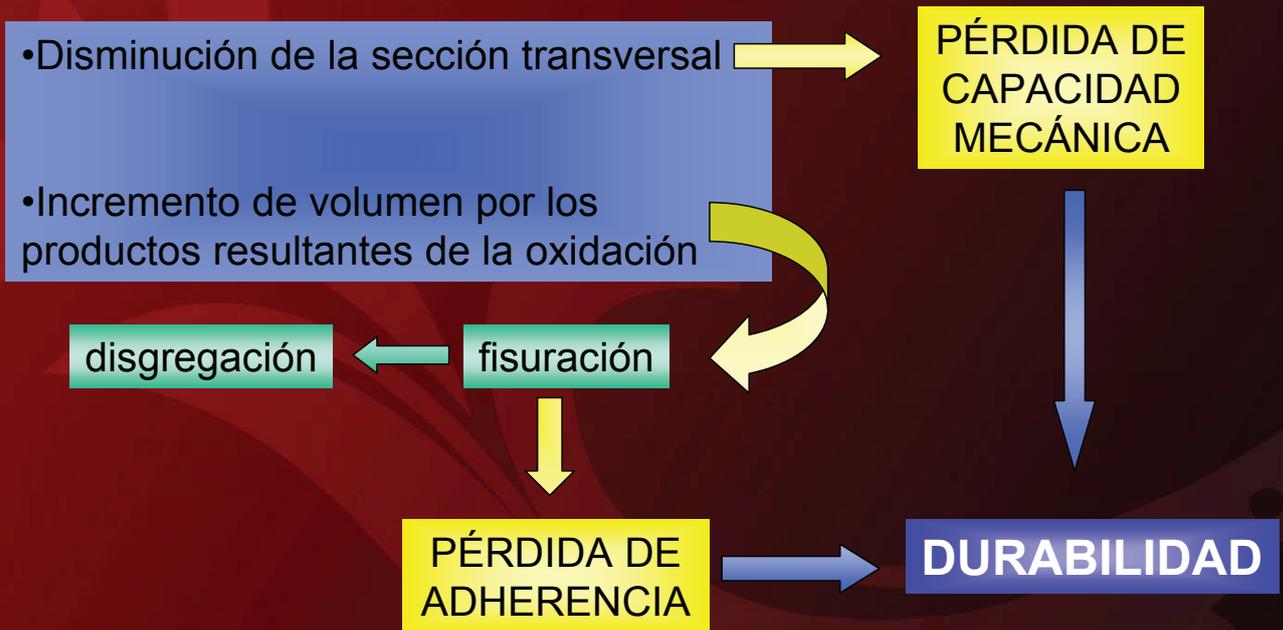
- **Período de incubación:** penetración del frente de carbonatación desde el exterior hasta la armadura.
- **Período de propagación:** tiempo necesario para que la corrosión de la armadura alcance las 100µm de profundidad.

Proceso lento,  
frente de avance  
con pH=9



## 2. CORROSIÓN

### EFECTOS DE LA CORROSIÓN



## 2. CORROSIÓN

### FACTORES ACELERANTES DE LA CORROSIÓN

1. Contenido de humedad:  $\downarrow$  humedad  $\Rightarrow$   $\uparrow$  resistividad
2. Proporción de cloruros:  $\uparrow$  [Cl<sup>-</sup>]  $\Rightarrow$   $\uparrow$  despasivación  
 $\uparrow$  velocidad corrosión
3. Temperatura:  $\uparrow$  temperatura  $\Rightarrow$   $\uparrow$  velocidad corrosión  
 $\downarrow$  temperatura  $\Rightarrow$   $\uparrow$  humedad
4. Macropares galvánicos

## 2. CORROSIÓN

### CAUSAS PRINCIPALES DE CORROSIÓN

- Dosificación inadecuada de los componentes del hormigón: porosidad
- Ejecución incorrecta: falta de recubrimiento, coqueras..
- Curado y vibrado deficientes
- Fallos de diseño, grietas y fisuras
- Ataques por productos químicos procedentes de los buques



Muelle Centenario Norte  
recubrimiento insuficiente



## 3. MUELLE CENTENARIO NORTE

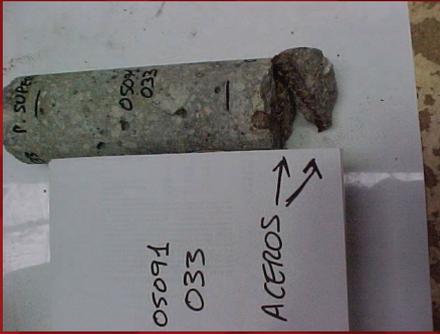
### CARACTERÍSTICAS:

- Finalizado a principios de los 80.
- 9 plataformas independientes de 28,95 m de ancho y 62 m de longitud en 7 de ellas y 53 m en las 2 restantes ( $L_{total} = 540$  m)
- Cuadrícula de vigas cargadero de canto 1,90 m en las que se apoyan losas de hormigón armado de 40 cm de canto.
- Pilotes de 1,80 m de diámetro.



### 3. MUELLE CENTENARIO NORTE

#### ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS: LABORATORIO



Se extrajeron testigos y se realizaron ensayos:

1. Hormigón:
  - a. Resistencia a compresión
  - b. Profundidad de carbonatación
  - c. Contenido de sulfatos
  - d. Contenido de cloruros
  - e. Absorción de agua
2. Acero

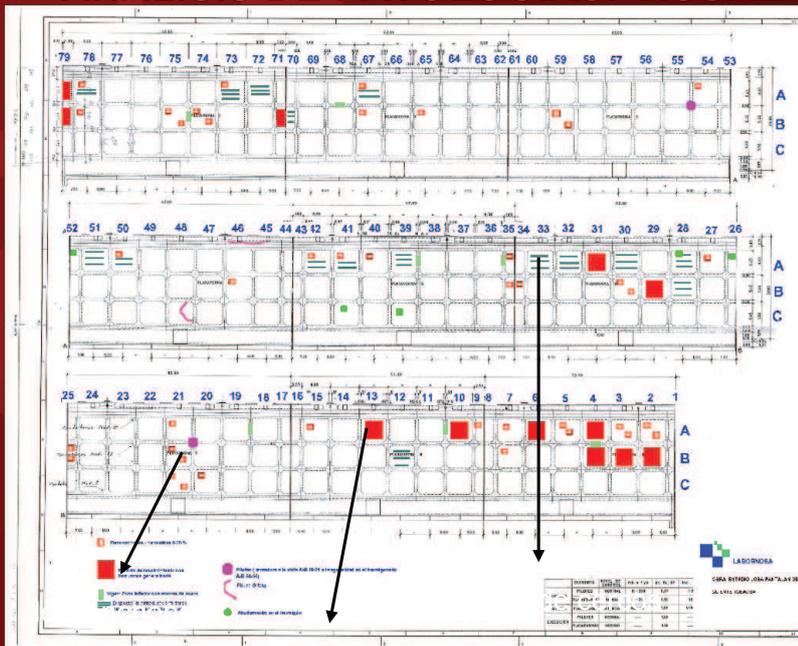
#### CONCLUSIONES:

1. Resistencias a compresión  $\geq 390 \text{ kg/cm}^2$
2. No se detecta carbonatación
3. Contenido sulfuros medio
4. Contenido de cloruros alto
5. Absorción del hormigón entre media y alta



### 3. MUELLE CENTENARIO NORTE

#### ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS: VISUAL



pérdida de recubrimiento

#### CONCLUSIONES:

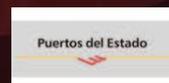
1. Losas:
  - a. Pérdida de recubrimiento en cara inferior.
  - b. Armadura vista con corrosión y pérdida de sección
  - c. Agrietamiento y fisuras
  - d. Marcado de armadura
  - e. Abollamientos en el hormigón
2. Pilotes:
  - a. Armadura a la vista en coronación pilote.
  - b. Irregularidades hormigón
3. Vigas:
  - a. Marcado de cercos por recubrimientos escasos

### 3. MUELLE CENTENARIO NORTE

#### REPORTAJE FOTOGRÁFICO ESTADO PREVIO



Fase I de la corrosión:  
MANCHAS DE ÓXIDO VISIBLES EN EL HORMIGÓN



### 3. MUELLE CENTENARIO NORTE

#### REPORTAJE FOTOGRÁFICO ESTADO PREVIO



Fase II de la corrosión:  
MARCADO DE ARMADURAS EN EL HORMIGÓN



### 3. MUELLE CENTENARIO NORTE

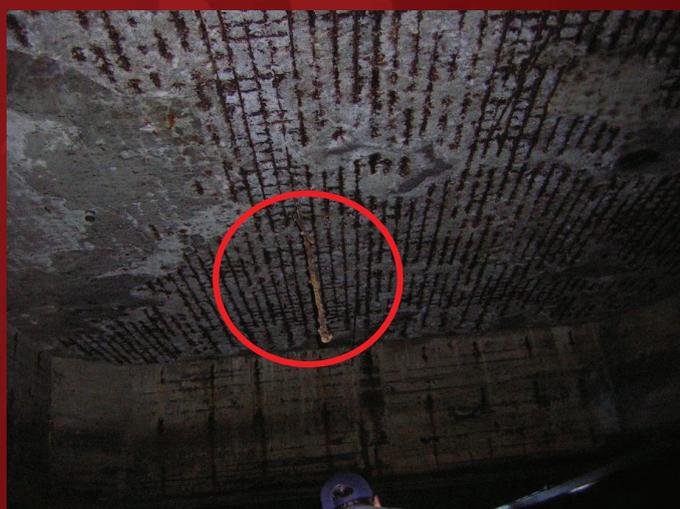
#### REPORTAJE FOTOGRÁFICO ESTADO PREVIO



Fase III de la corrosión:  
PÉRDIDA DE RECUBRIMIENTO DEL HORMIGÓN

### 3. MUELLE CENTENARIO NORTE

#### REPORTAJE FOTOGRÁFICO ESTADO PREVIO



Fase IV de la corrosión:  
PÉRDIDA DE SECCIÓN DE LA ARMADURA

## 4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

La reparación de las estructuras de hormigón sigue los siguientes pasos:

1. Retirada de los materiales disgregados o fisurados.
2. Protección de armaduras (pasivación)
3. Regeneración con morteros preparados
4. Revestimiento con morteros preparados



MINISTERIO DE FOMENTO

## 4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

### MEDIOS AUXILIARES EMPLEADOS



## 4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

### LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE

Eliminar del hormigón las partes quebradizas o disgregadas, el material suelto, la suciedad, los aceites, grasas y restos de pinturas, el hormigón carbonatado.



## 4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

### SANEO DE HORMIGÓN Y ARMADURAS

Eliminar el hormigón deteriorado mediante repicado manual o mecánico de baja potencia con el fin de obtener una **superficie rugosa y cohesiva** para garantizar la adherencia de los morteros de regeneración.

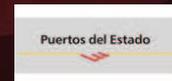
Sanear hasta una profundidad del diámetro de la barra por detrás de ella



## 4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

### SANEO DE HORMIGÓN Y ARMADURAS

#### MUELLE CENTENARIO NORTE



MINISTERIO DE FOMENTO

## 4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

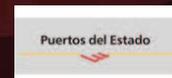
### PASIVADO DE LA ARMADURA

Revestimiento anticorrosivo de la armadura a base de resinas sintéticas, cemento Portland y árido fino.

Se aplica con brocha sobre la armadura.



2 capas



MINISTERIO DE FOMENTO

## 4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

### PASIVADO DE LA ARMADURA

#### MUELLE CENTENARIO NORTE



## 4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

### APLICACIÓN DE MORTERO DE REGENERACIÓN

Aplicación de un mortero especial para reparaciones, de fraguado rápido, con espesor entre 4 y 40 mm.

Es importante una superficie rugosa: ADHERENCIA y saturada de AGUA



manual

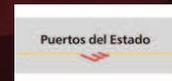


proyectado

## 4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

### APLICACIÓN DE MORTERO DE REGENERACIÓN

#### MUELLE CENTENARIO NORTE



## 4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

### APLICACIÓN DE INHIBIDOR DE CORROSIÓN

Se impregna sobre la superficie del hormigón y penetra por difusión hasta alcanzar las armaduras, protegiéndolas con una capa pasivante.

Preferiblemente con **aminocarboxilatos**

- Se extiende 1 sola capa
- No ataca a la carpintería de aluminio
- No está regulada su exposición
- No contiene sales de nitrito



## 4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

### REFUERZO ESTRUCTURAL FIBRA DE CARBONO

En aquellas zonas donde la pérdida de sección de la armadura es considerable se refuerzan con un laminado de resina epoxy reforzada con fibras de carbono.

Gran resistencia a tracción.

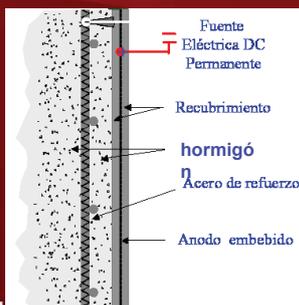
Se pega a la estructura mediante un adhesivo de resina epoxy.



## 4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

### SISTEMAS DE REPARACIÓN COMPLEMENTARIOS:

- Sistemas de protección catódica:** llevar a las armaduras embebidas en el hormigón a un potencial tal que no pueda tener lugar la corrosión (zona de inmunidad de los diagramas de Pourbaix)
  - Sistemas de corriente impresa: FUENTE EXTERNA DE CORRIENTE CONTINUA
  - Sistemas galvánico: ÁNODOS DE SACRIFICIO
- Extracción electroquímica de cloruros:** mediante corriente se hace migrar a los cloruros a un ánodo situado en superficie.



## 4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

MEJORA PROPUESTA POR LA EMPRESA ADJUDICATARIA



Inclusión de ÁNODOS DE SACRIFICIO de Zinc: protección catódica



Se conectan con soldadura en frío y permite controlar los futuros avances de la corrosión y verificar el funcionamiento de los inhibidores



## 4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

ENCAPSULADO DE PILAS Advanced Pile Encapsulation (APE)



### 1. Camisa

- Fibra de vidrio y poliéster
- Traslúcida
- Espesor mínimo 3mm
- Absorción de agua < 1%
- Resistente a UV

### 3. Sellado

Compuesto de sellado para unir costuras entre camisas y topes superior e inferior

### 2. Grout

- Sistema epóxico compuesto de:
  - Resina epoxi
  - Endurecedor
  - Sílice en polvo (relleno)
- Válido para encapsulados en tierra y bajo mar
- Excelente adherencia a soportes húmedos



## 4. TRABAJOS DE REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

### Proceso

- Limpieza de la superficie
- Colocación de la camisa reforzada
- Sellado inferior y de las uniones
- Bombeo del grout desde la parte inferior: el agua sale por la parte superior
- Sellado superior

La camisa traslúcida permite controlar el relleno y corregir los defectos: **ascensión monitorizada**



bombeo del grout

## 5. CONCLUSIONES

Recomendaciones para evitar la corrosión:

1. RECUBRIMIENTO:
  - Calidad del hormigón de recubrimiento
  - Espesor del recubrimiento
2. POROSIDAD
3. EJECUCIÓN:
  - Formas y detalles estructurales: secciones redondeadas
  - Disposición correcta de las armaduras que permitan el vibrado
  - Evitar fisuras, coqueas..
4. CEMENTO
  - Resistente a los sulfatos
  - Contenido mínimo:  $350 \text{ kg/m}^3$
  - Relación agua/cemento = 0,4
5. IONES CLORURO: limitar su contenido en el hormigón fresco
  - No utilizar agua de mar
  - No usar arenas de mar sin lavar

# MUCHAS GRACIAS POR VUESTRA ATENCIÓN

