



HERRAMIENTAS EXISTENTES PARA EVALUAR EL ESTADO DE LAS EDIFICACIONES

Jornada EGAP. Calidad e Innovación, el camino para reducir
costes e incertidumbres en el proceso constructivo

Santiago de Compostela, 27 de Mayo 2016

ÍNDICE

Introducción.

Parte I. Ensayos de Información de la estructura

Parte II. Ensayos de Durabilidad del hormigón

Parte III. Patologías en la envolvente

ÍNDICE

Introducción.

Parte I. Ensayos de Información de la estructura

Parte II. Ensayos de Durabilidad del hormigón

Parte III. Patologías en la envolvente

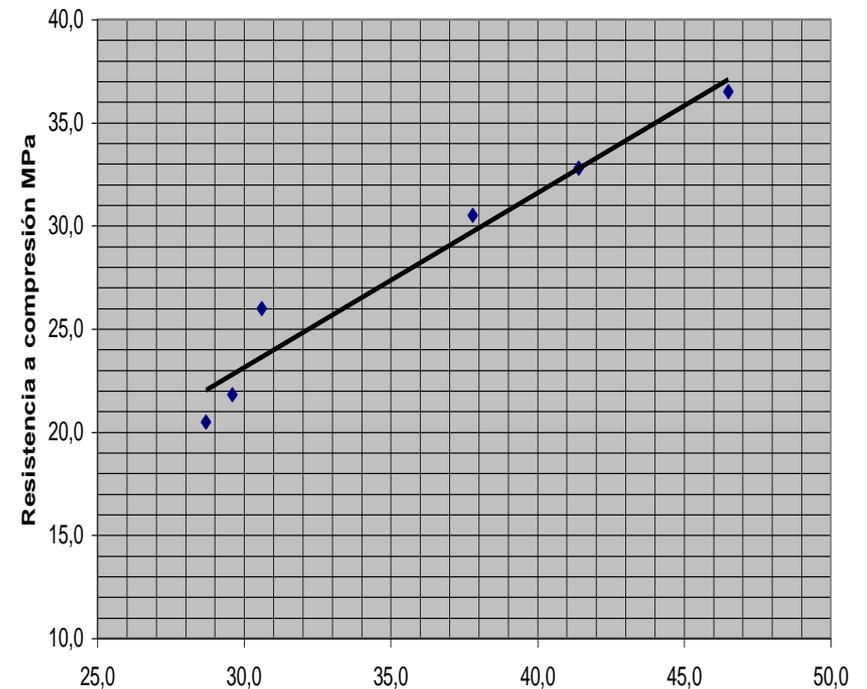
Combinación de ensayos no destructivos con extracción y rotura de probetas testigo



Correlación rotura a compresión y estudio esclerométrico

Ref. Pilar	N	Indice rebote	s	t	ε	R. testigos MPa	R. estimada MPa
1	12	46,5	3,03	2,145	2,01	36,5	37,1
2	12	34,8	2,33	0,94	1,54		27,2
3	12	37,6	6,32	1,84	4,19		29,5
4	12	30,6	4,50	1,46	2,99	26,0	23,6
5	12	32,2	3,33	1,74	2,20		25,0
6	12	30,9	3,60	1,75	2,39		23,9
7	12	41,4	1,88	1,38	1,25	32,8	32,8
8	12	33,8	1,05	1,71	0,69		26,3
9	12	37,4	0,90	1,97	0,60		29,4
10	12	29,6	2,58	1,69	1,81	21,8	22,8
11	12	42,3	2,41	0,95	1,70		33,5
12	12	30,8	1,89	1,75	1,33		23,8
13	12	28,7	3,29	1,06	2,32	20,5	22,0
14	12	30,4	2,04	1,54	1,96		23,5
15	12	30,8	1,84	1,86	1,60		23,8
16	12	31,5	1,98	0,96	1,76		24,4
17	12	37,8	2,09	1,89	1,90	30,5	29,7
18	12	36,5	2,00	1,24	1,84		28,6

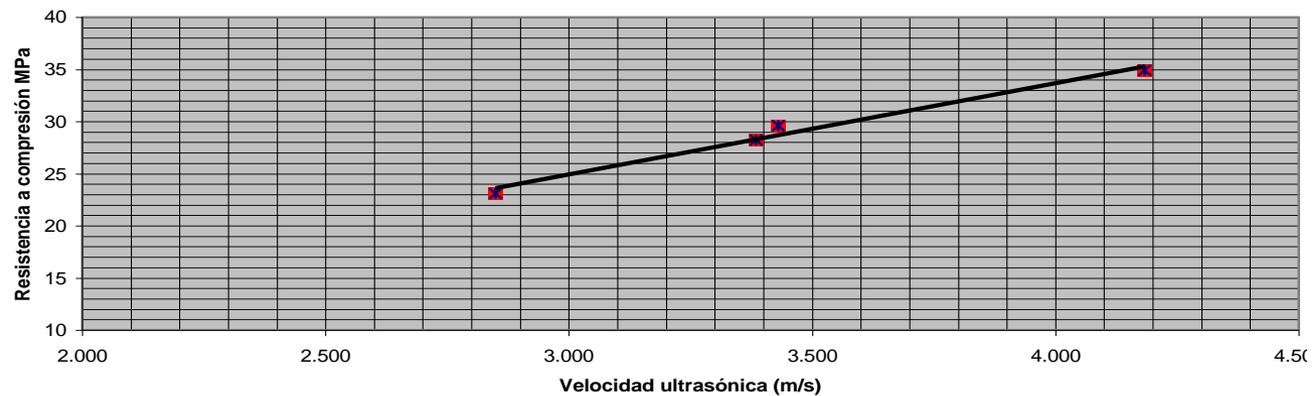
$y = 0,846 \cdot x - 2,26 ; r^2 = 0,975$



Correlación rotura a compresión y reconocimiento por ultrasonidos

Ref. Pilar	r (m)	t (μs)	v (m/s)	Trasmisión	Edad	R. testigos MPa	R. estimada MPa
1	0,35	107,5	3.256	Directa	4 meses		27,1
2	0,36	100,9	3.567	"	"		29,8
3	0,35	122,8	2.850	"	"	23,1	23,5
4	0,36	121,3	2.969	"	"		24,5
5	0,35	81,4	4.299	"	"		36,2
6	0,35	80,0	4.376	"	"		36,9
7	0,34	92,4	3.678	"	"		30,8
8	0,35	102,0	3.430	"	"	29,6	28,6
9	0,35	95,2	3.678	"	"		30,8
10	0,34	113,2	3.004	"	"		24,9
11	0,35	83,7	4.184	"	"	34,9	35,2
12	0,35	103,4	3.385	"	"	28,2	28,2

$y = 8,776 \cdot 10^{-3} \cdot x - 1,5094; r^2 = 0,989$



PARTE I. ENSAYOS DE INFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA

Los ensayos de información se pueden realizar en los siguientes casos:

- ❖ Cuando no se dispone de suficiente nº de ensayos de control
- ❖ Cuando existen dudas razonables sobre la ejecución
- ❖ En estructuras con síntomas de deterioro

Los ensayos que la EHE indica como más fiables (pero siempre correlacionados con la extracción y rotura a compresión de testigos) son el Índice de rebote y la Velocidad de propagación de ultrasonidos

1.- ENSAYOS DE INFORMACIÓN NO DESTRUCTIVOS

- 1.1.- Reconocimiento esclerométrico
- 1.2.- Reconocimiento por ultrasonidos
- 1.3.- Ensayo Pull Out
- 1.4.- Pruebas de carga
- 1.5.- Técnica de Gammagrafía
- 1.6.- Ensayos de integridad estructural de pilotes

Reconocimiento esclerométrico



Posibles aplicaciones:

- Estudio de uniformidad.
- Comparación de la calidad del hormigón con respecto a una especificación particular (p.ej. en prefabricación).
- Estimación orientativa de la resistencia y detección de elementos objeto de mayor estudio.

TABLA DE STUDENT – FISHER

NUMERO DE GRADOS DE LIBERTAD GRADO DE PROBABILIDAD O UMBRAL DE SIGNIFICACION

N - 1	0,05	0,01
1	12,706	63,657
2	4,303	9,925
3	3,182	5,841
4	2,776	4,504
5	2,571	4,032
6	2,447	3,707
7	2,365	3,499
8	2,306	3,355
9	2,262	3,250
10	2,228	3,169
11	2,201	3,106
12	2,179	3,055
13	2,160	3,012
14	2,145	2,977
15	2,131	2,947
16	2,120	2,921
17	2,110	2,898
18	2,101	2,878
19	2,003	2,861
20	2,085	2,845
21	2,080	2,831
22	2,074	2,619
23	2,069	2,807
24	2,064	2,797
25	2,060	2,787

EL ERROR PROBABLE MÁXIMO SERÁ:

$$\epsilon = \frac{S}{\sqrt{N-1}} \cdot t_{(N-1)}$$

$$t = \frac{X - X_m}{S}$$

SIENDO:

X= Valor dudoso

X_m= Media

S= Desviación típica

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - x)^2}{N-1}$$

EJEMPLO DE ANÁLISIS ESCLEROMÉTRICO

Soporte	Indicación del Esclerómetro
Referencia	Medidas
3	31-30-29-32-30-31-29-23-31-29
Número de valores	N = 10
Media	$\bar{x} = 29,5$
Dispersión experimental	$S^2 = 6,28$
Desviación típica	$S = 2,51$

El valor más alejado es el 23

$$t_{23} = \frac{23 - 29,5}{2,51} = 2,58$$

Valor de t para el umbral de 0,05 es de 2,26 que es inferior al calculado; luego la medida 23 deberá eliminarse

Una vez eliminada la medida 23 repite todo el proceso con objetivo de saber si debe rechazarse alguna otra medida, en este caso el cálculo será:

Número de valores	N = 9
Media	$\bar{x} = 30,9$
Dispersión experimental	$S^2 = 1,19$
Desviación típica	$S = 1,09$

El valor más alejado es 32, luego:

$$t_{32} = \frac{32 - 30,09}{1,09} = 1,09$$

El valor de t para el umbral de 0,05 y ocho grados de libertad es 2,306 el índice esclerométrico 32 puede aceptarse.

El error probable máximo:

$$\epsilon = 0,88$$

Luego tenemos el 95% de posibilidades de que la media esté en el intervalo $30,9 \pm 0,88$.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS

- Tipo de cemento
- Cantidad de cemento
- Tipo y granulometría de los áridos
- Carbonatación
- Humedad de la superficie
- Tipo y geometría de la superficie
- Edad del hormigón
- Condiciones de curado
- Compactación
- Otros factores

Reconocimiento por ultrasonidos



Posibles aplicaciones:

- Estudio de la uniformidad del hormigón, delimitando las zonas de baja calidad.
- Comparación de la calidad, en términos de resistencia, del hormigón colocado en una misma estructura.
- Estimación de las alteraciones cualitativas del hormigón a lo largo del tiempo.
- **Detección de defectos: coqueras, fisuras, grietas, etc.**
- Estimación orientativa de la resistencia del hormigón, a través de la correlación con testigos.

El método de ultrasonidos puede ser utilizado en combinación con el esclerómetro, para mejorar la precisión de las estimaciones.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS

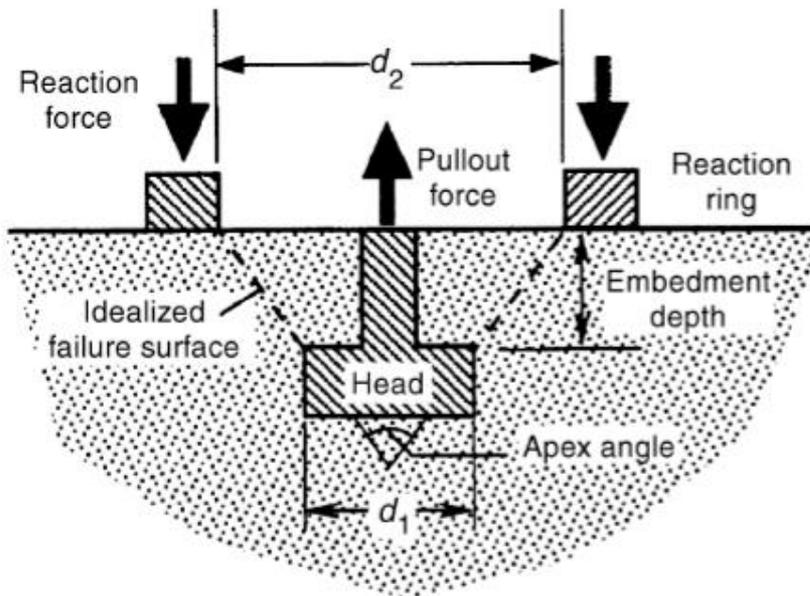
- Superficie de ensayo.
- Contenido de humedad.
- Temperatura del hormigón.
- Longitud del camino recorrido por los ultrasonidos.
- Forma y tamaño de los elementos a ensayar.
- Efecto de las armaduras: Habrá que dibujar previamente sobre el elemento la situación de las armaduras, detectadas con detector de armaduras.
- Estado tensional.

Ensayo Pull-Out



Este ensayo permite determinar la resistencia del hormigón a tracción.

Consiste en el arrancamiento de una pieza de acero introducida en el hormigón mediante un gato hidráulico.



Pruebas de carga

Finalidad de la prueba de carga:

La prueba de carga es un ensayo que deberá aplicarse sobre elementos sometidos a esfuerzos de flexión, consistente en cargar dichos elementos estructurales con una carga similar a la prevista en proyecto con el fin de medir la evolución de sus deformaciones.

Una carga total materializada del 85% de la carga de cálculo es un valor suficientemente representativo como para pronunciarse sobre la seguridad del elemento ensayado.

Diferentes tipos de prueba:

A) Reglamentarias (P.ej. puentes de carretera o ferrocarril). Se realizan previamente a la recepción de la obra. Sirven para comprobar el comportamiento de la estructura ante las acciones de servicio.

B) Como información complementaria (P.ej. en el caso de haberse producido algún tipo de cambio o problema durante la obra). No se sobrepasan las acciones de servicio.

C) Para evaluación de la capacidad resistente de seguridad de las estructuras. Se sobrepasan las acciones de servicio.

Es necesario con carácter previo redactar un Plan de Prueba, que incluya: finalidad de la prueba, magnitudes a medir, puntos de medición, procedimiento de medida, escalones de carga y descarga, medidas de seguridad.

Resultados a satisfacer según EHE:

1.- No aparecen fisuras

2.- Flecha máxima inferior a $l^2 / 20.000 h$

l: luz de cálculo

h: canto del elemento

En el caso de voladizo, $l = 2 \times$ distancia entre apoyo y extremo

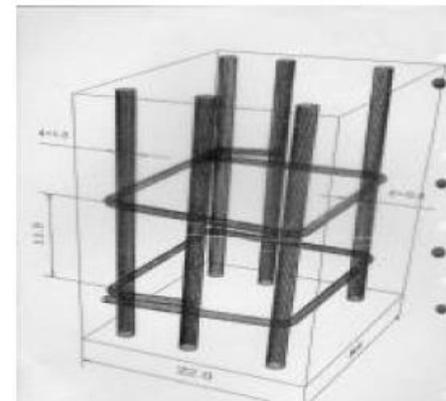
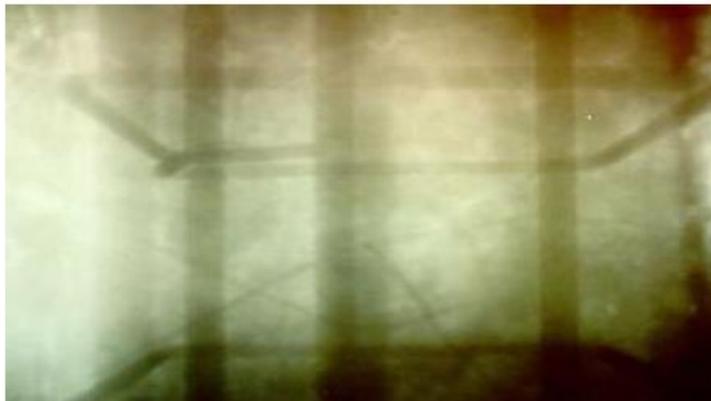
3.- Si la flecha máxima supera el criterio anterior, la flecha residual una vez retirada la carga y transcurridas 24 h, deberá ser inferior al 25% de la máxima en elementos de hormigón armado e inferior al 20% de la máxima en elementos de hormigón pretensado.

4.- Si no se cumple, después de 72 h de finalizado el 1º ciclo, se realiza un 2º ciclo de carga, considerándose satisfactorio si la flecha residual obtenida es inferior al 20% de la flecha máxima de este 2º ciclo para cualquier tipo de estructura.

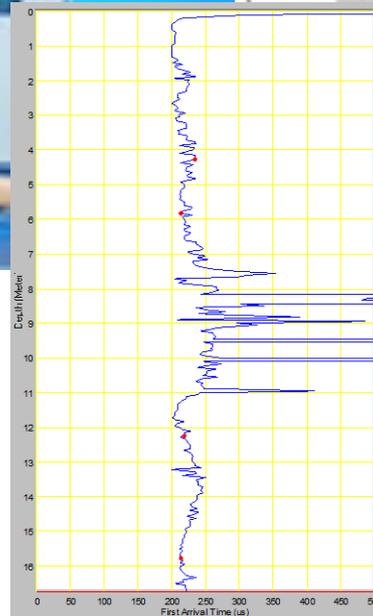


Técnica de Gammagrafía

La inspección de estructuras de hormigón armado mediante radiación gamma es el único método que permite observar y conocer en detalle la armadura (en forma no destructiva) y la posible existencia de corrosión en la misma



Ensayos de integridad estructural de pilotes



Los DEFECTOS más comunes que serán detectados con los ensayos de integridad estructural se pueden agrupar en función de las causas que los provocan en:

- Relacionados con problemas constructivos
- Relacionados con la excavación
- Provocados por una mala manipulación de la camisa
- Provocados por una mala utilización de lodos bentoníticos
- Relacionados con la fase de hormigonado

PARTE II. ENSAYOS PARA DETERMINAR LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

2.- ENSAYOS PARA DETERMINACIÓN DE LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

2.1.- Carbonatación del hormigón

2.2.- Determinación de cloruros en hormigón

2.3.- Medida de la resistividad eléctrica en el hormigón

2.4.- Potencial de corrosión

2.5.- Profundidad de penetración del agua bajo presión

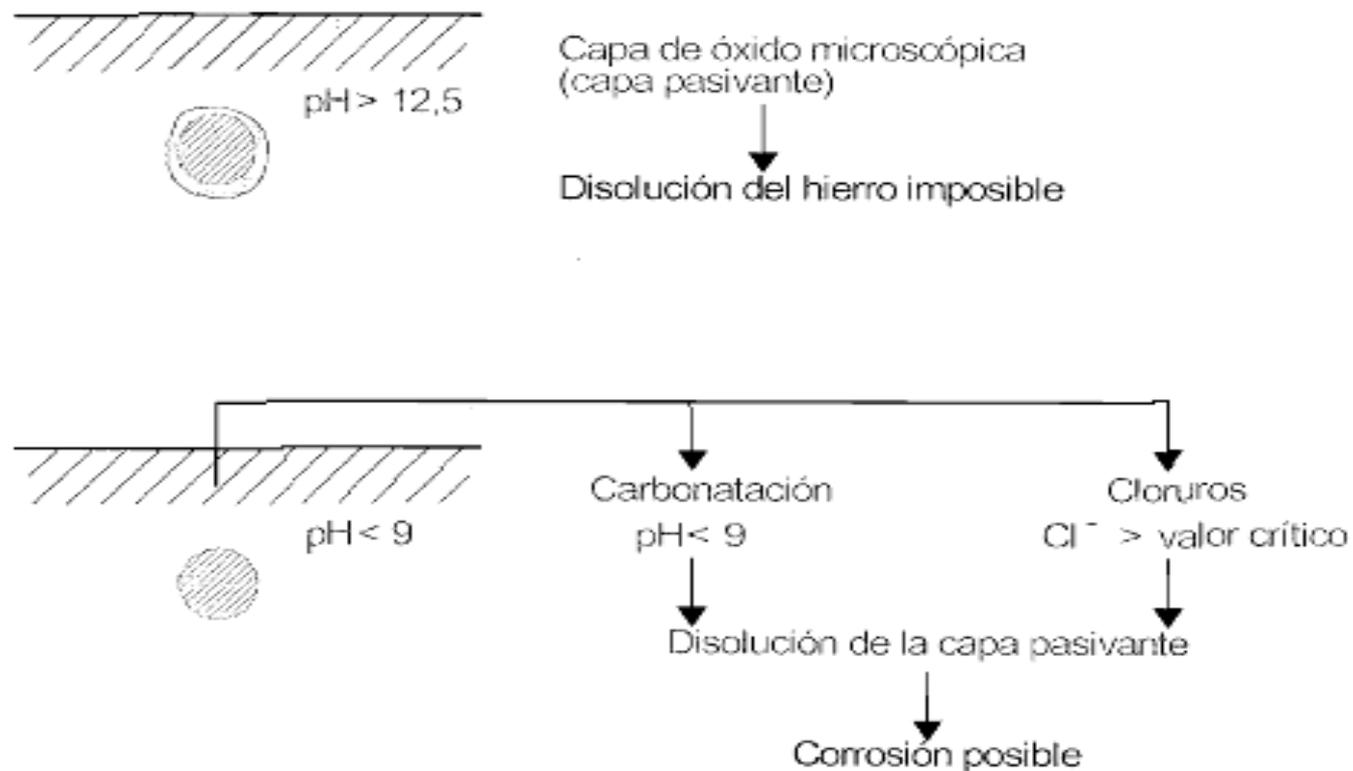
Mecanismos de Corrosión de las armaduras



Mecanismos de Corrosión:

Corrosión química → Poco habitual

Corrosión electroquímica → Habitual

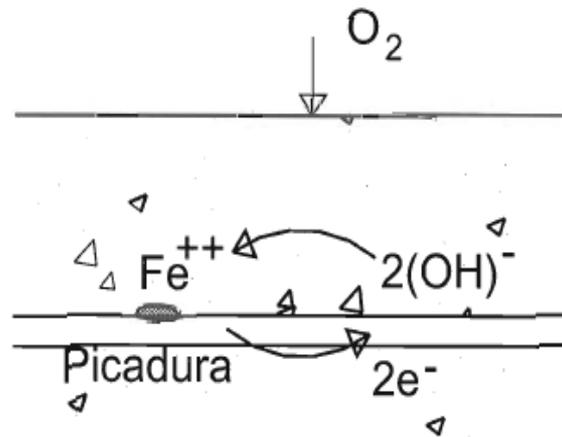


Proceso de corrosión electroquímica:

Es necesario:

- Destrucción de la capa pasivamente
- Oxígeno
- Humedad
- Electrolitos (Iones cloruro)

Proceso de corrosión:



La reacción no se produce hasta que en la superficie del acero disponga de una cantidad suficiente de oxígeno y agua

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CORROSIÓN

- Recubrimiento del hormigón
- Contenido de cemento
- Tipo de cemento
- Estado superficial del acero
- Condiciones ambientales
- Resistividad del hormigón
- Contenido de cloruros
- Fisuración
- Estado tensional del hormigón

Carbonatación

Proceso de carbonatación:

El hidróxido de calcio procedente de la hidratación del cemento reacciona con el anhídrido carbónico del aire en presencia de humedad atmosférica o de otra fuente. Esta reacción es un ataque ácido del hormigón que se produce según la siguiente reacción:



Causas que favorecen la carbonatación:

- 1.- Aumento de la relación agua/cemento
- 2.- Disminución del cemento
- 3.- Presencia de grietas o fisuras
- 4.- El tiempo
- 5.- Disminución del pH
- 6.- Tipo de cemento
- 7.- Tipo de árido empleado

La fenoftaleína toma un color rojo-púrpura para valores de pH $>$ al 9,5

**HORMIGÓN NO
CARBONATADO**



La fenoftaleína se vuelve incolora para valores de pH $<$ a 8

**HORMIGÓN
CARBONATADO**



Determinación de cloruros

Los iones Cloruro tienden a destruir la capa pasivamente provocando fundamentalmente la corrosión localizada conocida “por picaduras”.
Los cloruros se encuentran en el hormigón debido al aporte que pueden realizar los materiales componentes y/o al aporte externo a través de los poros

Cuando el ataque es externo, la penetración de cloruros responde a la siguiente fórmula:

$$X(t) = K \cdot \sqrt{t}$$

Donde:

x: profundidad de penetración de cloruros

K: Constante que depende del hormigón y las condiciones de exposición

t: Tiempo

UNE 112-010:1994: Determinación de cloruros

Determinación de cloruros totales (solubles y no solubles) de hormigones puestos en servicio por el método volumétrico VOLHARD.

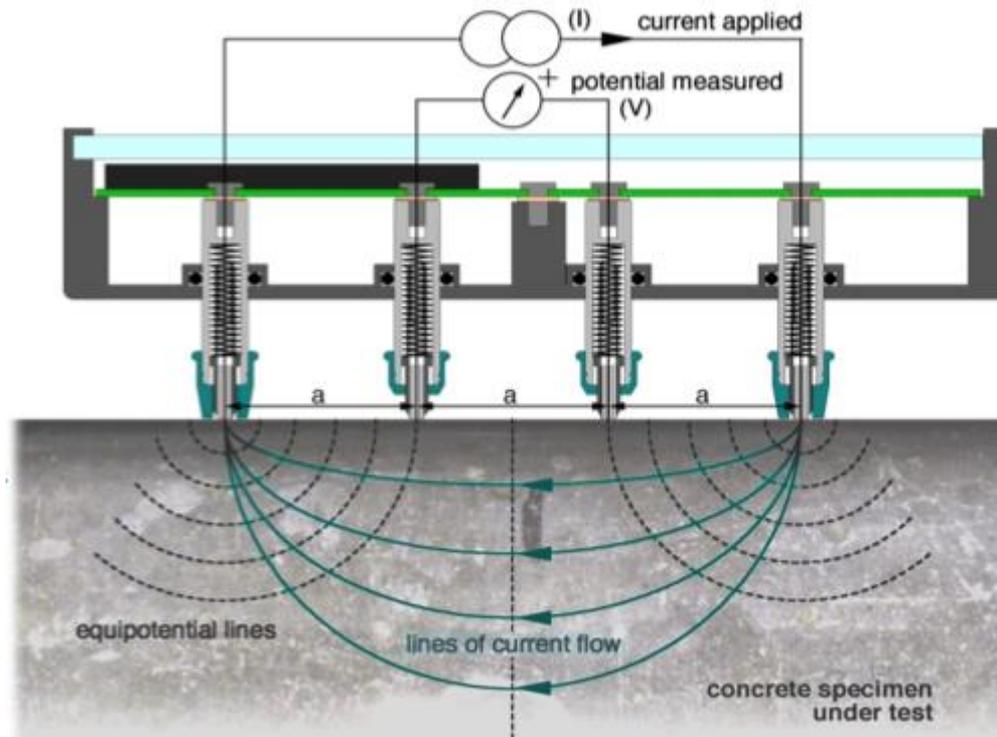
Otro método de conocer si en un hormigón tiene cloruros:

Se rocía el hormigón a estudio con una disolución de nitrato de plata, y se observa a las 24 h el resultado.

En el hormigón que no tiene cloruros se produce un “velado” tomando un color oscuro – negruzco. En cambio si presenta cloruros toma un color blanquecino producido por la precipitación de los cloruros con el nitrato de plata.

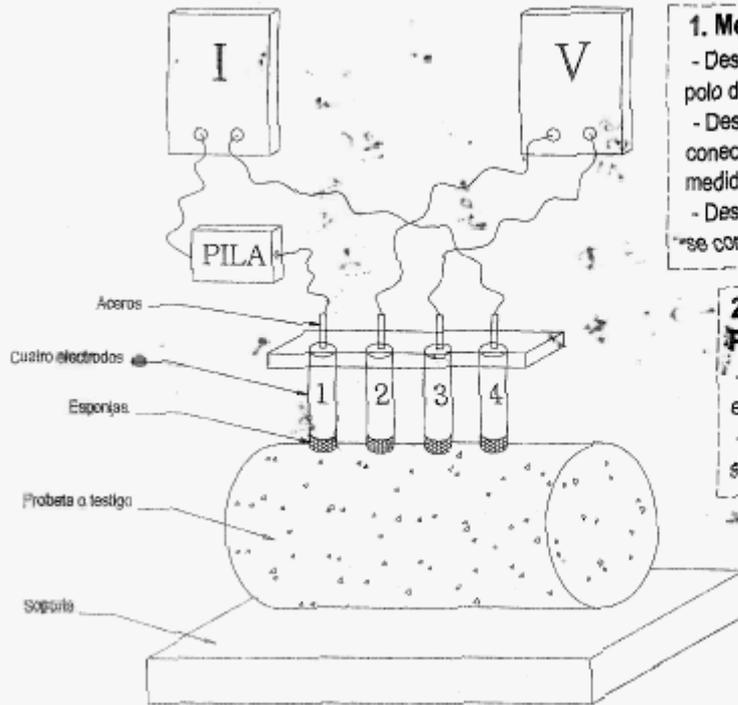


Resistividad eléctrica



La resistividad eléctrica informa sobre la facilidad o impedimento que presenta el hormigón a que la corrosión progrese en caso de que se produzca.

Cuando la resistencia eléctrica es menor, la corriente corrosiva circula más fácilmente en el hormigón, aumentando las posibilidades de corrosión



1. Medida de Intensidad I:

- Desde el acero 1 se conecta a un polo de la pila.
- Desde el otro polo de la pila se conecta a entrada de aparato de medida de Intensidad.
- Desde la otra entrada del aparato se conecta al acero 4.

2. Medida de diferencia de Potencial V:

- Desde el acero 2 se conecta a entrada del voltímetro.
- Desde la otra entrada del aparato se conecta al acero 3.

- Diámetro electrodos: 4 a 6 mm.
- Separación entre electrodos: 50 mm.

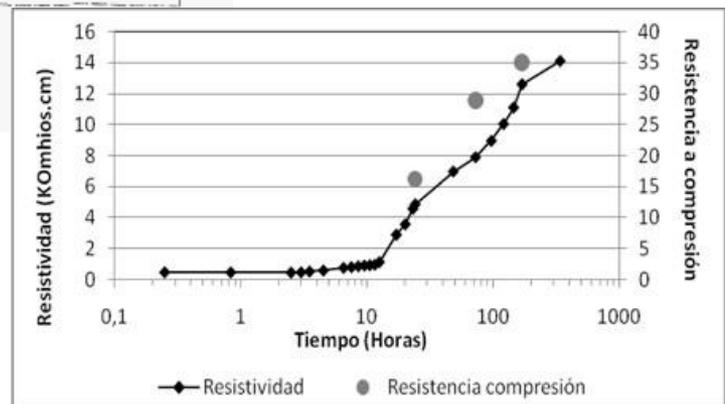


TABLA VALORES REFERENCIA

Resistividad ($k\Omega$ cm)	Probabilidad de corrosión
Menos de 5	Muy alta
5-10	Alta
10-20	Moderada/Baja
Más de 20	Baja

Umbrales empíricos de resistividad

Potencial de corrosión

Para determinar el potencial de corrosión se emplea un corrosímetro con confinamiento modulado de corriente.



La medida de la intensidad de corrosión proporciona una información fiable del riesgo de corrosión de las armaduras y puede ser interpretada independientemente del tipo de estructura y del estado de conservación del hormigón.

La intensidad de corrosión está relacionada directamente con la velocidad de corrosión, entendida como la cantidad de material que se transforma en óxido, en el momento de la realización de la medida y en la zona de armadura afectada por la señal aplicada.



Los ensayos se realizan tanto en zonas aéreas como en zonas sumergidas o muy húmedas correspondiente a la zona de carrera de marea.



Profundidad de penetración del agua bajo presión



Motivación del estudio:

Se debe conocer para poder determinar si los ataques al hormigón son debidos a la facilidad de penetración de los distintos compuestos, es decir conocer la permeabilidad del hormigón, o por presencia de poros o fisuras en el hormigón.

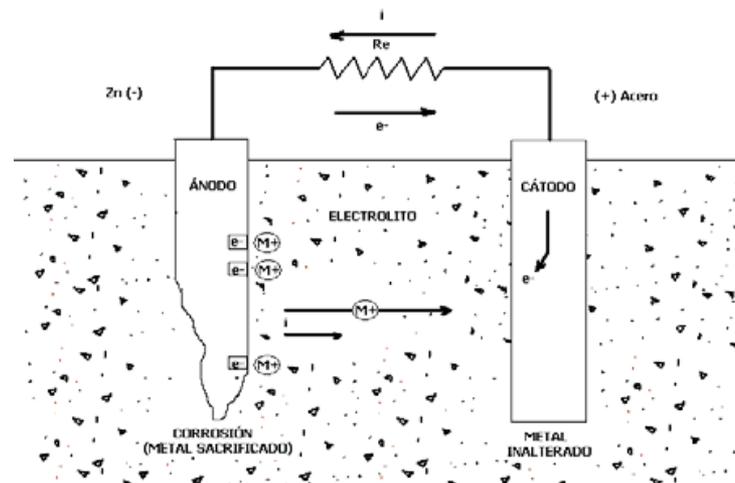
REMEDIACIÓN DE LA ESTRUCTURA QUE PRESENTA CORROSIÓN

PROTECCIÓN CATÓDICA:

- La protección catódica parte del principio de que el proceso de corrosión es una reacción electroquímica, necesita ánodo, cátodo, un electrolito y la conexión eléctrica ánodo-cátodo.

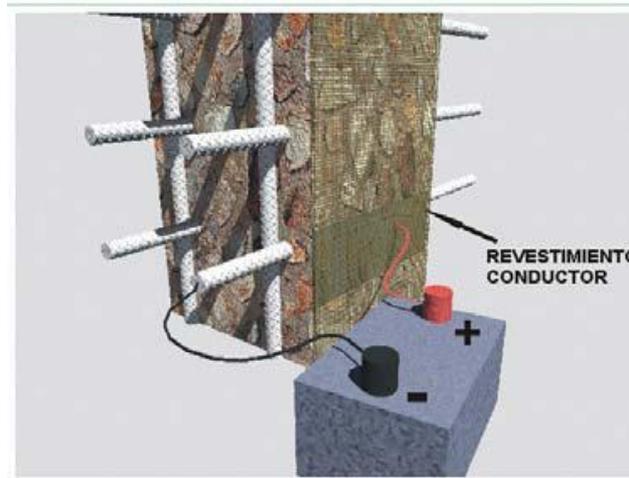
1.- PROTECCIÓN CATÓDICA POR ÁNODO DE SACRIFICIO

La protección catódica por ánodo de sacrificio se realiza normalmente con tres metales característicos: Zinc (Zn), Magnesio (Mg), Aluminio (Al) y sus aleaciones. El zinc ha sido el material anódico clásico y pionero en el desarrollo de la protección catódica. Los ánodos de aleaciones de magnesio han sido también empleados con éxito, principalmente en la protección de estructuras que se encuentran en medios agresivos o de resistividad elevada, logrando una rápida polarización. El aluminio y sus aleaciones han sido empleadas en los últimos años en protección de elementos en contacto con agua de mar.



2.- PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA

Este procedimiento consiste en unir eléctricamente la estructura que se trata de proteger con el polo negativo de una fuente de alimentación de corriente continua (pura o rectificada) y el positivo con un electrodo auxiliar que cierra el circuito. Los electrodos auxiliares se hacen de aleación de ferrosilicio, grafito, titanio platinado, titanio-óxido de rutenio, etc. Es completamente indispensable la existencia del electrolito (medio agresivo) que completa el conjunto para que se realice el proceso electrolítico



CORRIENTE IMPRESA

INHIBIDORES DE CORROSIÓN:

- Inhibidor de corrosión es toda sustancia que añadida al medio en pequeñas concentraciones disminuye la velocidad de corrosión.
 - Inhibidores anódicos
 - Inhibidores catódicos
 - Inhibidores mixtos

INHIBIDORES DE CORROSIÓN MIGRATORIOS:

- Se caracterizan por tener una carga parcial positiva (+) y otra negativa (-) dentro de la propia molécula, que hace que ésta sea atraída por el acero aunque la carga de la molécula sea nula. Estas cargas parciales son atraídas por el cátodo y por el ánodo respectivamente, lo que hace que se reduzca la corrosión.

INHIBIDOR MIGRATORIO DE CORROSIÓN – VENTAJAS

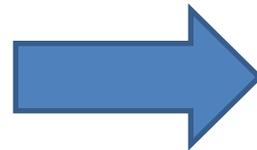
- La impermeabilización aumenta la durabilidad del hormigón.
- Protege tanto áreas anódicas como catódicas.
- Migra hasta la armadura protegiéndola de la corrosión.
- Se puede utilizar tanto en hormigón armado, como en la fabricación del mismo.

PARTE III: PATOLOGÍAS EN LA ENVOLVENTE

En edificio ya construido es necesario realizar una serie de ensayos para poder estudiar el comportamiento de la envolvente. En concreto, las técnicas más utilizadas son:

- **Blower Door:** Análisis de infiltraciones
- **Termoflujometría:** Determinación de transmitancia térmica
- **Cámara termográfica:** Medición de emisiones infrarrojos de los cuerpos

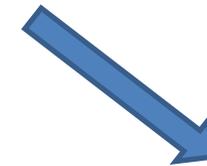
Blower Door



Detecta las infiltraciones de aire a través de la envolvente de la vivienda, determinando in situ la hermeticidad de una estancia.



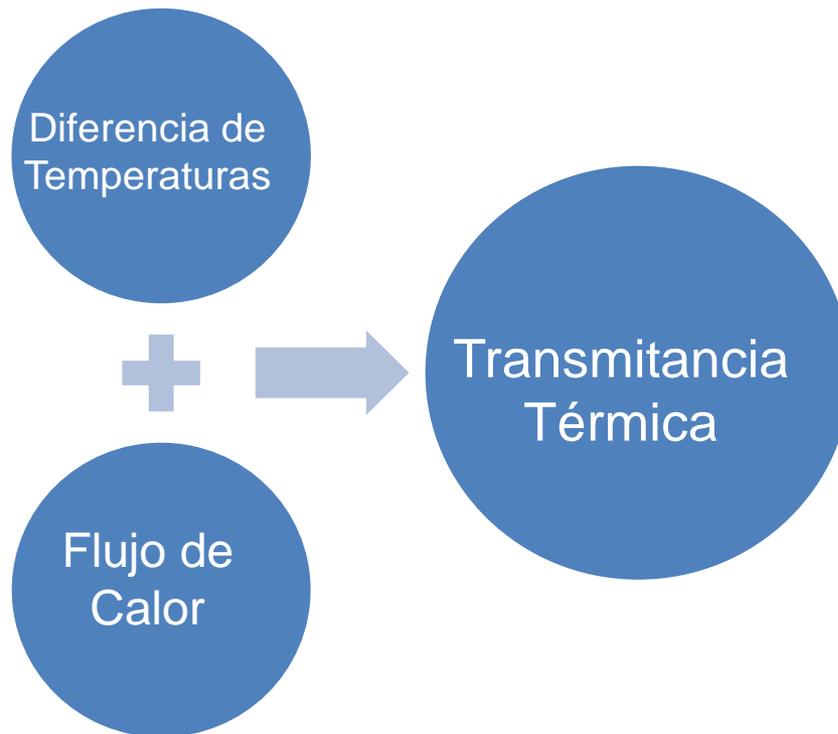
Medición del flujo que pasa a través del equipo



Creación de depresión o sobrepresión en el interior de la vivienda

Una vivienda poco estanca tendrá un consumo energético superior a una vivienda con una **adecuada** hermeticidad.

Termoflujometría

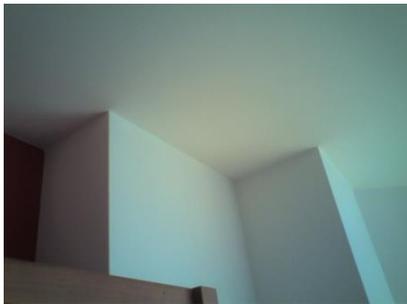


La transmitancia térmica es la capacidad que tiene un cuerpo de permitir el flujo de calor

Con estos valores, se estudia la necesidad de reforzar el aislamiento de la envolvente del edificio y en qué grado



Cámara termográfica



La termografía es la detección de ondas electromagnéticas emitidas por los materiales a través de radiaciones infrarrojas.

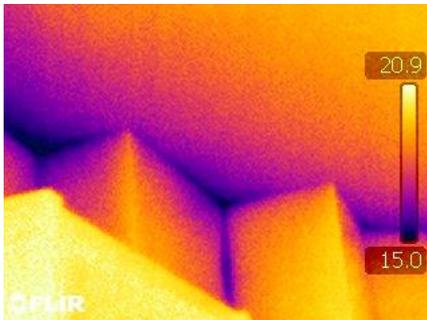


Imagen termográfica con gradiente de temperatura. Se pueden observar infiltraciones en la unión con el forjado

Las radiaciones infrarrojas emitidas por una superficie aumentan con la temperatura por lo que las cámaras termográficas permiten visualizar las diferencias de temperaturas en las superficies.

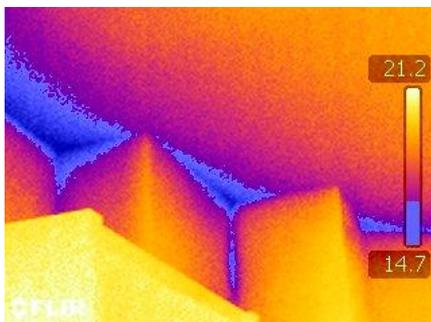


Imagen con detector de aislamiento

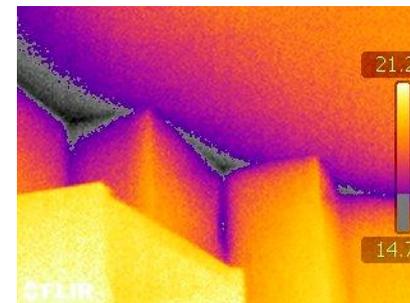


Imagen con detector de humedad

***MUCHAS GRACIAS
POR SU ATENCIÓN***

Santiago Grandal Montero

Santiago.grandal@proyfe.com

Tlfno. 637 784 155