

## **ANEXO A. INSTRUCCIONES PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS “IN SITU” O LABORATORIO**

### **A.1 ENSAYO TIPO DE CEMENTO**

El tipo de cemento, se obtiene realizando 2 ensayos: Ensayo de Sulfatos y Ensayo de Oxina.

#### *Ensayo de Sulfatos*

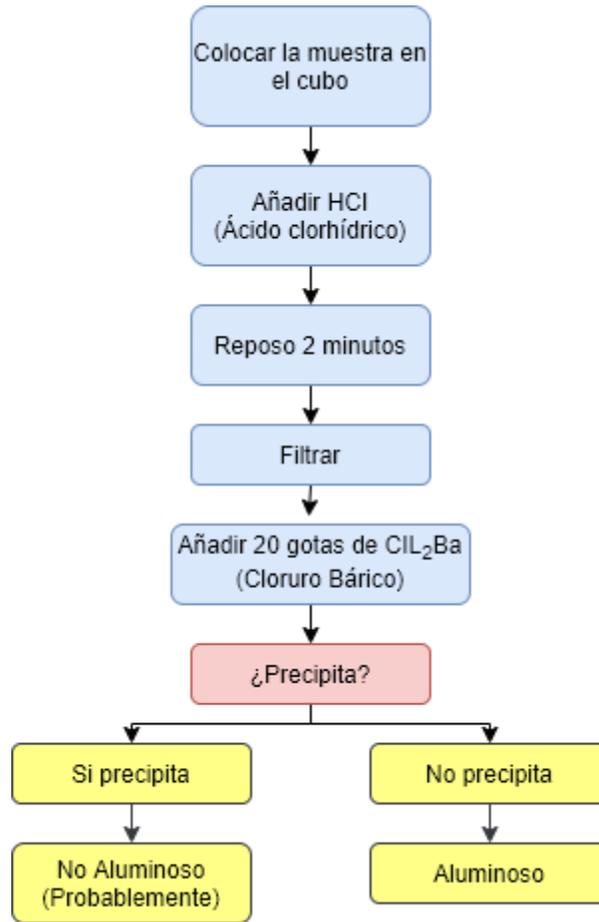
#### **Objetivo**

Detectar la presencia de sulfatos en el hormigón analizado.

#### **Materiales y/o Equipos**

- 1 gr. de hormigón triturado.
- Ácido Clorhídrico (HCl) 35% de pureza y diluido en agua 1:1.
- Cloruro Bórico ( $\text{Cl}_2\text{Ba}$ ) obtenido de la disolución de 120 gr. de  $\text{Cl}_2\text{Ba}$  en un litro de agua.
- Alicates.
- Balanza
- tubos de ensayo de 10 ml.
- Filtro y embudo.

*Esquema del Proceso*



*Figura A.1 Esquema del proceso de ensayo de sulfatos*

*Fuente: Propia*

**Algunas consideraciones**

- La muestra de hormigón (triturada con alicates), se debe colocar en el tubo de ensayo, y agregar ácido clorhídrico hasta alcanzar el nivel 10 ml.
- La adición de ácido provoca gran efervescencia, por lo que se debe realizar procurando cuidado.

**Interpretación de resultados**

- Al añadir la solución indicadora de Cloruro Bórico:
  - Aparece un precipitado blanquecino.

La muestra de cemento contiene sulfatos, probablemente el cemento utilizado no es aluminoso.

- No aparece precipitado.

La muestra no contiene sulfatos, color amarillento en la disolución, es aluminoso.

### ***Ensayo de Oxina***

#### **Objetivo**

- Determinar si la muestra de cemento contiene gran cantidad de compuestos de aluminio.

#### **Materiales y/o Equipos**

- 1 gr. de hormigón triturado.
- Hidróxido Sódico (NaOH) 0.1 N
- Ácido Clorhídrico (HCl) 35% de pureza y diluido en agua 1:1.
- Oxina, disolución de 5 gr. de 8-hidroxiquinoleína con 12 ml. de ácido acético glacial y adición de agua hasta 100 ml.
- Acetato de Amonio, disolución de 40 gr. en 100 ml. de agua.
- tubos de ensayo de 10 ml.
- Filtro y embudo.

## Esquema del proceso

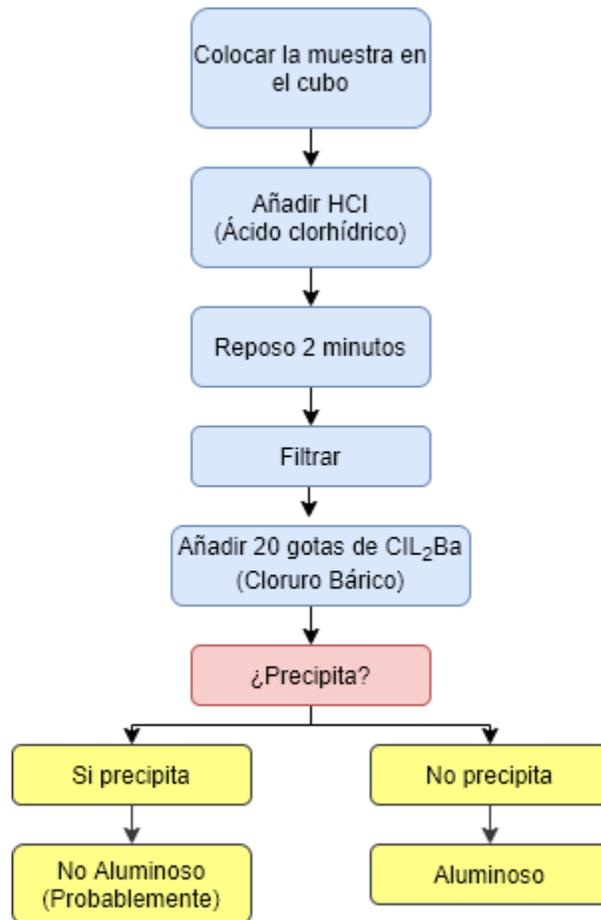


Figura A.2 Esquema del proceso de ensayo de oxina

Fuente: Propia

## Algunas consideraciones

- La muestra de hormigón (triturada con alicates), se debe colocar en el tubo de ensayo, y agregar Hidróxido Sódico hasta alcanzar el nivel 10 ml.
- Al añadir la Oxina, la mezcla adquiere un color amarillento.

## Interpretación de resultados

- Al añadir la solución indicadora de Acetato de Amonio:
  - Aparece un precipitado cohesionado o grandes copos amarillentos flotando en la disolución.

Fuerte presencia de compuestos de aluminio. El cemento utilizado es aluminoso.

- No aparece, de forma clara, ningún precipitado y la disolución mantiene un aspecto turbio y amarillento.

Indica la presencia de un cemento no aluminoso.

**Detección del cemento aluminoso:** Interpretación de ambos ensayos.

		<i>Sulfatos</i>	
		<i>Precipita</i>	<i>No precipita</i>
<i>Oxina</i>	<i>Precipita</i>	Duda	Cemento Aluminoso
	<i>No precipita</i>	Cemento Portland	Error de ejecución

*Tabla A 1 Detección del cemento aluminoso: Interpretación de ambos ensayos*

*Fuente: Propia*

Por lo tanto:

- Si la prueba de sulfatos precipita y la oxina no.

Es cemento Portland se puede considerarse un resultado fiable.

- Si la prueba de sulfatos, no precipita y la oxina sí.

Es cemento aluminoso, puede considerarse un resultado fiable.

- Si falta precipitado en ambos casos

Es claro indicador de que la metodología no ha sido aplicada correctamente. Es necesario repetir la prueba.

- Si en ambos casos se procede precipitado

Se consideran tres razones básicas que pueden conducir a esta situación de duda.

- La muestra analizada contiene una mezcla de cemento Pórtland y Aluminoso.
- La muestra analizada está contaminada con sulfatos. Esta contaminación puede producirse por restos de yeso, agua sulfatada y/o áridos sulfatados;

conduciendo a la precipitación (cemento no aluminoso) erróneamente, lo que podría indicar, por lo tanto, que el cemento pudiese ser aluminoso.

- Si el hormigón se halla fuertemente carbonatado, puede dar lugar a un precipitado en la prueba de la oxina (cemento aluminoso) erróneamente, lo que podría indicar que el cemento no es aluminoso.

## A.2. ENSAYO DE CARBONATACIÓN

Este ensayo se realiza de acuerdo a lo estipulado en la Norma RILEM CPC-18 1988 (Measurement of hardened concrete carbonation depth)

### Objetivos

- Determinar la presencia de carbonatación en el hormigón.
- Medir la profundidad del frente carbonatado.

### Materiales y/o equipos

- Solución Indicadora (de fenolftaleína al 1%): Para la preparación de 500 g de esta solución se requiere, disolver 5 g de fenolftaleína en polvo en 250 g de agua destilada y 245 g de alcohol puro.
- Rociador.
- Pie de metro y/o Huincha de medir.

Esquema del proceso

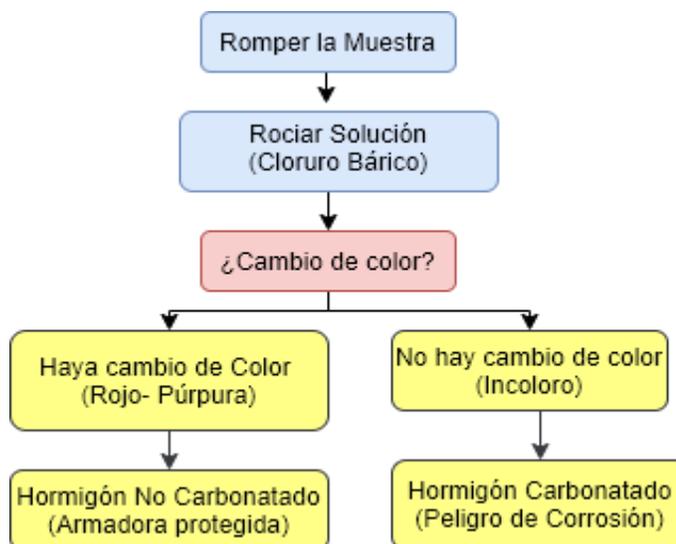


Figura A.3 Esquema del proceso para ensayo de carbonatación.

Fuente: Propia

### **Algunas consideraciones**

- Esta solución puede ser aplicada a probetas testigo o sobre el elemento estructural “in situ”.
- La superficie fracturada debe estar seca y limpia de partículas sueltas.
- La solución debe emplearse mediante pulverización y esperar de 15 a 30 minutos para observar si se aprecia coloración.
- Cuando no se aprecie coloración como resultado de la prueba, se indicará que el frente de carbonatación ha llegado hasta el nivel de la armadura (recubrimiento carbonatado).
- Para conocer la profundidad del frente carbonatado, se debe seguir profundizando hasta que se aprecie coloración. Si se supera el doble del espesor de recubrimiento de la armadura y no se aprecia coloración, no será necesario seguir profundizando, pues en este caso es muy probable que el hormigón tenga un proceso de carbonatación avanzado.
- Para cada elemento o testigo debe medirse la profundidad de carbonatación utilizando pie de metro y/o huincha de medir.

### **Interpretación de resultados**

La Solución Indicadora puede tomar las siguientes coloraciones:

- Hormigón no carbonatado: coloración rojo - púrpura o fucsia.

Valores de pH > 12.5

- Hormigón con indicios de carbonatación: coloración rosa

Valores de pH entre 9 y 12,5

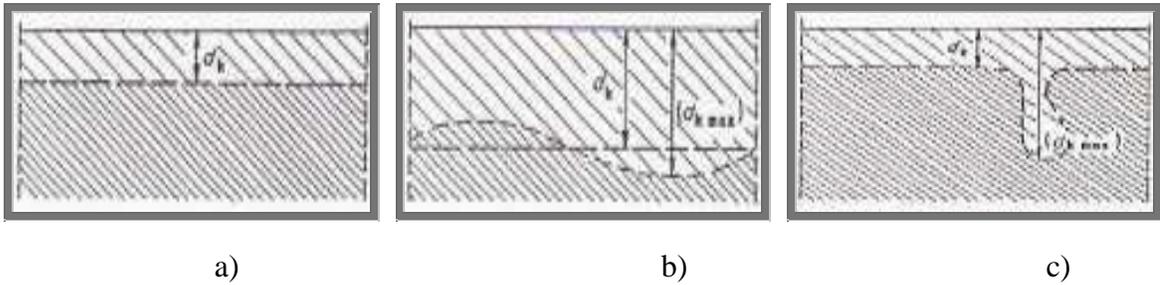
- Hormigón carbonatado: incolora

Valores de pH < 9

Según esta norma, la profundidad de carbonatación desde la superficie de exposición hasta la zona carbonatada se denomina  $d_k$  y considera diversas formas de determinar dicha distancia.

Existen tres formas de medir la profundidad de carbonatación  $d_k$  dependiendo de la forma en que se presente dicha carbonatación:

- Frente paralelo y regular a la superficie de exposición. En este caso la profundidad de carbonatación tiene un valor constante. Ver Figura A.4a.
- Frente paralelo e irregular a la superficie de exposición. En este caso la profundidad de carbonatación se estima como el promedio de las distintas profundidades de carbonatación. Ver Figura A.4b.
- Frente paralelo y constante, pero con una irregularidad. En este caso no se debe considerar el promedio, omitiendo así la irregularidad. Ver Figura A.4c.



*Figura A 4 Medición de profundidad de carbonatación.*

*Fuente: Norma RILEM CPC-18 1988.*

### **A.3 ENSAYO DE CLORUROS**

Este ensayo se realiza de acuerdo a lo estipulado RILEM TC 178-TMC, para cloruros libres.

#### **Objetivo**

- Establecer si existe presencia de cloruros en el hormigón en una cantidad suficiente para provocar corrosión en el hormigón.

#### **Materiales y/o Equipos**

- 1 gr. de hormigón triturado.
- Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 60% de pureza y diluido en agua 1:1.
- Fenolftaleína.
- Cromato de Potasio ( $\text{CrO}_4\text{K}_2$ )
- Hidróxido Sódico ( $\text{NaOH}$ )
- Nitrato de Plata ( $\text{AgNO}_3$ ) 0.02N -
- Alicates.
- Balanza.
- tubos de ensayo, para 10 ml.
- Filtro y Embudo.

### Esquema del proceso

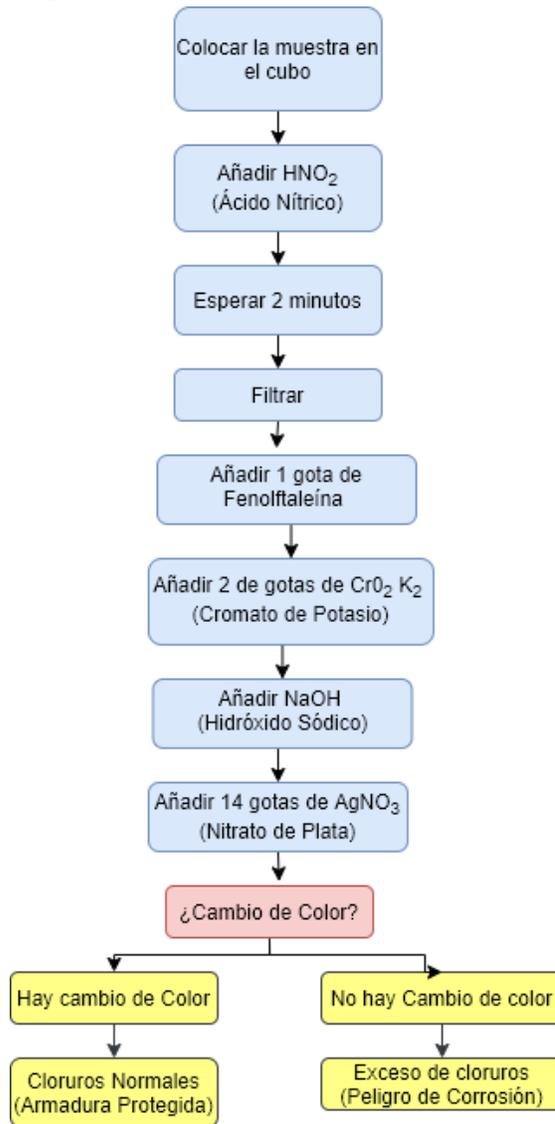


Figura A.5. Esquema del proceso para ensayo de cloruros

Fuente: Propia

### Algunas consideraciones

- La muestra de hormigón (triturada con alicates), se debe colocar en el tubo de ensayo, y agregar ácido nítrico hasta alcanzar el nivel 10 ml.
- La adición de ácido provoca gran efervescencia, por lo que se debe realizar procurando cuidado.
- Se debe añadir NaOH hasta adquirir una tonalidad rojiza/amoratada.

- Añadir el Nitrato de Plata, gota a gota, hasta obtener una tonalidad rojo/amoratada.
- El cambio de color se produce debido a que, si ya no quedan iones cloruro por reaccionar, el ion plata reacciona con el ion cromato y se produce un cambio de color en la disolución.

### **Interpretación de resultados**

Al añadir la solución indicadora de Nitrato de Plata hay cambio de color utilizando:

- Menos de 14 gotas  
Pocos cloruros, no existe peligro de corrosión.
- Más de 14 gotas  
Exceso de cloruros, existe peligro de corrosión.

### **Observación**

- a) Este ensayo puede realizarse de acuerdo a lo estipulado en la Norma ASTM C1218/99 Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete

Esta Norma se basa en el método potenciométrico

- Consiste en medir la cantidad de cloruros libres, reportado como peso porcentual, presentes en el hormigón ensayado.
- La extracción de muestra obtenida in situ o por medio de probetas, debe ser conseguida, por medio de brocas de diámetro: 3mm si es mortero y 4 mm si es hormigón. Esta muestra debe pesar por lo menos 25 gr.
- La determinación de cloruros se realiza en laboratorio por medio de análisis químico.

### **La Interpretación de resultados:**

Los datos entregados por el Laboratorio, se deben comparar con los valores límites de cloruros estipulados en la Tabla A.2.

<i>Limite</i>	<i>Tipo de Hormigón</i>	<i>Referido a</i>
0.06% de cloruros libres.	Pretensado	cemento
0.15% de cloruros libres.	Armado, con exposición a cloruros	cemento
1.00% de cloruros libres.	Armado, en ambiente seco	cemento
0.30% de cloruros libres.	Hormigón armado, resto de los ambientes	cemento

*Tabla A.2. Limitación del contenido de Cloruros*

**Fuente: ACI 318 (2003)**

- b) Para la medición de la profundidad de penetración de cloruros de probetas ser ensayadas por el método colorimétrico.
- Las probetas deben ser seccionadas, en el caso de probetas cilíndricas, los planos posibles de corte son los de las generatrices y directrices.
  - El hormigón debe teñirse con una solución 0.1 N de nitrato de plata, esperar un minuto y rociar la solución de dicromato de potasio, con lo cual se puede apreciar dos zonas claramente diferenciales.
  - La Solución Indicadora puede tomar las siguientes coloraciones:
  - Hormigón contaminado (presencia de cloruros): Coloración blanca – amarilla.
  - Hormigón no contaminado (ausencia de cloruros): Coloración terracota.

## **A.4 ENSAYO DESTRUCTIVO**

### **A.4.1. Extracción de Testigos de Hormigón**

Este ensayo se realiza de acuerdo a la norma ASTM C42 AASHTO T24 método estándar para la obtención Y ensayo de Núcleos taladrados y Vigas aserradas de concreto.

#### **Objetivos**

- Este método se refiere al procedimiento de obtención, preparación y ensayo de (a) núcleos extraídos de estructuras de hormigón para determinaciones de longitud o resistencia a la compresión o a la tracción indirecta, y (b) vigas aserradas de estructuras de hormigón para determinaciones de resistencia a la flexión.
- Conocer el estado de resistencia actual de un hormigón de una estructura existente de acuerdo al ensayo de compresión. ASTM C39/C 39 M, método de Ensayo para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto

#### **Materiales y/o equipos**

- Saca núcleos

Para obtener probetas cilíndricas. Si las probetas deben ser extraídas por taladrado perpendicular a una superficie horizontal, resulta satisfactorio un taladro de percusión; pero si las probetas deben ser taladradas en otra dirección o si su diámetro se debe determinar con exactitud para un cálculo más preciso de la resistencia a la compresión, se emplearán brocas de diamante.

- Sierra

Para obtener probetas en forma de viga del tamaño adecuado para efectuar ensayos de resistencia a la flexión. La sierra deberá tener un borde cortante de diamante o carburo de silicio y deberá poder cortar las probetas con las dimensiones prescritas, sin calor excesivo o impacto.

## **Algunas consideraciones**

- Las muestras de hormigón endurecido para uso en la preparación de probetas para ensayos de resistencia, no se deberán tomar hasta que el hormigón haya endurecido lo suficiente para permitir la remoción de la muestra sin perturbar la adhesión entre el mortero y el árido grueso. En general, el hormigón deberá tener una edad de catorce (14) días antes de la extracción de las probetas. Cuando se preparen probetas para ensayos de resistencia de muestras de hormigón endurecido, se deberán descartar aquellas que presenten defectos o que se hayan deteriorado durante el proceso de extracción.
- Las probetas que contengan acero de refuerzo no se deberán usar para determinar la resistencia a la tracción indirecta. En caso de ensayos para determinar la resistencia a la flexión, no se usarán probetas que tengan refuerzo en la porción sometida a tensión.

### **1. Extracción de núcleos**

Siempre que sea posible, los núcleos se extraerán perpendicularmente a una superficie horizontal, de manera que su eje sea perpendicular a la capa de hormigón tal como se colocó originalmente y cuidando de no hacerlo en vecindades de juntas o bordes obvios del elemento construido. Las probetas tomadas en dirección perpendicular a una superficie vertical o a una superficie irregular, se deberán extraer lo más cerca que sea posible del centro de la pieza y nunca cerca de juntas o bordes de ella.

### **Remoción de losas**

Se deberá remover una losa de tamaño suficiente para asegurar las probetas de ensayo deseadas, excluyendo todo hormigón agrietado, astillado, mal cortado o con cualquier otra irregularidad.

## **Probetas para determinación de longitud**

Deberán tener un diámetro de cuando menos cien (100) milímetros. La medida de la longitud de los núcleos se hará conforme se describe en el Método H0315.

### **2. Resistencia a compresión**

#### **Probetas de Ensayo**

Los diámetros de los núcleos para la determinación de la resistencia a compresión deberán ser, como mínimo, iguales a tres (3) veces el tamaño máximo nominal del árido grueso del hormigón. Su longitud, luego del refrentado, deberá ser lo más aproximada posible al doble del diámetro. No se deberán ensayar núcleos cuya altura sea inferior al noventa y cinco por ciento (95%) de su diámetro antes del refrentado o menor de su diámetro después de dicha operación.

#### **Preparación de las bases**

Las bases de los núcleos que van a ser ensayados a la compresión, deberán ser sensiblemente lisas, perpendiculares a su eje longitudinal y del mismo diámetro del cuerpo del núcleo. De ser necesario, las bases se deberán aserrar o maquinar hasta cumplir los siguientes requisitos:

- Las salientes, si las hay, no se deberán extender más allá de 0.2 pulgadas (5mm) de la superficie de la base.
- Las superficies de las bases no se podrán apartar de la perpendicularidad al eje longitudinal en más de 5°, y
- El diámetro de las bases no deberá diferir en más de 0.1 pulgadas (2,5mm) del diámetro medio del núcleo.

#### **Acondicionamiento en humedad**

Las probetas de ensayo se deberán sumergir en agua saturada de cal a 23r1,7°C (73.4r3.0°F) por un período no inferior a 40 horas, antes someterlas al ensayo de resistencia a la compresión. Durante el lapso transcurrido entre el retiro de las probetas

del agua y el ensayo, se deberán cubrir con una sábana, una arpillera húmeda u otra tela absorbente que resulte adecuada

### **Refrentado**

Las bases de los núcleos se deberán refrentar antes del ensayo de acuerdo con el procedimiento prescrito en la sección pertinente de la norma del Método H0303. Las superficies refrentadas deberán cumplir los requisitos de uniformidad exigidos en la misma norma.

### **Medida**

Antes del ensayo, se deberá medir la longitud del núcleo refrentado con aproximación a la décima de pulgada (2.5mm), longitud que se empleará para el cálculo de la relación longitud/diámetro. El diámetro se determinará promediando dos (2) medidas tomadas en ángulos rectos entre sí, aproximadamente en la mitad de la probeta. Siempre que sea posible, la medida del diámetro se realizará con aproximación a la centésima de pulgada (0.25mm), pero como mínimo a la décima de pulgada (2.5mm).

### **Ensayo**

El ensayo a compresión de los núcleos se efectuará tal como se describe en el Método H0307, “Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón”.

### **Cálculos**

- a. El cálculo de la resistencia a la compresión de cada probeta se realizará utilizando su sección transversal basada en el diámetro medio determinado según se indicó en la sección de Medida. Si la relación longitud/diámetro es apreciablemente inferior a dos (2), la resistencia a compresión calculada se deberá multiplicar por un factor de corrección, como se indica a continuación:

<i>Relación L/D</i>	<i>Factor de Corrección de Resistencia</i>
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

*Tabla A.3 Factores de corrección de Resistencia*

*Fuente: ASTM C42, AASHTO T24*

- b. Estos factores de corrección se aplicarán a hormigón liviano (1.600 a 1.920 kg/m<sup>3</sup>) y a hormigón normal, y son aplicables tanto a hormigón seco como húmedo en el momento del ensayo.

Los valores que no estén indicados en la tabla, se obtendrán por interpolación.

Los factores de corrección son aplicables para resistencias nominales a la compresión entre 13,8 a 41,4 MPa (2000 y 6000 libras por pulgada cuadrada). (Los factores de corrección dependen de diferentes condiciones, tales como la resistencia y el módulo elástico. Los valores que se dan en la tabla son promedio).

## **A.5 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

### **A.5.1. Ensayo de Esclerometría**

Este ensayo se realiza de acuerdo a lo estipulado en la Norma ASTM C805

#### **Objetivos**

- Obtener una estimación de la resistencia del hormigón existente en la estructura.
- Evaluar la uniformidad del hormigón.
- Detectar zonas de hormigón pobre o deteriorado.

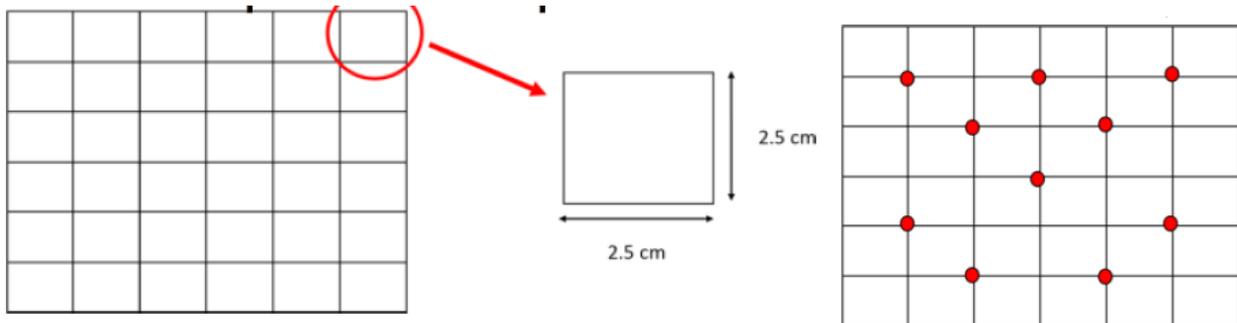
#### **Materiales y/o Equipos**

- Martillo de Schmidt: martillo de acero impulsado por resorte, cuyo rebote se registra en una escala lineal incorporada al instrumento.

#### **Algunas consideraciones**

- Valor estimativo de la resistencia del hormigón con una exactitud no mayor a un 20 o 25%.
- Se ensayarán elementos de hormigón con un espesor mínimo de 100 mm, y que estén sólidamente fijos a la estructura.
- Se evitarán las zonas que presenten coqueras, exfoliaciones, textura rugosa o alta porosidad.
- En la selección de la zona de ensayo se tendrán en cuenta factores como: resistencia del hormigón, tipo de superficie, tipo de hormigón, humedad de la superficie, carbonatación, movimiento del hormigón bajo el ensayo, dirección de ensayo, etc.

- El área de ensayo será una cuadrícula de 15 cm. x 15 cm. dividida en 36 cuadros, de manera se tomará las mediciones en las intersecciones de las líneas de los puntos de impacto.



*Figura A.6 Esquema de la medición para ensayo*

*Fuente: Propia*

- Hormigones con la capa superficial carbonatada o sobre seis meses de edad deben desgastarse a una profundidad de 5 mm
- A fin de disminuir los efectos de secado se debe humedecer completamente la superficie por 24 horas previas al ensayo.
- Los ensayos deben efectuarse con un mismo martillo, el que debe sujetarse firmemente en posición perpendicular a la superficie de ensayo. La posición normal es la horizontal y en caso de utilizarse en otras posiciones, las lecturas deben ser corregidas de acuerdo a las indicaciones del fabricante.
- En el caso de las losas éstas deben ser ensayadas por su cara inferior.
- El martillo se presiona gradualmente hasta que se dispara. Después de cada disparo se examina el lugar del impacto y si se nota trituración o daño superficial se descarta la medida. Si el punto de impacto se nota sano se registra la lectura aproximándola a la menor división de la escala y se repite la operación hasta completar 10 valores.

### **Cálculo e interpretación de resultados**

- Si el punto de impacto se nota sano registrar la lectura aproximándola a la menor división de la escala y repetir la operación hasta completar 10 valores.

- Sacar el promedio de las 10 lecturas realizadas y descartando aquellas que difieren en más de 7 puntos con respecto a este valor. Si las lecturas descartadas son 3 o más, el ensayo debe repetirse.
- Calcular el índice esclerométrico como el promedio de las 8 o más lecturas que se consideraron apropiadas.
- Calcular la dispersión media ( $\Delta$ ), en MPa

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

(Ec. A.1)

Donde,

$x_i$  = Lectura  $i$  del Martillo de Schmidt, en MPa.

$\bar{x}$  = Promedio de las lecturas del Martillo de Schmidt consideradas apropiadas, en MPa.

Calcular la Resistencia a la compresión de cubo en MPa por medio del gráfico, utilizando la dispersión media, el índice esclerométrico y el ángulo de la posición del martillo con respecto a la horizontal.

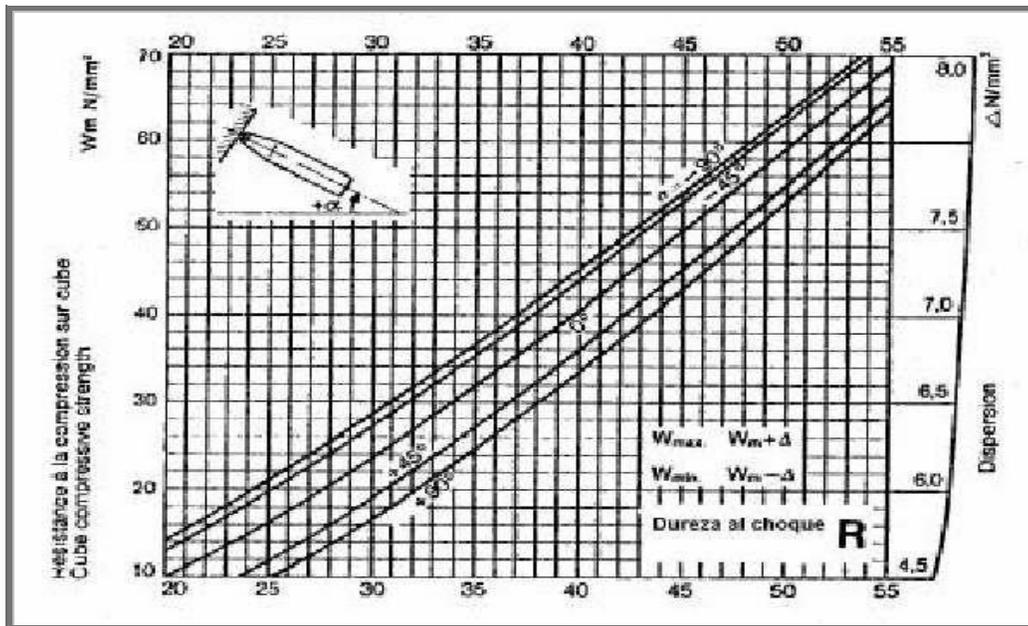


Figura A.7 Correlación entre el Índice esclerométrico y la Resistencia a la compresión

Fuente: Materiales de construcción, Prácticas de laboratorio, Universidad de Alicante.

### A.5.2. Ensayo de Ultrasonido

Este ensayo se realiza de acuerdo a lo estipulado en la Norma de la Asociación Norteamericana ASTM C597-02.

#### Objetivos

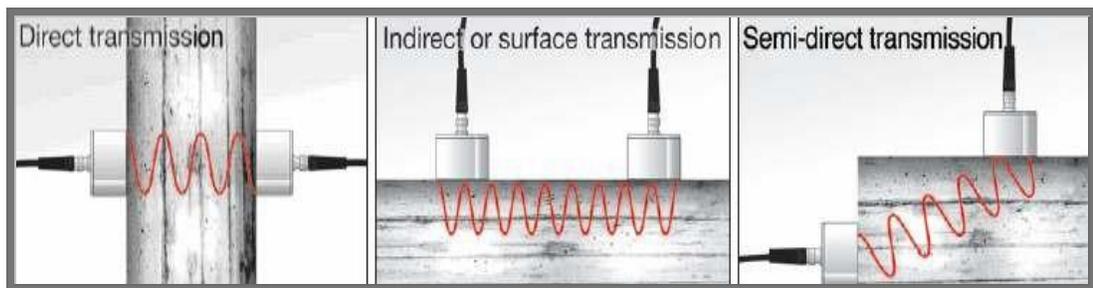
- Determinar la uniformidad del hormigón.
- Establecer la profundidad e inclinación de las fisuras presentes en el hormigón.

#### Materiales y/o Equipos

- Equipo de ultrasonido.
- Huincha de medir.

#### Algunas consideraciones

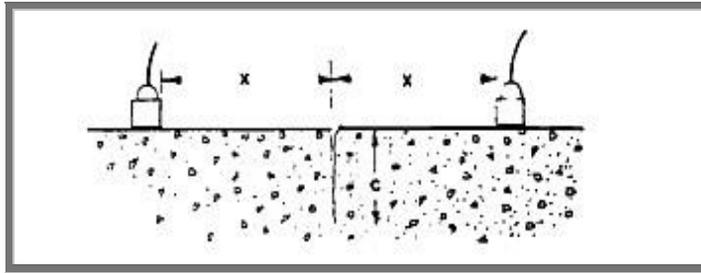
- La transmisión puede ser directa, semidirecta o indirecta. Mientras sea posible deberá utilizarse la transmisión directa, ya que proporciona la máxima sensibilidad y provee una longitud de trayectoria bien definida.



*Figura A.8 Tipos de transmisión.*

*Fuente: CivilGeeks.com*

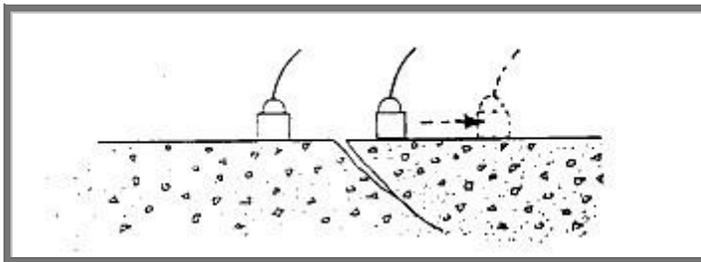
- Cuando hay una fisura en el hormigón, el pulso ultrasónico permitirá determinar su profundidad e inclinación. Para obtener la profundidad, las mediciones se harán colocando los transductores uno a cada lado de la fisura a una distancia “x”, procurando que sean en la parte más gruesa de la misma. A continuación, se repetirá la lectura a doble distancia de la anterior.



*Figura A.9 Medición profundidad de grietas.*

*Fuente: Grupo de Hormigón-Universidad Católica de Valparaíso, Apunte Ultrasonido.*

- Para determinar la inclinación de la fisura, se colocan los transductores a los lados de la fisura y después se mueve uno de ellos alejándolo de ella. Si al efectuar esta operación la lectura del tiempo de propagación disminuye, significa que la fisura presenta inclinación hacia ese lado.



*Figura A.10 Medición de inclinación de grietas.*

*Fuente: Grupo de Hormigón-Universidad Católica de Valparaíso, Apunte Ultrasonido.*

### **Cálculos e interpretación de resultados**

$$V_p = \frac{d_t * 10}{t}$$

Ec. A.2

Donde.

$V_p$ = Velocidad de pulso, en Km/s.

$d_t$  = Distancia entre transductores, en cm.

$t$  = Lectura de tiempo, en  $\mu$ s.

- La velocidad se determina para las tres lecturas realizadas a cada elemento y, posteriormente, se obtiene un promedio. Esta velocidad de pulso es la más conveniente. Con este dato, podemos determinar la calidad del elemento probado, consultando algunos de los criterios de clasificación de calidad que se muestran en las tablas siguientes.

<i>Velocidad del pulso (m/s)</i>	<i>Condición de Hormigón</i>
> 4570	Excelente
3650-4570	Buena
3050-3650	Regular- Dudosa
2130-3050	Pobre
<2130	Muy pobre

*Tabla A.4 Evaluación de la calidad del hormigón por medio de la velocidad*

*Fuente: Leslie y Cheesman*

- Para determinar la profundidad de una fisura, se cuentan con dos tiempos  $t_1$  y  $t_2$  para distancias  $x$  y  $2x$ , respectivamente, dicha profundidad se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$C = x * \left( \frac{4 * (t_1^2 + t_2^2)}{t_1^2 + t_2^2} \right)^{0.5}$$

Ec. A.3

Donde.

C= profundidad de la grieta, en mm.

x = Distancia inicial, en mm.

$t_1$  = Tiempo de distancia inicial (x), en s.

$t_2$  = Tiempo del doble de la distancia inicial (2x), en s.

### A.5.3. Ensayo de Resistencia Eléctrica

Este ensayo se realiza de acuerdo a lo estipulado en la Norma de la Asociación Norteamericana ASTM D3633-06.

#### Objetivo:

- Medir la resistencia del concreto, con el fin de pronosticar la presencia de corrosión en la armadura.

#### Algunas consideraciones:

- El procedimiento implica la medición de la resistencia entre el acero de refuerzo y una esponja sobre la superficie de concreto.
- Se puede aplicar a cualquier elemento con una capa impermeabilizada no conductora, previendo que el acero de refuerzo no contenga ningún recubrimiento epóxico.
- Puede ser realizado directamente sobre la superficie de la estructura o en testigos de hormigón.

#### Interpretación de los Resultados:

Dependiendo del resultado arrojado por el equipo de medición, se puede pronosticar la presencia de corrosión en la armadura, como se indica en la Tabla A.6

<i>Resistencia del hormigón (<math>\Omega m</math>)</i>	<i>Presencia de corrosión</i>
$\rho > 1000$	Despreciable
$500 < \rho < 1000$	Baja
$100 < \rho < 500$	Moderada
$\rho < 100$	Alta

*Tabla A.5 Presencia de corrosión de acuerdo a ensayo de resistividad eléctrica.*

*Fuente: ASTM D3633-06.*

#### **A.5.4. Ensayo de Velocidad de Corrosión**

##### **Objetivo:**

- Medir la velocidad de corrosión para establecer la intensidad de corrosión, es decir, la cantidad de metal que pasa a óxido por unidad de tiempo y de superficie de armadura expuesta al ataque.

##### **Materiales y/o Equipos:**

- Equipo de Medición: Potenciostato

##### **Algunas consideraciones:**

- Se efectúa mediante un electrodo de referencia, que indica el potencial eléctrico de la armadura, y un electrodo auxiliar que sirve para medir la corriente circulante en el ensayo.
- Las mediciones que se realizan son de Resistencia de Polarización,  $R_p$ , para ello se requiere desplazar al sistema de su potencial de equilibrio a otro valor, registrándose las variaciones de potencial ( $\Delta E$ ) y de corriente ( $\Delta I$ ) en el sistema debido a este desplazamiento.

##### **Cálculos e Interpretación de resultados:**

- La Intensidad de corrosión se calcula de acuerdo a las Ecuaciones Ec. A.4 y Ec. A.5, que se muestran a continuación:

$$R_p = \frac{\Delta E}{\Delta I}$$

Ec. A.4

Donde.

$R_p$  = Resistencia de Polarizado, en mV/A.

$\Delta E$  = Variación de Potencial, en mV.

$\Delta I$  = Variación de Corriente, en A.

$$I_{corr} = \frac{B}{R_p}$$

Ec. A.5

Donde.

$I_{corr}$  = Intensidad de la corrosión, en A o  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

B = Constante que toma el valor de 26 mV para ensayos in situ.

- Dependiendo de los valores entregados por el equipo de medición, se puede pronosticar el nivel de corrosión existente en la armadura, como se muestra en la Tabla A.7.

<i>Intensidad de Corrosión</i> ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	<i>Nivel de Corrosión</i>
$I_{corr} < 0.1$	Despreciable
$0.1 < I_{corr} < 0.5$	Bajo
$0.5 < I_{corr} < 1$	Moderado
$I_{corr} > 1$	Alto

Tabla A.6 Nivel de Corrosión de acuerdo a la intensidad de Corrosión

Si este ensayo no es posible de ser realizado, se sugiere utilizar los valores proporcionados en la Tabla A.7

<i>Designación</i>	<i>Descripción del Ambiente</i>	<i>I<sub>corr</sub> (<math>\mu\text{A}/\text{cm}^2</math>)</i>	
<b>1. Sin Riesgo de Corrosión</b>			
X <sub>0</sub>	Hormigón en masa o armado: todos los ambientes excepto donde hay acciones de deshielo, abrasión o ataques químicos.	0.01	
<b>2. Corrosión inducida por Carbonatación</b>		<b>Parcialmente carbonatado</b>	<b>Totalmente carbonatado</b>
XC1	Seco o permanentemente húmedo.	0.01	0.01
XC2	Húmedo, raramente seco.	0.1 – 0.5	0.2 – 0.5
XC <sub>3</sub>	Humedad moderada.	0.05 – 0.1	0.1 – 0.2
XC <sub>4</sub>	Ciclos húmedos y secos.	0.01 – 0.2	0.2 – 0.5

<b>3. Corrosión inducida por cloruros de origen distinto del marino</b>		
XD1	Moderadamente húmedo	0.1 – 0.2
XD2	Húmedo, raramente seco	0.1 – 0.5
XD3	Ciclos húmedos y secos.	0.5 – 5.0
<b>4. Corrosión inducida por cloruros de origen marino</b>		
XS1	Exposición a la acción de la sal contenida en el aire, pero no en contacto con el agua de mar.	0.5 – 5.0
XS2	Permanentemente sumergidas.	0.1 – 1.0
XS3	Zonas expuestas a la acción de las mareas o salpicaduras.	1.0 – 10.0

*Tabla A.7 Intensidad de corrosión dependiendo del medio ambiente*

## A.6 CLASES DE EXPOSICIÓN DEL HORMIGÓN

<i>Designación</i>	<i>Descripción del Ambiente</i>	<i>Ejemplos</i>
<b>1. Sin Riesgo de Corrosión</b>		
X0	Hormigón en masa o armado: todos los ambientes excepto donde hay acciones de deshielo, abrasión o ataques químicos.	Hormigón en interiores de edificio con niveles de humedad muy bajos.
<b>2. Corrosión inducida por Carbonatación</b>		
XC1	Seco o permanentemente húmedo.	Hormigón armado en el interior de Edificios con humedad relativa baja. Hormigón permanentemente sumergido.
XC2	Húmedo, raramente seco.	Superficies de hormigón sometidas a contacto con el agua durante largos Periodos. Cimentaciones.
XC3	Humedad moderada.	Hormigón armado en el interior de los edificios con humedad relativa moderada. Hormigón en exterior protegido de la lluvia.
XC4	Ciclos húmedos y secos.	Superficies de hormigón en contacto con el agua, no incluidas en la clase XC2.
<b>3. Corrosión inducida por cloruros de origen distinto del marino</b>		
XD1	Moderadamente húmedo	Superficie de hormigón expuesta a los cloruros contenidos en el aire.
XD2	Húmedo, raramente seco	Hormigón expuesto a la acción de aguas industriales que contienen cloruros

XD3	Ciclos húmedos y secos.	Partes expuestas a salpicaduras que contienen cloruros.
<b>4. Corrosión inducida por cloruros de origen marino</b>		
XS1	Exposición a la acción de la sal contenida en el aire, pero no en contacto con el agua de mar.	Estructuras cerca del mar o en la costa.
XS2	Permanentemente sumergidas.	Partes de estructuras marítimas.
XS3	Zonas expuestas a la acción de las mareas o salpicaduras.	Partes de estructuras marítimas.

*Tabla A.8 Clases de Exposición del Hormigón*

*Fuente: método europeo EN 309020 "CONTECVET"*

## A.7 CÁLCULO DE LA PENETRACIÓN DE ATAQUE AL HORMIGÓN.

$$P_x = 0.0116 * I_{corr}^{rep} * t_p \quad (mm)$$

(Ec, A.6)

Dónde

$t_p$  = Tiempo de propagación de la corrosión en años.

$I_{corr}^{rep}$  = Intensidad de la corrosión representativa, en  $\mu A/cm^2$

- Cálculo de intensidad de corrosión representativa, en  $\mu A/cm^2$ .

La intensidad de corrosión se obtiene de la siguiente forma:

Varias medidas

- Lo óptimo sería realizar por lo menos 4 mediciones durante un período de 12 meses teniendo en cuenta las estaciones anuales.
- La intensidad de corrosión al realizar varias medidas de la intensidad de corrosión, se realiza de acuerdo a la ecuación Ec. A.7.

$$I_{corr}^{rep} = \sum_{i=1}^n \frac{I_{corri}}{n}$$

Ec. A.7..

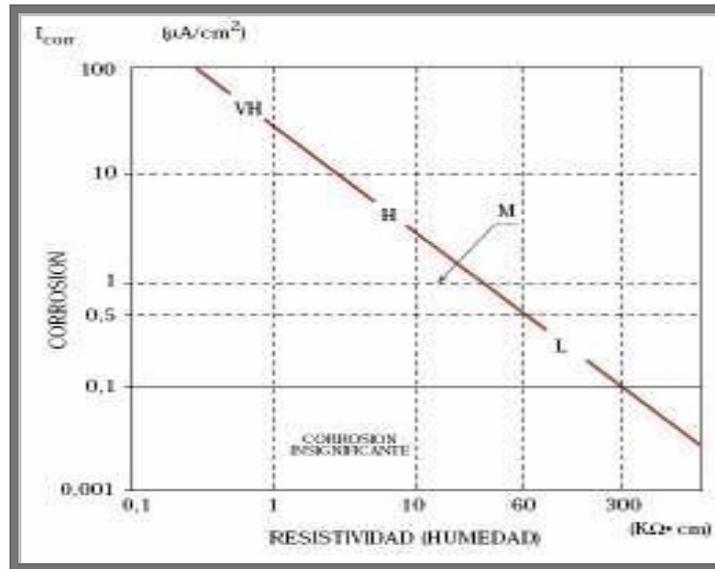
Donde.

$I_{corri}$  = Intensidad de corrosión de la medida  $i$ , en  $\mu A/cm^2$

### **Mediciones aisladas**

- Después de efectuar la medida de intensidad de corrosión, se debe extraer un testigo, el cual será introducido en una cámara acondicionada al 85% de humedad relativa (para simular un hormigón protegido de la lluvia) o se satura completamente de agua bajo vacío (para simular un hormigón expuesto a la lluvia). Cuando el peso varía menos del 0.1% se mide en el testigo la resistividad mínima.

- Situar los valores de intensidad de corrosión y resistividad, medidos en terreno, en el gráfico mostrado en la Figura A.11. Trazar una recta paralela a la teórica y ubicar los valores de resistividad mínima (en la recta trazada), para encontrar el valor de intensidad de corrosión máxima.



VH: Corrosión muy alta    H: Corrosión alta    M: Corrosión moderada    L: Corrosión baja

Figura A.11 Esquema del proceso de ensayo de sulfatos

- Por último, calcular la intensidad de corrosión representativa de acuerdo a la ecuación Ec. A.8.

$$I_{corr}^{rep} = \frac{I_{corri} + I_{corr}^{max}}{2}$$

Ec. A.8.

Donde.

$I_{corri}$  = Intensidad de corrosión de la medida  $i$ , en  $\mu A/cm^2$

$I_{corr}^{max}$  = Intensidad de corrosión máxima, en  $\mu A/cm^2$

- **Cálculo de Tiempo de Propagación  $t_p$**

El tiempo de propagación de la corrosión consiste en el tiempo desde el despasivado del acero hasta que se desarrolla en la estructura un cierto nivel inaceptable de deterioro.

$$t_p = t_x + p_t$$

Ec. A.9.

Donde.

$t_x$  = Edad de la estructura en años. Consiste en el tiempo transcurrido desde la ejecución de la estructura.

$p_t$  = Periodo de iniciación en años. Consiste en el tiempo transcurrido desde la ejecución de la estructura hasta que el factor de deterioro de la armadura y despasive el acero.

El periodo de iniciación se calculó de la siguiente forma.

$$p_i = \frac{t_x}{Cr^2}$$

Ec. A.10.

Donde.

$Cr$  = Carbonatación relativa

La Carbonatación relativa, indica cuanto falta o en cuanto ha sido superado el espesor de recubrimiento por el frente carbonatado, y se calcula según la ecuación Ec.

A.11.

$$Cr = \frac{X_{co2}}{r}$$

Ec. A.11.

Donde,

$X_{co2}$  = Espesor frente carbonatado, en mm

$r$  = Espesor recubrimiento de armadura, en mm

## A.8 CÁLCULO DE LA ADHERENCIA RESIDUAL

La formulación desarrollada para determinar la influencia de la penetración de ataque en la pérdida de adherencia son las siguientes:

- *Para Barras corrugadas*

$$\text{Si } \rho_t > 0.25 \quad f_b = 4.75 - 4.64 * P_x$$

Ec. A.12

$$\text{Si } \rho_t < 0.25 \quad f_b = 10.04 + \left(-0.62 + 1.98 * \frac{\rho_t}{0.25}\right) * (1.14 + P_x)$$

Ec. A.13

Si en el elemento no existieran estribos, la adherencia residual puede estimarse de la siguiente forma.

$$f_b = 2.50 - 6.62 P_x$$

Ec. A.14

- *Para Barras lisas:*

$$\text{Si } \rho_t > 0.25 \quad f_b = \left(\frac{4.75 - 4.64 * P_x}{2.25}\right)$$

Ec. A.15

$$\text{Si } \rho_t < 0.25 \quad f_b = \frac{10.04 + \left(-0.62 + 1.98 * \frac{\rho_t}{0.25}\right) * (1.14 + P_x)}{2.25}$$

Ec. A.16

Si en el elemento no existieran estribos, la adherencia residual puede estimarse de la siguiente forma.

$$f_b = \frac{2.50 - 6.62 * P_x}{2.25}$$

Ec. A.17

Donde.

$f_b =$  Adherencia Residual, en MPa

$\rho_t = \text{Cuantia ( Ec. A. 18)}$

$$\rho_t = n * \left( \frac{\phi_t - \alpha * P_{xt}}{\phi_l} \right)^2$$

Ec. A.18

$n = \text{Numero de estribos en la longitud de anclaje}$

$\phi_t = \text{diametro de estribos, en mm.}$

$\phi_l = \text{diametros de barras principales, mm.}$

$\alpha = \text{coeficiente dependiente del tipo de ataque}$

$\alpha = 2.$  Si la corrosión es homogénea.

$\alpha = 10.$  Si la corrosión es localizada

$P_{xt} = \text{Penetración de ataque medio en estribos, en mm (Ec. A.7, pero considerando la armadura de estribo)}$

$P_x = \text{Penetración de ataque medio en las barras principales, en mm (Ec. A.7)}$

La adherencia residual calculada en las ecuaciones A.12, A.13, A.14, A.15, A.16 ó A.17 según sea el caso, debe ser menor a la tensión de adherencia calculada mediante la siguiente expresión:

$$f = \frac{V}{0.9 * d * \pi * \phi_{tr} * n}$$

Ec. A.19

Donde.

$f = \text{Tensión de Adherencia, en Mpa.}$

$V = \text{Fuerza de Corte, en N.}$

$d = \text{Canto Util, en mm.}$

$\phi_{tr} = \text{diametros de barras traccionadas, en mm}$

$n = \text{Número de barras traccionadas.}$

## A.9 APERTURAS DE FISURAS

Para el cálculo de anchos de fisuras se tomará en cuenta el siguiente método:

$$w = 0.05 + \beta * (P_x - P_{x0})$$

Ec. A.20

Donde.

$w$  = Ancho de la fisura estimado, en mm.

$P_s$  = Penetración de ataque, en mm.

$P_{x0}$  = Penetración de ataque correspondiente al inicio de la corrosión en mm.

$\beta$  = coeficiente que depende de la posición de la barra.

$\beta = 0.01$ , para armadura superior.

$\beta = 0.0125$ , para armadura inferior.

La penetración de ataque correspondiente al inicio de la corrosión puede estimarse según la siguiente ecuación.

$$P_{x0} = \left( 83.8 + 7.4 * \frac{r}{\phi} - 22.6 * f_{ci} \right) * 10^{-3}$$

Ec. A.21

Donde.

$r$  = Espesor de recubrimiento de la armadura, en mm.

$\phi$  = Diámetro de la armadura, en mm.

$f_{ci}$  = Resistencia característica a compresión del hormigón, en MPa.

$$f_{ci} = 0.333 * f_c'^{2/3}$$

Ec. A.22

$f_c'$  = Resistencia característica a compresión del hormigón, en Mpa

El Código ACI 224 presenta una expresión para estimar el máximo ancho de fisura, la cual puede ser utilizada en forma alternativa a la ecuación.

- Ancho de fisura superficial, en flexión (Gergely y Lutz, 1968)

$$w_m = 0.011 + f_x * (d_c * A_c)^{0.33} * 10^{-3}$$

Ec. 4.23

$$A_c = 2 * d_c * s_l$$

Ec. 4.24

Donde.

$w_m$  = Ancho máximo de fisura probable, en mm

$f_s$  = Tensión en el acero de la armadura, en MPa.

$d_c$  = Distancia entre el centro de una barra hasta la fibra extrema traccionada en mm

$s_l$  = Separación de las barras, en mm.

$A_c$  = Sección de hormigón simétrico con las armaduras dividido por el número de barras, en mm<sup>2</sup>.

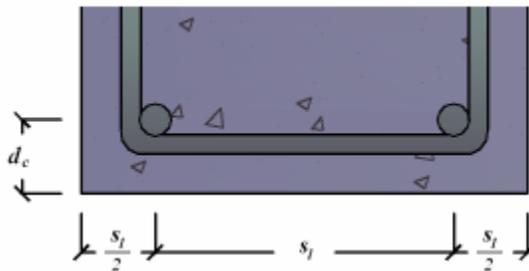


Figura A.12 Obtención de parámetros  $d_c$  y  $s_l$ .

Fuente: Manual de Armaduras de refuerzo para hormigón, Gerdau Aza

## A.10 ECUACIONES DE MAYORACIÓN DE CARGAS

Según Código ACI 2005

$$U = 1.4 * (P + F) \quad \text{Ec. A. 25}$$

$$U = 1.2 * (P + F + T) + 1.6 * (L + H) + 0.5 * (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) \quad \text{Ec. A. 26}$$

$$U = 1.2 * P + 1.6 * (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (1.0 * L \text{ ó } 0.87 W) \quad \text{Ec. A. 27}$$

$$U = 1.2 * P + 1.6 * W + 1.0 * L + 0.5 * (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) \quad \text{Ec. A. 28}$$

$$U = 1.2 * P + 1.6 * W + 1.0 * L + 0.5 * (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) \quad \text{Ec. A. 29}$$

$$U = 1.2 * P + 1.0 * E + 1.0 * L + 0.2 * S \quad \text{Ec. A. 30}$$

$$U = 0.9 * P + 1.6 * W + 1.6 * H \quad \text{Ec. A. 31}$$

$$U = 0.9 * P + 1.6 * E + 1.6 * H \quad \text{Ec. A. 32}$$

Donde,

P = Carga Permanente.

F = Carga debida al Peso y Presión del Fluido.

T=Efectos acumulados de Variación de Temperatura, Flujo Plástico, Retracción, Asentamiento Diferencial, y Retracción del hormigón de retracción compensada.

L = Sobrecarga.

H = Carga debida al Peso y Presión del Suelo.

L<sub>r</sub> = Sobrecarga de Cubierta.

W = Carga por Viento.

E = Carga por Sismo.

R = Carga por Lluvia.

## A.11 CÁLCULO DEL ESTADO LÍMITE DE SERVICIO.

Se calcula de acuerdo a la ecuación (Ec.A.33).

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_d}\right) * I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_d}\right)\right] * I_{cr}$$

Ec. A.33

Donde.

$I_e$  = Momento de inercia de la sección bruta del elemento, sin tener en cuenta el refuerzo, en  $\text{mm}^4$ .

$I_{cr}$  = Momento de inercia de la sección fisurada, en  $\text{mm}^4$ .

$M_d$  = Momento máximo no mayorado presente en elemento, en Nmm.

$M_{cr}$  = Momento de fisuración, en Nmm.

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_g}{y_t}$$

Ec. A.34

$y_t$  = Distancia desde el eje centroidal de la sección total a la fibra extrema en tracción, sin considerar el refuerzo, en mm

$f_r$  = Modulo de ruptura del hormigón, en Mpa.

$$f_r = 0.7 * \sqrt{f'_c}$$

Ec. A.35

$f'_c$  = Resistencia característica del hormigón a compresión, en Mpa.

La deflexión adicional a lo largo, resultante del flujo plástico y la retracción de elementos en flexión, debe determinarse multiplicando la deflexión inmediata causada por la carga permanente por el factor  $\lambda_\Delta$ .

$$\lambda_\Delta = \frac{\varepsilon}{1 + 50 * \rho'}$$

Ec. A.36

Donde.

$\rho'$  = Cuantía de refuerzo a compresión evaluada sobre el área transversal

$\epsilon$  = Factor dependiente del tiempo para cargas sostenidas. Tabla A.9

<b>Tiempo</b>	<b><math>\epsilon</math></b>
5 años o más	2.0
12 meses	1.4
6 meses	1.2
3 meses	1.0

Tabla A.9 Factor dependiente del tiempo para cargas sostenidas.

Fuente: Código ACI 2005.

La sumatoria de la deflación instantánea y la deflexión a largo plazo no debe superar los valores propuestos en la siguiente tabla.

<b>Tipo de Elemento</b>	<b>Límite de Deflexión</b>
Cubiertas planas que no soporten ni estén ligadas a elementos no estructurales, susceptibles de sufrir danos debido a deflexiones grandes.	$\frac{l}{180}$
Entrepisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales, susceptibles de sufrir daños debido a deformaciones grandes.	$\frac{l}{360}$
Sistema de entrepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales, susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	$\frac{l}{480}$
Sistema de entrepiso o cubierta que soporta o esté ligado a elementos no estructurales, no susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	$\frac{l}{240}$

Tabla A.10 Deflexión máxima admisible.

Fuente: Código ACI 2005.

Donde.

$l$  = Luz de la viga o losa en una dirección; proyección libre del voladizo, en mm.



## **ANEXO B, CARTA DE COLORES PARA LA DETERMINACIÓN DE CEMENTO ALUMINOSO Y CEMENTO PÓRTLAND**

La determinación del tipo de cemento mediante coloración, es una prueba complementaria a la realizada mediante ensayos de oxina y sulfatos.

Las Figuras muestran la coloración superficial e interior que puede adoptar el cemento dependiendo de si es Pórtland o Aluminoso.

### **CEMENTO PÓRTLAND – SUPERFICIAL**



*Figura B.1 Coloración adoptada superficialmente por el cemento Pórtland.*

*Fuente: Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña.*

## CEMENTO PÓRTLAND - INTERIOR



PANTONE Cool Gray 5  
U



PANTONE Cool Gray 6  
U



PANTONE Cool Gray 7  
U

*Figura B.2 Coloración adoptada interiormente por el cemento Pórtland*

*Fuente: Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña.*

## CEMENTO ALUMINOSO – SUPERFICIAL



PANTONE Warm Gray 5  
U



PANTONE Warm Gray 6  
U



PANTONE Warm Gray 7  
U

*Figura B3 Coloración adoptada superficialmente por el cemento aluminoso.*

*Fuente: Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña.*

## CEMENTO ALUMINOSO – INTERIOR



PANTONE 4625 U



PANTONE 4635 U



PANTONE 4645 U

*Figura B.4 Coloración adoptada interiormente por el cemento aluminoso.*

*Fuente: Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña.*



## **ANEXO C. FICHAS DE CATEGORIZACIÓN DE DAÑOS**

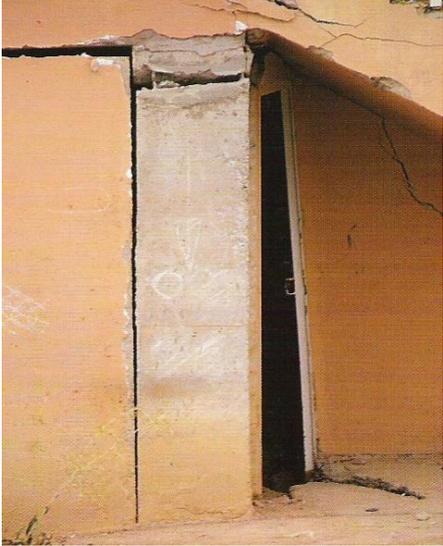
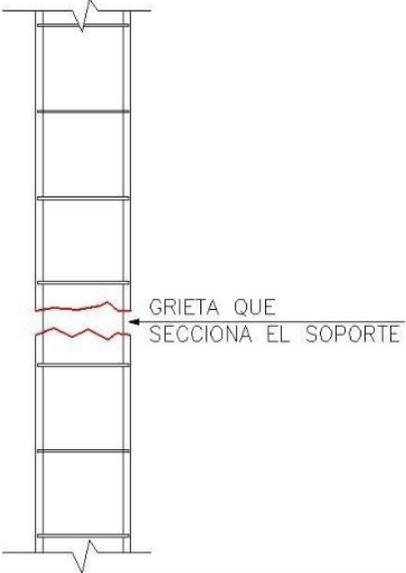
En muchas ocasiones la mejor forma de entender cómo se comporta un material en su ambiente de trabajo es conocer cómo ese material se desgasta, se fisura, se agrieta y, en definitiva, se rompe. Este apartado pretende ser una pequeña recopilación de cómo expresar las patologías más comunes que puede sufrir una estructura de hormigón armado para poder comprender, de este modo, todo lo estudiado en los dos apartados anteriores. Sin duda sólo se tomarán algunas de todas las patologías y lesiones que puede sufrir cualquier elemento estructural de hormigón armado, pero el objetivo de este apartado no es el de abarcar todo el caso sino el de sintetizar para dar una guía de cómo hacer, llenar una ficha de categorización de daños más usuales de forma práctica y cómoda: por elementos y por daño. Un factor a tener en cuenta a la hora de realizar un estudio patológico es que generalmente las lesiones se originan por más de una causa, e incluso suele haber más de un tipo de daño a la vez. Por tanto, a la hora de llenar las distintas fichas de este apartado se debe considerar que los daños no tienen por qué tener una sola causa.

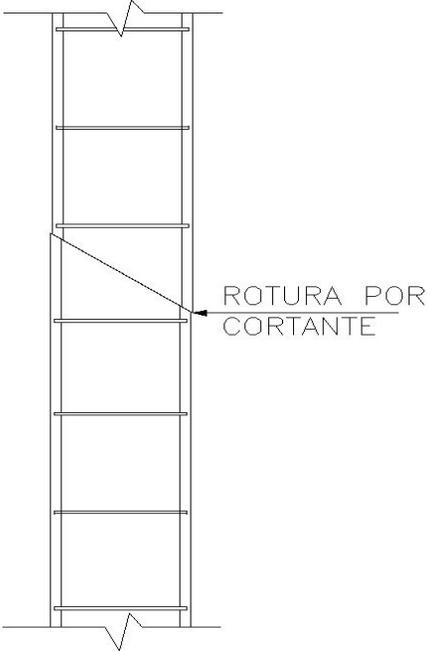
Las fichas describen brevemente la patología, tanto gráficamente como por escrito, y comentan las posibles causas que han podido provocarla, así como una pequeña orientación a la hora de repararla.

A continuación, se muestra un tipo y la forma en que se despliega la información

ELEMENTO	ELEMENTO (Pilar)	COORD: P-1	CÓDIGO DE FICHA
TIPO DE DAÑO	PATOLOGÍA: Adelgazamiento por erosión de pilar		CROQUIS DE REFERENCIA
FOTOS DE REFERENCIA	<p data-bbox="479 598 560 619">FOTOGRAFÍA:</p>  <p data-bbox="738 598 803 619">CROQUIS:</p> 		
DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	<p data-bbox="479 924 560 945">DESCRIPCIÓN:</p> <p data-bbox="479 945 998 1029">Consiste en trazo de filo, vertical (vertical) se encuentra a 100 cm del eje del pilar, de carácter leve y más grave que el filo en los pilares al no poder soportar la carga a que está sometido. Además, puede provocar que los cables se deslicen por los huecos y disminuyendo los esfuerzos y dañando los cables. Para evitar este peligro resulta fundamental el correcto fraccionamiento de los cables.</p>		
CAUSAS	<p data-bbox="479 1039 544 1060">CAUSAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adelgazamiento de los cables en el pilar.</li> <li>• Desdoblamiento de los cables, que se encuentran juntos en la zona inferior a los huecos durante el vertido del hormigón en el pilar.</li> <li>• Acciones de viento:             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Acción horizontal.</li> <li>➢ Acción vertical.</li> <li>➢ Acción de carga.</li> </ul> </li> <li>• Acciones de impacto de la instalación.</li> <li>• Otros.</li> </ul>	<p data-bbox="738 1039 803 1060">MEDIDAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apuntalar con alfileres y alinear el pilar por medio de un sistema de tirantes e aislante a juego de cables de acero. Si se requiere alinear con patillas metálicas se debe utilizar las patillas superiores e inferiores para evitar la posible perforación en el forjado superior e inferior si no tiene suficiente soporte a cortante que se le aporta.</li> </ul>	MEDIDAS Y REPARACIONES A REALIZAR

Figura C.1 Ficha de Caracterización de Daños.  
Fuente: Propia

<b>Elemento:</b> Pilares	<b>Código:</b> P-1
<b>Patología:</b> Rotura por tracción del Pilar	
<p><b>Fotografía:</b></p> 	<p><b>Croquis:</b></p> 
<p><b>Descripción:</b></p> <p>Fisura o grieta que selecciona la pieza en horizontal. Si el pilar está poco armado se agrieta horizontalmente y queda colgada la estructura; si es muy armado aparecen fisuras abiertas y finas en toda su longitud. Esta Patología es muy grave pasando a cambiar el esquema estructural de la pieza soportando solicitaciones para las cuales no fueron diseñadas.</p>	
<p><b>Causas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del momento axil al que estaba sometido la pieza. Motivado por: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Asentamiento del cimiento por variación del terreno.</li> <li>- Omisión de vigas centradora o insuficiente.</li> <li>- Acortamiento de las cabezas de los pilares inferiores, por fluencia.</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>Medidas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Averiguar qué sucede en la cimentación.</li> <li>• Si continua el asiento se procederá: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Apuntalar</li> <li>- Recalzar el cimiento</li> <li>- Reforzar la estructura</li> </ul> </li> <li>• Si la fisuración sólo aparece en las plantas altas se debe probar la resistencia de los pilares inferiores, sobre todo en la cabeza de los mismos.</li> </ul>

<b>Elemento:</b> Pilares	<b>Código:</b> P-2
<b>Patología:</b> Rotura por cortante del pilar	
<p><b>Fotografía</b></p> 	<p><b>Croquis:</b></p> 
<p><b>Descripción:</b>          Consiste en una rotura rápida y muy grave que fisura dos caras en horizontal y en las otras dos a 60°. Es una rotura poco frecuente, pero cuando aparece lo hace de forma muy rápida siendo menor la capacidad de aviso cuanto menor sea la armadura transversal.</p>	
<p><b>Causas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño inadecuado             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Armado Transversal insuficiente</li> <li>- Hormigón Deficiente</li> <li>- Sección insuficiente</li> </ul> </li> <li>• Empuje Horizontal superior al previsto</li> <li>• Deslizamiento de la cimentación.</li> </ul>	<p><b>Medidas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apuntalar con Urgencia.</li> <li>• Reforzar el pilar por medio de un recrecio añadiendo mayor número de estribos, o reforzar con perfiles de acero.</li> </ul>

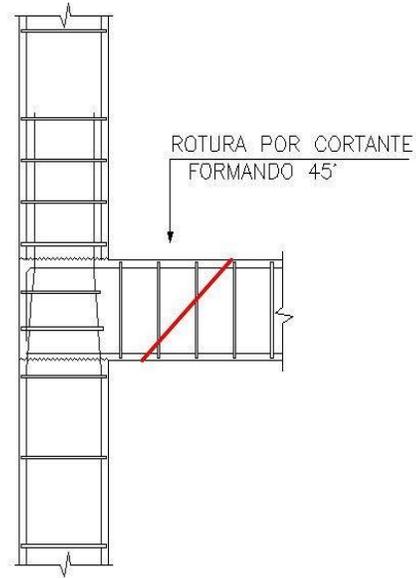
<b>Elemento:</b> Vigas	<b>Código:</b> V-1
------------------------	--------------------

**Patología:** Rotura por cortante de una viga

**Fotografía**



**Croquis:**



**Descripción:**

Son fisuras muy peligrosas, que dependen básicamente de la cuantía de los estribos; a mayor cuantía mayor tiempo de aviso, mientras que en ausencia de estribos la rotura es instantánea. Consiste en una fisuración a 45° dirigiéndose hacia el apoyo y seccionando la viga. Este tipo de rotura se ve incrementada cuando los estribos no tienen la suficiente longitud de anclaje o todos los estribos están anclados en la misma barra.

**Causas:**

- Cargas superiores a las previstas.
- Menor Resistencia del hormigón.
- Sección insipiente de la viga.
- Colocación inadecuada de los estribos.
  - Menor diámetro
  - Separación amplia
  - Escasa longitud de anclaje
  - Mal encofrado
- Cálculo Erróneo

**Medidas:**

- Apuntalar con Urgencia.
- Reforzar la viga por medio de recrecidos de hormigón colocando armadura transversal formando horquillas con resinas epoxi.
- Reducir cargas y sellar fisuras.

**Elemento:** Losas

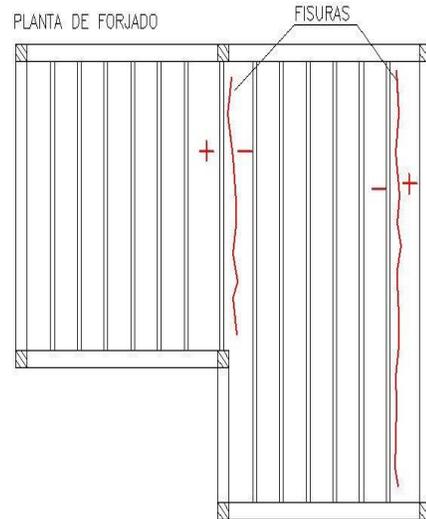
**Código:** L-1

**Patología:** Deformación excesiva o flecha de viguetas

**Fotografía**



**Croquis:**



**Descripción:**

Fisuración cerrada en distintos planos que va desapareciendo a medida que se acerca a la viga. Cuando la vigueta flecha por fallo en ésta o por soportar una carga elevada, se produce en la parte inferior de la losa, esta fisura cerrada, que tiene distintos niveles quedando un lado de la fisura más bajo que el otro lado. De existir tabiques éstos también sufrirán fisuras que dependerán de la posición de éstos sobre el forjado.

**Causas:**

- Rigidez insuficiente del forjado
- Colocación de un canto menor al considerado en los cálculos.
- Sobrecargas elevadas en una zona del forjado.
- Hormigón Deficiente por ausencia de vibrado, o con menor resistencia.
- Luces mayores a las consideradas en los cálculos.
- Ausencia de armadura de reparto.
- En voladizos, por ausencia del zuncho de borde.

**Medidas:**

- Apuntalar si se considera necesario.
- Eliminar la causa que lo provoque.
- En Voladizos aumentará la rigidez de las viguetas reforzándolas.
- Si las fisuras no han afectado la resistencia y adherencia bastará con sellarlas con algún mortero para evitar una posible corrosión.

**Elemento:** Cimentación

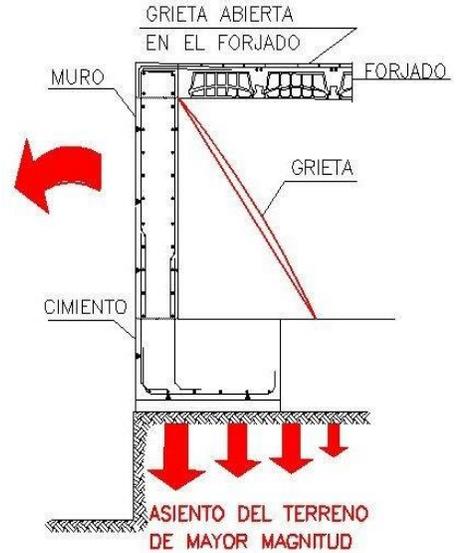
**Código:** C-1

**Patología:** Asiento de la cimentación

**Fotografía:**



**Croquis:**



**Descripción:**

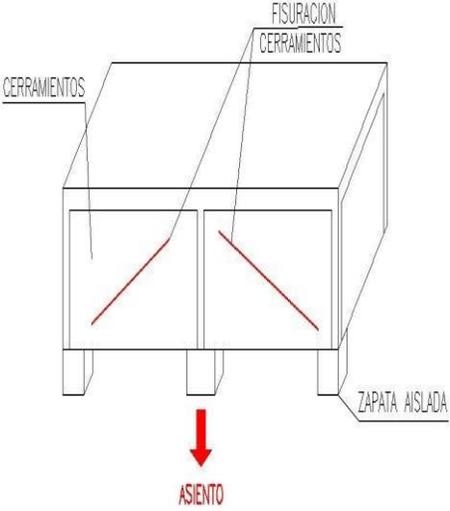
Las cimentaciones corridas, por tener normalmente escasa profundidad, están más expuestas a los movimientos del terreno. Los asentamientos que sufren les causan grietas a 45° más abiertas por la parte superior que se cierra a medida que se aleja de la zona de mayor asiento. Esta patología es muy común en cimentaciones muy superficiales.

**Causas:**

- Asiento de mayor magnitud en una cimentación.
- Excavación más profunda en solar medianero.
- Zanjas profundas para instalación de redes.

**Medidas:**

- Eliminar la causa que provoca el asiento y reparar las grietas.
- Recalzar la cimentación si se estima conveniente.

<b>Elemento: Cimentación</b>	<b>Código: C-2</b>
<b>Patología:</b> Asiento de la zapata de un pilar	
<p><b>Fotografía:</b></p> 	<p><b>Croquis:</b></p> 
<p><b>Descripción:</b></p> <p>El asiento de la zapata de un pilar provoca grietas inclinadas en los cerramientos que se alejan de forma descendente de la zapata que ha asentado. Si el asiento es muy elevado, además de la grieta de tracción diagonal en los tabiques, el forjado puede desprenderse y la cimentación incluso puede sufrir giros quedando la edificación próxima al estado de ruina.</p>	
<p><b>Causas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotura de las redes de agua o saneamiento, que provocan la alteración de las condiciones del terreno modificando su capacidad portante.</li> <li>• Oquedades en el terreno muy próximas a la base de la zapata.</li> <li>• Existencia de una zona de relleno de tierras en una zona del solar.</li> <li>• Presión excesiva sobre el terreno.</li> </ul>	<p><b>Medidas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigar la causa y corregirla.</li> <li>• Si el asiento continuo, apuntalar y recalzar el cimiento.</li> <li>• Si se trata de terreno expansivo llegar con el recalce hasta la profundidad activa.</li> </ul>

**Elemento:** Muro de contención

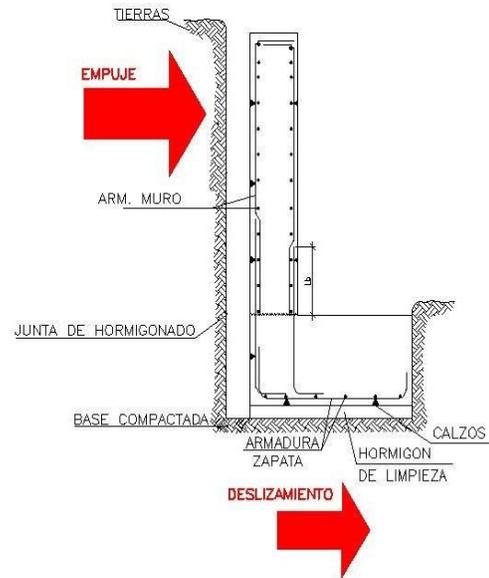
**Código:** MC-1

**Patología:** Deslizamiento de un muro de Contención

**Fotografía:**



**Croquis:**



**Descripción:**

Los muros de gravedad que no tienen el peso suficiente vuelcan o deslizan. Cuando dos muros están dispuestos transversalmente y uno desliza, éste rompe a tracción apareciendo una grieta vertical de abertura constante perdiendo la trabazón entre ambos. De igual forma le puede suceder al muro que soporta distintas capas de terreno y éstas deslizan.

**Causas:**

- Peso insuficiente.
- Cálculo deficiente.
- Aumento del empuje.

**Medidas:**

- Aumentar sección.
- Reducir empuje.



## **ANEXO D. FORMULARIOS DE INSPECCIÓN, EVALUACIÓN ESTRUCTURAL SIMPLIFICADA**

Con el fin de recopilar toda la información para realizar la Evaluación estructural simplificada, expuesta en el Capítulo 4, se propone lo siguiente:

Formulario de Inspección, incluye todas las mediciones y observaciones que se deben realizar al elemento y/o edificio a evaluar.

Formulario para evaluación simplificada, proporciona todos los pasos que se deben realizar para evaluar, en el orden en que se deben realizar y, además, cuáles son las tablas y ecuaciones que se deben considerar.

Formulario de Inspección  
*Observaciones y Mediciones*

Edificio : \_\_\_\_\_  
 Uso : \_\_\_\_\_  
 Elemento Estructural : \_\_\_\_\_

*I. Aspectos cualitativos del hormigón*

(1) Color del Cemento \_\_\_\_\_  
 (2) Tipo de Cemento \_\_\_\_\_  
 (3) Resistencia a la demolición \_\_\_\_\_  
 (4) Calidad del Hormigón \_\_\_\_\_

*II. Daños en la armadura*

Diámetro de la armadura, en mm \_\_\_\_\_  
 Diámetro inicial de la armadura, en mm \_\_\_\_\_  
 Pérdida de sección de armadura, en % \_\_\_\_\_  
 (5) Capa de óxido \_\_\_\_\_  
 (6) Nivel de Corrosión \_\_\_\_\_

*III. Daños en el hormigón*

Ancho de la sección, en cm \_\_\_\_\_  
 Altura de la sección, en cm \_\_\_\_\_  
 Ancho inicial de la sección, en cm \_\_\_\_\_  
 Altura inicial de la sección, en cm \_\_\_\_\_  
 Espesor de recubrimiento, en mm \_\_\_\_\_  
 Pérdida de sección de hormigón, en % \_\_\_\_\_  
 Ancho de fisuras, en mm \_\_\_\_\_  
 (7) Desprendimiento de lasjas \_\_\_\_\_  
 Ancho de sales o gel expansivo, en mm \_\_\_\_\_  
 (8) Presencia de humedad \_\_\_\_\_  
 (9) Presencia de hongos \_\_\_\_\_

*IV. Nivel de daño observado, según Tablas Anexo C*

	1	2	3	4
Síntoma				
Origen				
Calificación del daño				

## **Rangos y criterios para completar el formulario de inspección**

Para completar el formulario de inspección, se requiere considerar los siguientes aspectos:

*(El formulario presenta una numeración para cada parámetro aquí detallado).*

### **(1) Color del Cemento**

Se debe comparar el color que presenta la estructura con la carta de colores propuesta en Anexo B.

Pantone 402 U	Pantone Cool Gray 5 U	Pantone Warm Gray 5 U	Pantone 4625 U
Pantone 403 U	Pantone Cool Gray 6 U	Pantone Warm Gray 6 U	Pantone 4635 U
Pantone 404 U	Pantone Cool Gray 7 U	Pantone Warm Gray 7 U	Pantone 4645 U

### **(2) Tipo de Cemento**

De acuerdo a la similitud que presente la coloración de la estructura con la carta de colores expuesta en Anexo B, se determinará si el cemento es Aluminoso o Pórtland.

**Cemento Pórtland Superficial:** Pantone 402 U, 403 U o 404 U

**Cemento Pórtland Interior:** Pantone Cool Gray 5 U, Cool Gray 6 U o Cool Gray 7 U

**Cemento Aluminoso Superficial:** Pantone Warm Gray 5 U, Warm Gray 6 U o Warm Gray 7 U  
**Cemento Aluminoso Interior:** Pantone 4625 U, 4635 U o 4645 U

### **(3) Resistencia a la demolición**

Resistencia a la demolición Muy Alta

Resistencia a la demolición Alta

Resistencia a la demolición Media

Resistencia a la demolición Baja

### **(4) Calidad del Hormigón**

**Buena:** Fuerte Resistencia a la demolición y áridos rotos.

**Mala:** Baja Resistencia a la demolición, aspecto terroso y áridos intactos.

### **(5) Capa de Óxido**

Sin Corrosión, Óxido Superficial, Óxido en capa fina u Óxido en capa gruesa

### **(6) Nivel de Corrosión**

- **Despreciable:** No existe óxido visible, superficie lisa y brillante.
- **Bajo:** Óxido superficial sin aparente pérdida de sección, textura ligeramente áspera, color marrón claro o anaranjado, o marrón bien oscuro.
- **Moderado:** Óxido en capa fina con ligera pérdida de sección, textura rugosa, color marrón oscuro, apariencia pulverulenta, no puede desprenderse fácilmente con la mano.
- **Alto:** Óxido en capa gruesa con pérdida de sección considerable, textura muy rugosa y áspera, aumento de volumen de forma considerable, desprendimiento fácilmente con la mano.

### **(7) Presencia de humedad**

Sin manchas, humedad esporádica o permanentemente húmeda.

### **(8) Presencia de hongos**

Existe presencia de hongos o no existe presencia de hongos.

Formulario Evaluación Estructural Simplificada

*Edificio* : \_\_\_\_\_  
*Uso* : \_\_\_\_\_  
*Elemento Estructural* : \_\_\_\_\_

*I. Agresividad Ambiental*

Tipo Ambiente, (Tabla 4.2) 


  
 Designación, (Tabla 4.2) 


  
 Puntuación, A.A. (Tabla 4.3) 

--

*II. Índice de Daño por Corrosión*

	Medición	Puntuación (Tabla 4.4)
Profundidad de Carbonatación, en mm		
Profundidad de Cloruros, en mm		
Ancho de Fisuras, en mm		
Resistividad del hormigón, en $\Omega\text{m}$		
Pérdida de sección de armadura, en %		
Intensidad de Corrosión, en mA/cm <sup>2</sup>		
Promedio de Puntuación, IDC		

*III. Índice por Corrosión*

Puntuación, A.A. (ver *pto. I*) 


  
 Puntuación, IDC. (ver *pto. II*) 


  
 Promedio de A.A e IDC, IC

*IV. Índice Estructural*

*a) Elementos a Flexión*

Diámetro de la armadura transversal, en mm	
Distancia entre estribos, en mm	
Canto efectivo, en mm	
Puntuación de Armadura Transversal, (Tabla 4.5)	
Diámetro armadura longitudinal, en mm	
Cuantía, en %	
Tipo de cuantía	
Puntuación de Índice Estructural, IE, (Tabla 4.6)	

(continuación)

<b>5) Elemento a Flexo-compresión</b>	
Diámetro de la armadura transversal, en mm	
Distancia entre estribos, en mm	
Diámetro armadura longitudinal, en mm	
Índice de Pandeo, (Ec. 4.3)	
Puntuación de Armadura Transversal, (Tabla 4.8)	
Distancia entre barras principales, en mm	
Ancho de la sección, en cm	
Altura de la sección, en cm	
Índice de Estallido, (Ec. 4.4)	
Puntuación de Índice Estructural, IE, (Tabla 4.9)	
<b>IV. Índice de Daño Estructural</b>	
Consecuencias de Fallo	
Índice por Corrosión (IC), (ver gta. III)	
Índice Estructural (IE), (ver gta. IV)	
Índice de Daño Estructural, IDE, (Tabla 4.11)	
Urgencia de intervención, en años, (Tabla 4.12)	

Figura D.1 Formulario evaluación Estructural Simplificada, Instituto de Ciencias de la Construcción (CONTECVET-IN 309021)

## ANEXO E FORMULARIOS DE INSPECCIÓN PARA EVALUACIÓN POST SÍSMICA

<b>Forma para inspección postsísmica. Evaluación rápida</b>			
<b>Identificación del edificio</b>			
Dirección: _____			Zona _____
Colonia: _____			
<b>Número de niveles sobre el terreno (incluyendo azotca y mezanines)</b>			
Sótanos	Si <input type="radio"/>	No <input type="radio"/>	Núm _____ Desconocido <input type="radio"/>
<b>Uso</b> Casa habitación <input type="radio"/> Departamentos <input type="radio"/> Comercios <input type="radio"/> Oficinas públicas <input type="radio"/>			
Oficinas privadas <input type="radio"/> Industrias <input type="radio"/> Estacionamientos <input type="radio"/> Bodegas <input type="radio"/>			
Educación <input type="radio"/> Recreativo <input type="radio"/> Otro: _____			
<b>Información adicional</b> _____			
<b>Instrucciones</b>			
Revisar la edificación para las condiciones señaladas abajo. Con un <i>Sí</i> a cualesquiera de las preguntas 1,2,3,4,5, marcar la edificación como <i>Insegura</i> . Con un <i>Sí</i> a las preguntas 6 o 7 marcar <i>Área insegura</i> y colocar barreras alrededor de la zona en peligro. Si en esta evaluación existen dudas se debe marcar <i>Cuidado</i> .			
<b>Estado de la edificación</b>			
	Si	No	Existen dudas
1) Derrumbe total o parcial, edificación separada de su cimentación o falla de esta. Hundimiento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Inclinación notoria de la edificación o de algún entrepiso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Daño en miembros estructurales (columnas, vigas, muros)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Daño severo en muros no estructurales, escaleras, etc	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5) Grietas, movimiento del suelo o deslizamiento de talud	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6) Pretilos, balcones u otros objetos en peligro de caer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7) Otros peligros (derrames tóxicos, líneas rotas, etc).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

*Figura E.1 Formato de evaluación rápida*

*Fuente: II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)*

**Clasificación global**

**Habitable**

Inspección exterior únicamente

Inspección interior y exterior

**Cuidado**

**Insegura**

**Inspectores** (Indicar profesión)

1 \_\_\_\_\_

2 \_\_\_\_\_

3 \_\_\_\_\_

**Fecha de inspección** \_\_\_\_\_

**Recomendaciones**

**No se requiere revisión futura**

**Es necesaria evaluación detallada** (señalar) Estructural  Geotécnica  Otra \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Área insegura** (colocar barreras en las siguientes áreas) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Otros** (remover elementos en peligro de caer, apuntalar, etc) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Comentarios**

Explicar los motivos principales de la clasificación \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

*Figura E.2 Formato de evaluación rápida*  
*Fuente: II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)*

(continuación)

(continuación)

<b>H A B I T A B L E</b> (Evaluación rápida)		
Esta edificación ha sido inspeccionada y se puede ocupar. Favor de informar a las autoridades cualquier condición insegura.		
Comentarios: _____ _____		
Dirección: _____		
Inspectores: _____		
Se efectuó revisión interior	Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/>	Fecha _____

*Figura E.3 Aviso "Habitable" para evaluación rápida del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)*

<b>C U I D A D O</b> (Evaluación rápida)		
Esta edificación se encuentra dañada y su seguridad está en duda. Prohibida la entrada a personas no autorizadas. Entre únicamente por emergencia y bajo su propio riesgo.		
Comentarios: _____ _____		
Dirección: _____		
Inspectores: _____		
Se efectuó revisión interior	Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/>	Fecha _____

*Figura E4 Aviso "Cuidado" para evaluación rápida del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)*

<b>I N S E G U R A</b> (Evaluación rápida)		
Esta edificación se encuentra seriamente dañada; es insegura. Peligro de lesiones o muerte. No entrar u ocupar.		
Comentarios: _____ _____		
Dirección: _____		
Inspectores: _____		
Se efectuó revisión interior	Si <input type="radio"/>	No <input type="radio"/> Fecha _____

*Figura E.5 Aviso "Insegura" para evaluación rápida del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)*

## Forma para inspección postsísmica. Evaluación detallada

### Descripción de la edificación

Zona \_\_\_\_\_

Dirección \_\_\_\_\_  
Colonia \_\_\_\_\_

#### Posición del edificio en la manzana

Esquina  Medio  Libre

#### Época de construcción

Antes 1957  1957-1985  1985-

Área total del edificio, todos los niveles (m<sup>2</sup>) \_\_\_\_\_

Número de niveles sobre el terreno (incluyendo azotea y mezanines) \_\_\_\_\_

Sótanos \_\_\_\_\_ Mezanines \_\_\_\_\_ Apéndices \_\_\_\_\_

#### Tipo de terreno

Zona del lago  Transición  Lomas

#### Uso principal

Casa habitación  Departamentos  Comercios  Oficinas públicas

Oficinas privadas  Industrias  Estacionamientos  Bodegas

Educación  Recreativo  Salud y protección social

Otro \_\_\_\_\_

Información adicional \_\_\_\_\_

(En la hoja 4 dibujar planta con grados de daño y algún otro croquis de interés)

### Descripción de la estructura

#### Material de la estructura

[	Concreto reforzado:	[	Mampostería:	Ladrillo sólido <input type="radio"/>
	Colado en el lugar <input type="radio"/>		Ladrillo hueco <input type="radio"/>	
	Prefabricado <input type="radio"/>		Concreto <input type="radio"/>	

Acero  Madera  Otro \_\_\_\_\_

Cimentación No se sabe   
Zapatillas  Losa corrida  Pilotes  Otro \_\_\_\_\_

(continuación)

(continuación)

<b>Sistema estructural</b>			
Marcos	<input type="radio"/>	Muros de concreto	<input type="radio"/>
Marcos contraventeados	<input type="radio"/>	Marcos con muros de concreto	<input type="radio"/>
Marcos con muros de relleno de tabique	<input type="radio"/>	Marcos con muros de relleno de tabique	<input type="radio"/>
Losa plana reticular, columnas	<input type="radio"/>	Mampostería reforzada	<input type="radio"/>
Muros de tabique sin reforzar, con castillos y dalas	<input type="radio"/>	Otro	_____
<b>Sistema de piso</b>			
Losa maciza con trabes	<input type="radio"/>	Losa plana	<input type="radio"/>
Prefabricado	<input type="radio"/>	Losa plana reticular	<input type="radio"/>
No se sabe	<input type="radio"/>	Otro	_____
<b>Estructura de techo (En caso de estructura especial)</b>			
Acero	<input type="radio"/>	Concreto reforzado	<input type="radio"/>
Madera	<input type="radio"/>	Otro	_____
<b>Regularidad planta</b>			
Buena	<input type="radio"/>	Intermedia	<input type="radio"/>
Mala	<input type="radio"/>	Ver descripción tablas 3-4	
vertical Buena	<input type="radio"/>	Intermedia	<input type="radio"/>
Mala	<input type="radio"/>	Ver Figs 7 y 8	
En casos de clasificación "mala" indicar en los comentarios (hoja 4) las características asociadas a esta clasificación (tablas 3 y 4)			
<b>Daños previos por sismos</b>			
Si	<input type="radio"/>	Año _____	No <input type="radio"/>
No se sabe	<input type="radio"/>		
<b>Reparaciones anteriores</b>			
Si	<input type="radio"/>	Año _____	No <input type="radio"/>
No se sabe	<input type="radio"/>		
Tipo de reparación _____			
<b>Pérdidas humanas (Muertos/heridos)</b>			
Si	<input type="radio"/>	No <input type="radio"/>	No se sabe <input type="radio"/>
Si existen datos	<input type="radio"/>	Número de muertos _____	Número de heridos _____
<b>Evaluación de la seguridad de la estructura</b>			
Nivel de riesgo			
	A	B	C
<b>Daño exterior</b>	ACEPTABLE	INTERMEDIO	ALTO
Grietas en suelo, separación de cimentación	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Valor medio del asentamiento o emersión	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inclinación de la edificación, en porcentaje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<b>Daño de miembros estructurales en el entrepiso</b> Núm _____ (En la dirección más dañada)			
a) Estructura a base de marcos o losa plana reticular.			
Número total de columnas exteriores _____			
Relación del número de columnas (o vigas) con grado de daño entre el número de columnas exteriores.			
Grado IV _____	<10% <input type="radio"/>	10-30% <input type="radio"/>	>30% <input type="radio"/>
Grado V _____	<5% <input type="radio"/>	5-15% <input type="radio"/>	>15% <input type="radio"/>

(continuación)

(continuación)

b) Estructura a base de muros

Longitud total de muros exteriores (m) \_\_\_\_\_

Relación de la longitud de muros exteriores con grado de daño entre la longitud total

Grado IV \_\_\_\_\_ <10%  10-30%  >30%

Grado V \_\_\_\_\_ <5%  5-15%  >15%

**Daño interior**

c) Estructura a base de marcos o losa plana reticular

Número total de columnas interiores \_\_\_\_\_

Relación del número de columnas (o vigas) con grado de daño entre el número de columnas interiores.

Grado IV \_\_\_\_\_ <10%  10-30%  >30%

Grado V \_\_\_\_\_ <5%  5-15%  >15%

d) Estructura a base de muros

Longitud total de muros interiores (m) \_\_\_\_\_

Relación de la longitud de muros interiores con grado de daño entre la longitud total

Grado IV \_\_\_\_\_ <10%  10-30%  >30%

Grado V \_\_\_\_\_ <5%  5-15%  >15%

**CLASIFICACIÓN**

	Evaluación Rápida		Evaluación Detallada
	Sí <input type="radio"/>	No <input type="radio"/>	
Habitable	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cuidado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Insegura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**INSPECTORES**

1 \_\_\_\_\_  
2 \_\_\_\_\_  
3 \_\_\_\_\_

FECHA DE INSPECCIÓN \_\_\_\_\_

**EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES**

Exterior	Nivel de riesgo		
	A Aceptable	B Intermedio	C Alto
Vidrios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Torres de anuncios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acabados fachada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Balcones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Preñiles	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tanques elevados	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Otros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

(continuación)

(

<b>Interior</b>	<b>Nivel de riesgo</b>		
	A Aceptable	B intermedio	C Alto
Muros divisorios o particiones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cielos rasos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lámparas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Escaleras	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elevadores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Instalaciones (gas, eléctrica, etc)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Derrames tóxicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Recomendaciones**

Área insegura. Colocar barreras en las siguientes áreas \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Otros (Remover los elementos en peligro de caer, apuntalar, etc). \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Fotografías      Sí       No

**Comentarios**

Explicar los motivos principales de clasificación y **posibles causas del daño**. Indicar si los daños fueron más importantes en columnas, vigas o losas planas. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Esquema**

*Figura E.6 Formato de evaluación detallada del II-UNAM (Rodríguez y Castrillón 1995)*

<b>H A B I T A B L E</b>	
(Evaluación detallada)	
Esta edificación ha sido inspeccionada y se puede ocupar. Favor de informar a las autoridades cualquier condición insegura.	
Comentarios:	_____
Dirección:	_____
Inspectores:	_____
	Fecha _____

*Figura E.7 Aviso "Habitable" para evaluación detallada del II-UNAM  
(Rodríguez y Castrillón 1995)*

<b>C U I D A D O</b>	
(Evaluación detallada)	
Esta edificación se encuentra dañada y su seguridad está en duda. Prohibida la entrada a personas no autorizadas. Entre únicamente por emergencia y bajo su propio riesgo.	
Comentarios:	_____
Dirección:	_____
Inspectores:	_____
	Fecha _____

*Figura E.7 Aviso "Cuidado" para evaluación detallada del II-UNAM  
(Rodríguez y Castrillón 1995)*

<b>I N S E G U R A</b>	
(Evaluación detallada)	
Esta edificación se encuentra seriamente dañada; es insegura. Peligro de lesiones o muerte. No entrar u ocupar.	
Comentarios:	_____
Dirección:	_____
Inspectores:	_____
	Fecha _____

*Figura E.9 Aviso "Insegura" para la evaluación detallada del II-UNAM  
(Rodríguez y Castrillón 1995)*

## **ANEXO F. ALGUNOS MÉTODOS DE REPARACIONES Y REFUERZO DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO**

### **F.1 REPARACIÓN DE FISURAS**

La reparación de fisuras consiste en su cierre a fin de restaurar el elemento estructural afectado e impedir la entrada de agentes agresivos que puedan corroer el acero de las armaduras. Esta forma de deterioro del hormigón se manifiesta a través de:

- Fisuras puntuales de elementos estructurales.
- Varias fisuras paralelas.
- Mapa de fisuras en elementos superficiales.

Las consecuencias que puede ocasionar la existencia de las fisuras van desde una mala transmisión de cargas (fisuras estructurales), pérdidas de impermeabilidad o de durabilidad, hasta simples problemas de estética.

#### **Sistemas de reparación:**

La solución a aplicar a los problemas de fisuración va a depender del tipo de fisuras que sean (causa) y de lo que se pretende con el tratamiento (a qué consecuencia se pretende evitar). Destacan los siguientes:

##### **a) Inyección de fisura.**

Consiste en colmatar y rellenar totalmente la fisura en todo su volumen. Este sistema no presenta ningún tipo de problema cuando se aplica sobre fisuras muertas, que no tienen movimiento; sin embargo, no es adecuado en fisuras vivas en las que la amplitud es variable con el tiempo o con los cambios de temperatura.

Respecto al material de inyección en la fisura se pueden emplear sistemas epoxi sin disolventes, resinas de poliuretano, resinas acrílicas y poliéster insaturados. Cualquiera que sea el material empleado debe poseer un gran poder de penetración y adherencia a las superficies del hormigón; además de ser resistentes a la penetración de humedad y al ataque de los álcalis del cemento.

**Procedimiento:**

- Limpieza de la fisura por soplado de la misma.
- Confinamiento de la fisura por sellado superficial de la misma. Dependiendo del ancho de la fisura y de lo sano que esté el hormigón se pueden usar tres sistemas de sellado de la cara de la fisura:
  - Sellado de la superficie con cinta adhesiva de tejido de vidrio impregnado en epoxi.
  - Sellado con masilla epoxi.
  - Abertura superficial o cajado de la sección en V.
- Colocación de los inyectores.
- Inyección. Se pueden considerar dos tipos de equipo de inyección:
  - Los que emplean el sistema previamente mezclado
  - Los que emplean dos componentes sueltos que se mezclan a la salida del equipo.

Una vez terminada la inyección y cuando se ha producido el endurecimiento de la formulación se procede a quitar la capa de sellado superficial, simplemente por razones estéticas.

**Fotografía:**

La imagen muestra los inyectores a la espera de recibir la formulación epoxi. Éstos se introducen en taladros que previamente se han realizado por diversos medios (camisas expansivas, masillas epoxi, etc.). Dichos taladros suelen ser inclinados con respecto al plano de la fisura.



*Figura F.1 Inyectores a la espera de recibir formulación epoxi.*

*Fuente: Caso Práctico Informe Preliminar de la EUAT*

**b) Sellado superficial.**

Consiste en tapar sólo la parte superficial de la fisura (la apertura de la misma). Este tratamiento es adecuado cuando lo que se pretende es devolver la impermeabilidad a la junta a la vez que se incrementa la durabilidad. Es muy empleado en fisuras muertas.

**Procedimiento:**

- Apertura de la fisura en forma de V.
- Limpieza del polvo formado.
- Sellado de la fisura.

**c) Punteo superficial.**

Consiste en colocar sobre la fisura una banda elastomérica muy flexible pegada a ambos lados. Este tratamiento es adecuado como en el caso anterior, pero en el que se prevén unos movimientos de fisuras muy grandes, tanto transversales como longitudinales.

**Procedimiento:**

- Preparación de la superficie a ambos lados de la fisura.
- Colocación de la banda elastomérica.

**d) Tratamiento realizado.**

Consiste en colocar un revestimiento fino (aprox. 2 mm) encima de una superficie con un mapa de fisuras. Es adecuado cuando se pretende reparar la fisuración por razones estéticas.

**Procedimiento:**

- Preparación de la superficie mediante chorro de agua o arena.
- Aplicación de capa de pintura.

**e) Cosido de Fisuras.**

Consiste en colocar perpendicularmente a la fisura un elemento resistente que impida que ésta se mueva. Este tratamiento es adecuado en fisuras de cerramientos, paredes y muros, para estabilizar la fisura.

**Procedimiento:**

- Preparación de la superficie mediante cepillado de la misma.
- Colocación de las grapas o lañas de acero. Se colocarán con diferentes orientaciones para evitar su deslizamiento frente al esfuerzo que soportan. Las patillas de las grapas se introducen en taladros previamente perforados, colmatándose los huecos existentes entre las patillas y taladros mediante una resina epoxi. A veces todo el grapado se recubre con una capa de mortero.

## **F.2 REPARACIÓN DE LOS DAÑOS POR LA CORROSIÓN**

La reparación de una estructura dañada por corrosión de armaduras es una labor lenta y en ocasiones muy compleja; según la situación y el acceso del elemento estructural dañado y de la gravedad de sus daños. Las principales consecuencias que produce la corrosión son:

- Aparición de manchas marrones en el hormigón.
- Pérdida de adherencia entre el acero y el hormigón.
- Fisuración del hormigón, provocada por el hinchamiento que tienen las armaduras al corroerse.
- Desprendimiento, a medio plazo, del recubrimiento de hormigón.
- Pérdida de sección de la armadura.

Parar un proceso de corrosión, una vez que éste haya comenzado, es prácticamente imposible, salvo que se emplee protección catódica; pero a veces es factible si se sustituye el hormigón contaminado, se reparan las armaduras afectadas y se crea una barrera adecuada para impedir el paso de la humedad, los iones cloro y el CO<sub>2</sub>.

### **SISTEMAS DE REPARACIÓN:**

Los sistemas de reparación de los daños provocados por la corrosión se dividen en las siguientes etapas:

- Saneado. Es la eliminación de las partes sueltas o mal adheridas hasta conseguir un soporte sano, duro y resistente. El espesor de la capa a eliminar dependerá de la cantidad de cloruros que posea éste, de la porosidad del mismo y del grado de carbonatación. Esta operación se realizará mediante medios manuales (picado con puntero) o con medios mecánicos (martillo neumático, etc.), y podrá extenderse hasta la parte posterior de las barras para que el material de reparación envuelva enteramente las barras.
- Limpieza. Es la eliminación del hormigón de toda la suciedad y polvo; y del acero todo el óxido y sustancias extrañas. Se empleará el cepillado, el chorro de arena o el de agua según convenga.

- Pasivación. Es la aplicación sobre la armadura de una capa protectora de epoxi que impida la futura corrosión, a la vez que se mejora la adherencia de las siguientes capas. En el caso de que la corrosión haya disminuido la sección de acero del orden de un 20% se cortarán los trozos de barra debilitadas y se soldarán o atarán trozos sanos de armadura
- Regeneración. Consiste en la aplicación de un mortero que devuelva el recubrimiento y la geometría original del hormigón. Dependiendo de la gama de productos que se utilicen se pueden distinguir varios sistemas:
  - Aplicación manual de morteros cementosos bicomponentes.
  - Aplicación manual de morteros cementosos monocomponentes.
  - Aplicación manual de morteros de resina epoxi.
- Revestimiento (optativo). Consiste en la aplicación sobre la superficie de hormigón de una fina capa de (2-3 mm) de mortero para igualar, dar impermeabilidad y tapar poros.
- Protección superficial. Todo el proceso anterior debe completarse con una buena protección superficial que proteja al material de la acción del CO<sub>2</sub> y de los cloruros.

**FOTOGRAFÍA:**



*Figura F.2 1.2.3, Instituto de Ciencias de la Construcción  
Fuente: Caso Práctico Informe Preliminar de la EUAT*

1. Caso claro de corrosión de la armadura de un pilar debido a que dicha armadura quedó al descubierto.

2. Aplicación en la armadura de acero de una pintura de epoxi que actúe como protección ante la corrosión, y como puente de adherencia con el futuro mortero de reparación.

3. Ejemplo de la reparación de diversas zonas de un pilar afectado por la corrosión.

### **F.3 RECRECIDOS DE HORMIGÓN ARMADO.**

Consiste en incrementar la sección de hormigón del elemento estructural dañado o debilitado, aumentando de esta forma su capacidad resistente. Esta técnica es una de las más empleadas y sus ventajas son:

- Realizada adecuadamente ofrece unos resultados excelentes y superiores al resto de sistemas.
- Menor coste económico y mayor rapidez de ejecución.
- No genera efectos secundarios en la mayor parte de casos.

Por el contrario, sus desventajas son:

- El elemento reforzado no puede ponerse en carga hasta que el hormigón haya alcanzado su resistencia de cálculo (28 días).
- Puede afectar a parte de la estructura al modificar la rigidez de la misma.
- Incrementos grandes de sección provoca problemas de espacio, estéticos, etc.

La forma de realizar un recrecido es diferente según se trate de un elemento estructural vertical (pilares o columnas) o de un elemento estructural horizontal (vigas, viguetas, forjados, etc.), por tanto, el estudio de los recrecidos se realizará por separado

#### **a) Recrecido en Pilares.**

El refuerzo de pilares de hormigón armado que no tienen la resistencia de proyecto como consecuencia de una mala calidad de hormigón o de falta de armadura, y de aquellos que siendo de buena calidad y estando bien armados han de estar sometidos a cargas superiores para las que fueron proyectados se puede realizar mediante el recrecido de las caras de los mismos en toda su altura con hormigón de adecuada resistencia. A estos pilares se les colocará una armadura principal de cuantía similar a la existente que se diseñará para absorber todas las sollicitaciones del pilar dañado. Esto tiene la desventaja de que se produce un aumento de sección que puede crear problemas de espacio, por el contrario, tiene la ventaja de que trabaja unido al pilar original por la

adherencia que existe entre los dos hormigones, motivada por el efecto zuncho que produce la retracción del nuevo hormigón.

### **Sistema de reparación.**

Se pueden emplear dos sistemas:

1. Con hormigón tradicional vertido en el interior de los encofrados.

- Preparación previa del pilar existente. Consiste en eliminar la capa superficial de lechada y, el polvo y la suciedad para así poder garantizar la adherencia entre los dos hormigones.
- Realización de cajeadado (opcional). Para lograr una mayor trabazón entre los dos hormigones se puede realizar cajeados de unos 3 cm. de profundidad alternándolos en tramos de unos 35 cm.
- Colocación de la armadura. El refuerzo debe realizarse en toda la longitud del pilar afectado, por tanto, las barras de acero se colocarán en toda la altura y anclándose tanto el hormigón de las placas superiores e inferiores de pisos como en la cimentación
- Colocación de los encofrados alrededor del pilar.
- Hormigonado. En la mezcla del hormigón es adecuado el empleo de aditivos como los fluidificantes para darle capacidad de auto compactación y auto nivelación al hormigón. En ocasiones también puede ser interesante la aplicación de resinas epoxi sobre el hormigón existente para facilitar la adherencia.

2. Con Hormigón proyecta sin necesidad de encofrado.

- Cuando el espesor de los recrecidos es inferior a 10 cm. este sistema resulta más eficiente ya que no precisa de encofrados. Una vez estén colocadas las armaduras del recrecido se procede al proyectado, alcanzando espesores de hasta 5 cm.

## FOTOGRAFÍA:



(1)



(2)

*Figura F.3 Recrecido de armadura en pilar*

*Fuente: Caso Práctico Informe Preliminar de la EUAT*

1. Ejemplo de la armadura que irá alojada en el recrecido del hormigón de un pilar que vio reducida su capacidad portante por una mala ejecución.
2. Conectores que garantizarán la transmisión de cargas entre las armaduras: la nueva y la existente, y viceversa.

### b) **Recrecido en Vigas.**

Consiste en incrementar la sección de hormigón (y normalmente también la de acero) de la viga para aumentar la capacidad resistente a flexión, a cortante o a ambas.

### **Sistemas de reparación:**

El método de recrecido de una viga dañada más empleado se divide en varias etapas

- Preparación previa de la viga.

Apear la viga afectada y a ser posible descargarla

- Eliminación de la capa de mortero más superficial de la viga mediante herramientas manuales o con chorro de arena.
- Descarnado del hormigón hasta encontrar los estribos.
- Realización del cajeadado

- Colocación de la nueva armadura de refuerzo.
  - Soldado de los nuevos estribos a los antiguos.
  - Colocación de las barras longitudinales a lo largo de los nuevos estribos.
  - Colocación de los encofrados.
- Hormigonado. Antes del hormigonado es recomendable la aplicación de una formulación epoxi de unión entre los dos hormigones.



a)



(2)

*Figura F.4 Recrecido de armadura en Vigas*

*Fuente: Caso Práctico Informe Preliminar de la EUAT*

1. En la imagen se observa la operación de apuntalamiento posteriormente se sitúa la posición del armado de la viga para definir la armadura de refuerzo.
2. Se ve la posición de la armadura de refuerzo. Los estribos están cocidos a la viga.

## **F.4 REFUERZO CON PERFILES METÁLICOS**

Consiste en adosar exteriormente perfiles laminados de acero a los elementos de hormigón armado a reforzar. Esta técnica, de las más antiguas en el campo de los refuerzos, tiene como ventajas:

- Rapidez de ejecución y puesta en carga de la estructura reforzada.
- Produce un zunchado de la sección del hormigón existente de forma que el comportamiento resistente del elemento reforzado se mejora de forma considerable.
- La fricción existente entre el acero del refuerzo y el hormigón del elemento provoca que una parte muy importante de la carga, sobre todo el cortante, sea transmitida hacia los angulares.

Las desventajas de este sistema son:

- El proyecto y la ejecución del refuerzo exigen una atención máxima.
- Una mala ejecución o diseño pueden provocar que no sólo cumpla su misión de refuerzo, sino que puede debilitar a otros elementos de la estructura al someterlos a acciones para los que no estaban proyectados.

### **a) Refuerzo de Pilares.**

#### **Sistemas de Reparación:**

La ejecución del refuerzo de pilares con angulares metálicos puede dividirse en varias etapas:

- Preparación previa del soporte.
  - Apeo del pilar si fuese necesario y descargarlo lo máximo posible.
  - Saneado y limpieza de la superficie del pilar. Para garantizar que la adaptación de los refuerzos colocados al hormigón sea máxima se deben eliminar las aristas vivas de las esquinas de los pilares para que los angulares encajen mejor.

- También se debe limpiar de lechada las superficies horizontales del hormigón que van a estar en contacto con los adhesivos de unión entre el acero y el hormigón.
- Colocación de los angulares. Se dispondrán en las cuatro esquinas del pilar y estarán sujetos con gatos hasta que se les suelden las presillas transversales que mantienen a los angulares en su correcta posición, impidiendo el pandeo del elemento y manteniéndolos apretados contra el hormigón. Para mejorar este apriete se pueden calentar las presillas a una temperatura de unos 400°C y soldarlas en caliente para que entren a trabajar a tracción al enfriarse.
- Relleno del espacio entre angulares y el hormigón. Se puede rellenar estos huecos por medio de una pasta o mortero de cemento de retracción compensada a fin de lograr un buen contacto entre los angulares y el hormigón.
- Proyección de hormigón (opcional). El refuerzo puede finalizarse recubriéndolo con una capa de hormigón proyectado al que se le puede incorporar una armadura adicional o una tela de gallinero que sujete bien la capa de hormigón de recubrimiento.
- Colocación de palastros de acero. Para dar continuidad a los pilares reforzados de las diferentes plantas es preciso garantizar la transmisión de cargas entre ellos. Esto se consigue atravesando los forjados por medio de palastros de acero soldados en las dos caras opuestas a los pilares y en las zonas en que había bovedillas. Esto en el caso de que se tratase de pórticos unidireccionales, en el caso de que al pilar acometan vigas perpendiculares la unión puede realizarse por medio de barras cuadradas de acero colocadas en las esquinas. En el caso de que sea muy perjudicial atravesar el forjado se debe analizar cómo puede afectar los efectos del punzonamiento sobre el forjado.

Algunas recomendaciones en el diseño y ejecución de esta técnica:

- La sección de acero del refuerzo proyectado ha de ser tal que sea capaz de absorber la totalidad de los esfuerzos verticales que se transmiten a través del pilar.
- Cuando se refuerce un pilar es recomendable reforzar todos los pilares, que, en el mismo vertical, estén debajo de él hasta llegar a cimentación. En el caso de que los que estén debajo sean de buena calidad y de sección superior a la del pilar reforzado no sería necesario.

Otras variantes de esta técnica son:

- Colocación de perfiles de gran inercia y rigidez formando una nueva columna en contacto o a una cierta separación del pilar existente. Este conjunto se enlaza, encofra y hormigona.
- Encamisado del pilar por medio de chapas de acero (4-6 mm) soldadas entre sí. El espacio existente entre chapas y hormigón se rellena con mortero sin retracción y ligeramente expansivo.



(1)



(2)

*Figura F5 Refuerzo de pilar con Perfiles Metálicos*

*Fuente: Caso Práctico Informe Preliminar de la EUAT*

## b) Refuerzo en Vigas

Al igual que en los recrecidos de hormigón el objetivo de los angulares metálicos es incrementar la sección de hormigón (y normalmente también la de acero) de la viga para aumentar la capacidad resistente a flexión, a cortante o a ambas. Esto se consigue uniendo los angulares por presillas de acero que atraviesan el forjado atando a toda la viga con el refuerzo.

Este sistema no se suele emplear en vigas ya que no es siempre eficiente porque al no existir una adherencia franca entre el hormigón y el acero, los angulares y el hormigón no entran en carga conjuntamente y de forma simultánea.



*Figura F.6 Estructuras reforzada con Perfiles Metálicos  
Fuente: Caso Práctico Informe Preliminar de la EUAT*

En la imagen se observa cómo se ha reforzado una estructura con perfiles angulares de acero, además de reforzar pilares y vigas también fue preciso mejorar la capacidad resistente de las viguetas. A las vigas se le adosaron lateralmente perfiles U que se cosieron por medio de presillas, que al contrario que en los pilares sólo tienen función de atado. En ocasiones también puede recurrirse al empleo de diagonales para arriostrar el conjunto, formando una celosía.

## **F.5 REFUERZO CON CHAPAS DE ACERO ENCOLADAS CON EPOXI**

Este sistema consiste en encolar con adhesivos de naturaleza epoxídica bandas de acero de sección conveniente en las zonas a reforzar de los elementos de hormigón armado. Las situaciones más comunes en las que se recurre a esta técnica son al existir un déficit en la cantidad de acero de armado debido a errores de proyecto o de ejecución; o bien para incrementar la capacidad resistente de elementos que reciben sobrecargas superiores a las consideradas en proyecto.

Esta técnica es muy empleada debida a su escaso costo, su rapidez y sus excelentes resultados, sobre todo en elementos horizontales sometidos a flexión, cortante o torsión como vigas y viguetas. A pesar de todas sus ventajas el sistema presenta limitaciones cuyo desconocimiento pueden provocar fallos:

- No puede emplearse con hormigones de resistencia inferior a 18 Mpa.
- No se pueden conseguir aumentos de la resistencia a flexión superior al 50% de la existente.

### **Sistemas de Reparación.**

Una correcta ejecución de esta técnica puede dividirse en las siguientes etapas:

- Preparación previa del soporte (bandas y hormigón):

Para garantizar la mejor adherencia entre la masilla epoxi y la superficie del hormigón es fundamental preparar tanto el hormigón como el acero:

- Se tienen que eliminar todas las partes débiles y contaminadas del hormigón tales como lechada superficial, aceites, grasas, etc., mediante chorro de arena, agua o cualquier otro método equivalente.
- Garantizar la planeidad de las superficies sobre las que se van a adherir las bandas de acero.
- Si existen fisuras en el hormigón de ancho superior a 0,2 mm es conveniente inyectarlas previamente.

- Si las chapas de acero van a estar expuestas a la intemperie antes de ser colocadas definitivamente es recomendable aplicarles una imprimación epoxi con pincel o pistola para protegerlas de la acción de la corrosión. Posteriormente antes de proceder a extender el adhesivo se debe lijar ligeramente dicha capa.
- Colocación del adhesivo y de la banda de acero:

Algunas recomendaciones para conseguir la mejor unión son:

- No emplear espesores de la capa de unión de masilla epoxi superiores a 1,5mm. Espesores mayores de dicho valor no mejoran su comportamiento, sino al contrario alcanzan valores más bajos de resistencia.
- El espesor de la banda de acero no debe ser superior a 3 mm, salvo que se empleen elementos adicionales de anclaje, que permiten alcanzar hasta los 10mm.
- Aplicada la masilla y colocada la banda en su posición se ejercerá una presión sobre la banda para conseguir que el espesor de la capa adhesiva sea el menor posible. Esta presión puede realizarse por medio de puntales telescópicos o de tornillo, debiendo ser uniforme al menos durante las primeras 24 horas, dependiendo de la reactividad de las resinas empleadas y de la temperatura ambiente. La presión se mantendrá hasta que la resina haya endurecido totalmente, aunque generalmente no es conveniente retirar los puntales antes de 7 días.
- Protección del refuerzo:
  - La parte reforzada del elemento estructural se debe proteger frente a los cambios de temperatura y especialmente contra el fuego ya que las formulaciones epoxi son sensibles a temperaturas de 70-80°C.
  - Como protección se suelen emplear capas de vermiculita, perlita o cualquier material aislante.

Otras variantes del sistema son:

- Idéntico sistema sustituyendo las bandas de acero por bandas laminadas de polímeros epoxídicos reforzados con fibras de carbono, de forma que el conjunto sea menos pesado.
- Sujetar la banda de acero por medio de tornillos o pernos y después inyectar las masillas epoxi en el hueco existente entre la banda de acero y el hormigón. Es más complejo de ejecutar, pero tiene la ventaja de eliminar las posibles burbujas de aire en la capa de unión.



*Figura F7 Viga reforzada con bandas encoladas*

*Fuente: Caso Práctico Informe Preliminar de la EUAT*



## ANEXO G. MATERIALES PARA LA REPARACIÓN

Con el fin complementar el Anexo F Métodos de Reparación y Refuerzo Estructuras se procede a adjuntar algunos materiales de reparación que nos proporciona la Organización **Sika®** a través de soluciones asociadas a la más avanzada tecnología para la reparación estructural.

En el siguiente Cuadro se procederá a ver las diferentes alternativas que nos proporciona dependiendo al daño y/o defecto presentado.

### 1. Reparación estructural.

<i><b>Daño</b></i>	<i><b>Requerimiento/Tipo</b></i>	<i><b>Sistema de Reparación</b></i>
Grietas y Fisuras	Pasivas (Reparación Estructural)	Inyección con Sikadur® 52 previo sellado con Sikadur® 31.
	Pasivas (Reparación Estructural y Refuerzo)	Inyección con Sikadur® 52 previo sellado con Sikadur® 31 y Refuerzo Exterior con Sistemas: Sika®Carbodur®.
	Activas (Sellado Superficial)	Sellado elástico con: Sikadur®Combiflex® o Sikaflex® 1A Plus
Deterioro Superficial	En General	Puente de Adherencia: Sikadur® 32 Gel - Recomposición del hormigón: Sika®MonoTop®615/620/312-NFG
	Sellado de poros y regularización en 1-3 mm	Sikaguard® 720 EpoCem
	Alta Resistencia al desgaste y exposición a sulfatos	- Puente de Adherencia: Sikadur® 32 Gel - Recomposición del hormigón: Sikadur® 41
	Fallas localizadas en losas, juntas y bordes	Sikadur® 41
Nidos de Grava	Daños Profundos	Puente de Adherencia: Sikadur® 32 Gel -Recomposición del hormigón: SikaGrout®-212 con árido grueso.
		Puente de Adherencia y anticorrosivo:

Corrosión de Armaduras	Con grietas o desprendimiento de hormigón.	Sikatop®Armatec®110EpoCem® - Composición del hormigón: Sika®MonoTop®615/620/312-NFG -Revestimiento final de protección sobre toda la superficie: Sikaguard
	Prevención en superficies sin daños visibles	-Revestimiento final de protección: Sikaguard® Acryl / Sikalastic® Frentes

## 2. Refuerzo estructural

<i>Sistema</i>	<i>Productos</i>
Refuerzo de elementos estructurales con láminas de fibra de carbono	Sika® Carbodur® y Sikadur® 30
Refuerzo de elementos estructurales con tejidos de fibra de carbono	SikaWrap® y Sikadur® 330 / Sikadur® 300
Encamisado con hormigón Armado	Sikadur® 31, Sikadur® 32 Gel y SikaGrout®-212 con agregado grueso.
Adición de muros de hormigón armado	Sika® AnchorFix®-2, Sika® AnchorFix®-3001, Sikadur® 31, Sikadur® 32 Gel, Hormigón fluido con Sika® Viscocrete®.

*Nota:* En cada caso, respetar la dosis e instrucciones de aplicación de cada producto que se muestra en el Manual del Constructor Sika®, o a través de sus manuales de productos que nos proporcionan, para mayor información ingresar a <https://bol.sika.com>

## ANEXO H. FORMULARIOS Y CHECK LIST RECOMENDADOS

Check list, presenta todos los pasos y procedimientos que se deben realizar para evaluar, en forma simplificada, una estructura.

Los formularios y check list, se presentan de forma fácil y detallada, con la finalidad de facilitar el procedimiento de evaluación, ahorrar tiempo y proceder de manera ordenada.

CHECK LIST 			
1	Observar Coloración del Cemento		
2	Observar Presencia de humedad		
3	Observar Presencia de hongos		
4	Observar Desprendimiento de lajas		
5	Observar Resistencia a la demolición del hormigón		
6	Observar Capa de óxido		
7	Observar Nivel de Corrosión		
8	Realizar Extracción de Testigos		
9	Realizar Ensayo de Esclerometría		
10	Realizar Ensayo de Compresión de Probetas		
11	Realizar Ensayo de Carbonatación		
12	Realizar Ensayo de Cloruros		
13	Realizar Ensayo de Tipo de Cemento		
14	Realizar Ensayo de Resistencia Eléctrica		
15	Realizar Ensayo de Velocidad de Corrosión		
16	Realizar Ensayo de Ultrasonido		
17	Realizar Ensayo de Detección de Armadura		
18	Medir Diámetro de la armadura longitudinal, en mm		
19	Medir Diámetro inicial de la armadura long., en mm		
20	Medir Diámetro de la armadura transversal, en mm		
21	Medir Diámetro inicial de la armadura transv., en mm		
22	Medir Ancho de la sección, en cm		
23	Medir Ancho inicial de la sección, en cm		
24	Medir Altura de la sección, en cm		
25	Medir Altura inicial de la sección, en cm		

26	Medir Espesor de recubrimiento, en mm		
27	Medir Canto efectivo, en mm		
28	Medir Ancho de fisuras, en mm		
29	Medir Ancho de sales o gel expansivo, en mm		
30	Medir Profundidad de Carbonatación, en mm		
31	Medir Profundidad de Cloruros, en mm		
32	Medir Distancia entre estribos, en mm		
33	Medir Distancia entre barras principales, en mm		
34	Calcular Pérdida de sección de armadura, en %		
35	Calcular Pérdida de sección de hormigón, en %		
36	Calcular Cuantía, en %		
37	Calcular Índice de Pandeo		
38	Calcular Índice de Estallido		
39	Determinar Tipo de Cemento		
40	Determinar Tipo de Ambiente		
41	Determinar Tipo de Cuantía		
42	Determinar Consecuencias de Fallo		
43	Determinar Agresividad Ambiental, AA		
44	Determinar Índice de Daño por Corrosión, IDC		
45	Determinar Índice de Corrosión, IC		
46	Determinar Índice Estructural, IE		
47	Determinar Índice de Daño Estructural, IDE		
48	Determinar Urgencia de Intervención		