

# Estudio Técnico



**Protección de estructuras de hormigón  
mediante realcalinizador químico**

**MasterProtect 126 Grey**

**UNE EN 1504-2**



**Contacto:**

Master Builders

Solutions España, S.L.U.

Carretera de l'Hospitalet, 147-149

08940 Cornellà de Llobregat

Tel. 9361 94 600

[mbs-cc@mbcc-group.com](mailto:mbs-cc@mbcc-group.com)

[www.master-builders-solutions.com/es.es](http://www.master-builders-solutions.com/es.es)

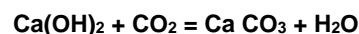
## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>2. SISTEMAS DE PROTECCIÓN SUPERFICIAL (SPS)</b>	<b>4</b>
Permeabilidad al vapor de agua y al CO <sub>2</sub> de una pintura anticarbonatación elástica	5
<b>Mecanismos de difusión frente al H<sub>2</sub>O:</b>	<b>5</b>
<b>Mecanismos de difusión frente CO<sub>2</sub>:</b>	<b>6</b>
2.1 Permeabilidad al vapor de agua y al CO <sub>2</sub> del realcalinizador MasterProtect 126 Grey	6
<b>Mecanismos de difusión frente H<sub>2</sub>O:</b>	<b>6</b>
<b>Mecanismos de difusión frente CO<sub>2</sub>:</b>	<b>6</b>
2.2 Permeabilidad al CO <sub>2</sub> de un recubrimiento de hormigón de buena calidad	6
<b>Mecanismos de difusión frente CO<sub>2</sub>:</b>	<b>6</b>
<b>3. MECANISMOS DE REALCALINIZACIÓN DEL HORMIGÓN</b>	<b>8</b>
3.1 Realcalinización electroquímica (RAE) mediante protección catódica o ánodos de zinc	8
3.2 Realcalinización química (RAE): Uso de MasterProtect 126 Grey	9
<b>Efectividad del tratamiento de realcalinización química con MasterProtect 126 Grey</b>	<b>10</b>
3.3 Ensayos realizados	11
<b>Preparación y propiedades de las muestras:</b>	<b>12</b>
<b>Aplicación de MasterProtect 126 Grey mezclado con MasterSeal 600:</b>	<b>12</b>
<b>4. Resultados de los ensayos de profundidad de carbonatación</b>	<b>13</b>
<b>5. Resultados de los ensayos de realcalinización</b>	<b>13</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>14</b>
<b>7. VALORACIÓN ECONÓMICA</b>	<b>14</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El hormigón nuevo tiene una elevada capacidad para proteger a las armaduras frente al fenómeno de la corrosión. Los hidróxidos de calcio, sodio y potasio disueltos en la solución acuosa de la red de poros del hormigón, así como los álcalis solubles de los agregados, provocan que el pH de la disolución presente en los poros se encuentre en valores de entre 12,5-13,5. En estas condiciones de alcalinidad, el acero envuelto en hormigón se encuentra dentro del diagrama de Pourbaix en el punto P, y por tanto en una fase de protección frente a la corrosión (*figura 1*).

El hormigón es un material poroso y por tanto permite la penetración a su interior del dióxido de carbono del aire. Cuando esto sucede se produce una reacción del CO<sub>2</sub> con la fase líquida intersticial saturada de hidróxido cálcico, Ca(OH)<sub>2</sub>, del hormigón y de los compuestos hidratados del cemento en equilibrio con dicha fase líquida. En términos muy simplificados, la reacción se puede escribir como:



Como consecuencia se forma Carbonato Cálcico, CaCO<sub>3</sub>. Los carbonatos se van formando a nivel superficial de fuera hacia adentro, avanzando como un frente denominado frente de carbonatación. Cuando todo el Ca(OH)<sub>2</sub>, NaOH y KOH presentes en los poros ha sido carbonatado, el pH empieza a decrecer hasta niveles de pH < 9. De esta forma, el frente de carbonatación es un frente con un pH ácido, y cuando este frente alcanza las armaduras, éstas pasan del estado pasivo, para unas condiciones de pH como las del punto P de la *figura 1*, a la zona de corrosión del diagrama de Pourbaix.

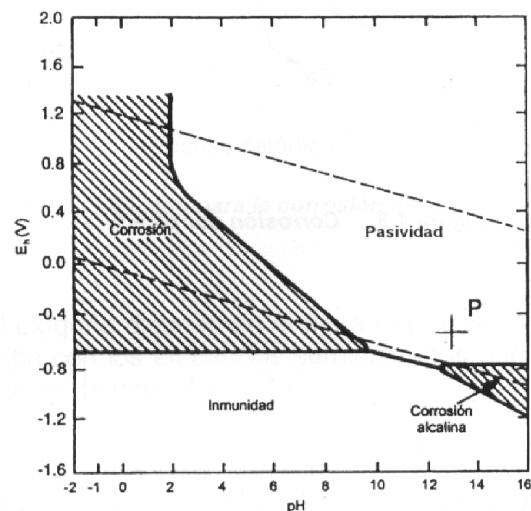


Figura 1. Diagrama de Pourbaix

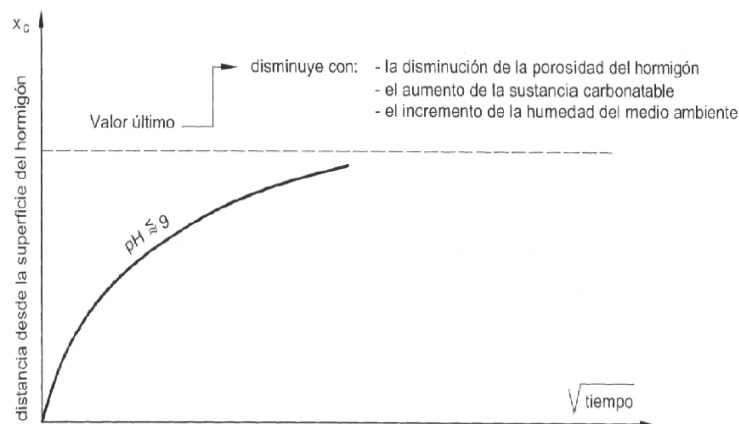
De esta forma podemos afirmar que la carbonatación del hormigón que envuelve las armaduras tiene un efecto de desprotección de las armaduras frente al fenómeno de la corrosión.

Como en todo proceso de difusión, se puede suponer en una primera aproximación, que el avance del frente carbonatado depende de la raíz cuadrada del tiempo:  $X_c = K_c \cdot t^{1/2}$

Siendo:

- X<sub>c</sub>= profundidad de la capa carbonatada en mm.
- K<sub>c</sub>= constante de carbonatación en mm/año que y depende de la calidad del hormigón y de la humedad ambiental.
- t = tiempo en años.

Este es un modelo que se ajusta muy bien a la realidad para ambientes con baja humedad. En ambientes con humedades relativas altas, el avance del frente de carbonatación es más lento que el que predice la ecuación, lo que sugiere una profundidad límite para el frente carbonatado.



El desarrollo de la carbonatación depende en gran medida de diversos factores: permeabilidad del hormigón, contenido de cemento, contenido de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, humedad relativa del ambiente, etc.

## 2. SISTEMAS DE PROTECCIÓN SUPERFICIAL (SPS)

La norma EN 1504, Reparación y Protección de estructuras de hormigón, dentro del Capítulo 2, Sistemas de protección del hormigón, contempla entre otras medidas el uso de membranas de protección. La aplicación de sistemas de protección en forma de membranas o recubrimientos está especialmente recomendada por su versatilidad y efectividad en casos en los que la estructura de hormigón no esté contaminada con cloruros (donde otras técnicas como el uso de inhibidores de corrosión base silanos tipo MasterProtect 8000 CI son más efectivas e incluso complementarias).

La protección que ofrecen frente estas membranas superficiales frente a la carbonatación está relacionada con la calidad del material empleado y con el espesor de aplicación en seco.

Para la protección de estructuras de hormigón suelen aplicarse criterios de permeabilidad de los revestimientos aplicados tanto frente al Dióxido Carbónico (o Anhídrido Carbónico) como al agua líquida o vapor de agua. Los criterios de protección se basan en:

- La máxima impermeabilidad al Dióxido Carbónico ( $\mu \text{CO}_2$ ).
- La máxima permeabilidad al vapor de agua ( $\mu \text{H}_2\text{O}$ ) y la máxima impermeabilidad al agua líquida.

Tipo de recubrimiento de protección	$\mu \text{CO}_2$	$\mu \text{H}_2\text{O}$
Revoque de mortero	64	15
Revestimiento impermeable rígido MasterSeal 531	5.922	
Revestimiento realcalinizador MasterProtect 126 Grey	37.421	850
Pintura anticarbonatación elástica MasterProtect 330 EL	202.083	2.553
Membrana impermeable cementosa MasterSeal 6100 FX	41.600	650
Revestimiento a base de poliuretano	$17 \cdot 10^6$	135.000
Revestimiento epoxídico	$17 \cdot 10^6$	168.000

A tenor de los estudios de Klopfer, un recubrimiento protege de la carbonatación si su espesor equivalente de aire supera los 50 metros (valor actualmente recogido en la EN 1504). Bastaría entonces un espesor de 50 micras de un revestimiento con un  $\mu$  de  $1 \cdot 10^6$  para proteger un hormigón de la carbonatación. Para conseguir el mismo resultado con un revoque de mortero, debería tener un espesor de 0,78 m ( $64 \times 0,78=50$ ).

Se puede deducir de la tabla que una mayor protección frente a la carbonatación trae como consecuencia una mayor barrera contra la difusión de vapor de agua, y consecuentemente, un mayor riesgo de condensación de agua, y de presión al revestimiento que ocasionaría una pérdida de adherencia.

La EN 1504 considera permeable al vapor de agua aquel revestimiento aplicado que presente un espesor de aire equivalente inferior a 5 metros.

Características	Ensayos	Requerimientos (Espesor de aire equivalente)
Permeabilidad al CO <sub>2</sub>	EN 1062-6	Sd > 50 m
Permeabilidad al vapor de agua	EN ISO 7783-1 EN ISO 7783-2	Clase I: Sd < 5 m (permeable al vapor de agua) Clase II: 5 m ≤ Sd ≤ 50 m Clase III: Sd > 50 m (impermeable al vapor de agua)

En función de los valores declarados de la tabla de tipos de recubrimientos de protección, podríamos comparar la capacidad protectora de las distintas soluciones.

### Permeabilidad al vapor de agua y al CO<sub>2</sub> de una pintura anticarbonatación elástica

#### Mecanismos de difusión frente al H<sub>2</sub>O:

El espesor de aire equivalente para un revestimiento acrílico tipo **MasterProtect 330 EL** con un espesor de película seca de 308  $\mu$ m se obtiene de la siguiente fórmula:

$$Sd_{H_2O} = \mu_{H_2O} \cdot S$$

Siendo:

$\mu_{H_2O}$ : Coeficiente de difusión al H<sub>2</sub>O.

S: espesor de película seca en metros.

Sd<sub>H<sub>2</sub>O</sub>: Espesor de aire equivalente.

$Sd_{H_2O} = 2553 \cdot 308 \cdot 10^{-6} = 0,786$  metros; lo cual resulta muy inferior al máximo establecido de 5 metros para una membrana permeable al vapor de agua.

### Mecanismos de difusión frente CO<sub>2</sub>:

El espesor de aire equivalente para un revestimiento acrílico tipo **MasterProtect 330 EL** con un espesor de película seca de 308 µm se obtiene de la siguiente fórmula:

$$Sd_{CO_2} = \mu_{CO_2} \cdot S$$

Siendo:

$\mu_{CO_2}$ : Coeficiente de difusión al CO<sub>2</sub>.

S: espesor de película seca en metros.

Sd<sub>CO<sub>2</sub></sub>: Espesor de aire equivalente.

$$Sd_{CO_2} = 202083 \cdot 308 \cdot 10^{-6} = 62,24 \text{ metros, (Sd} > 50\text{m)}$$

### 2.1 Permeabilidad al vapor de agua y al CO<sub>2</sub> del realcalinizador MasterProtect 126 Grey

#### Mecanismos de difusión frente H<sub>2</sub>O:

El espesor de aire equivalente para un revestimiento tipo **MasterProtect 126 Grey** con un espesor de película seca de 3mm se obtiene de la misma fórmula anterior.

$Sd_{H_2O} = 850 \cdot 0,003 = 2,55$  metros, valor inferior al máximo establecido de 5 metros para una membrana permeable al vapor de agua.

#### Mecanismos de difusión frente CO<sub>2</sub>:

El espesor de aire equivalente para un revestimiento tipo **MasterProtect 126 Grey** con un espesor de película seca de 3mm se obtiene de la misma fórmula anterior.

$$Sd_{CO_2} = 37.421 \cdot 0,003 = 112,263 \text{ metros (Sd} > 50\text{m)}$$



### 2.2 Permeabilidad al CO<sub>2</sub> de un recubrimiento de hormigón de buena calidad

La permeabilidad al CO<sub>2</sub> del hormigón depende de diversos factores, como la buena ejecución de la mezcla, el grado de carbonatación, la porosidad o compactación, etc. En base a estos condicionantes, es normal aceptar valores de permeabilidad al CO<sub>2</sub> de entre 100 y 400. Se puede considerar por tanto un valor de  $\mu_{CO_2} = 400$  como el correspondiente a un hormigón de buena calidad.

#### Mecanismos de difusión frente CO<sub>2</sub>:

Para alcanzar un espesor de aire equivalente para un recubrimiento de hormigón de 50m, necesitaríamos un recubrimiento de (S), que se obtiene de la misma fórmula anterior.

$$Sd_{CO_2} = \mu_{CO_2} \cdot S$$

Siendo:

$\mu_{CO_2}$ : Coeficiente de difusión al  $CO_2$ .

S: espesor de película seca en metros.

$Sd_{CO_2}$ : Espesor de aire equivalente.

Para los rangos menores y mayores de  $\mu_{CO_2}$  del hormigón (100 y 400) y para una protección de  $Sd_{CO_2}$  de 50m:

$$\mu_{CO_2} = 100$$

$$Sd_{CO_2} = 50$$

$$S: \text{espesor de película seca en metros} = 0,5m = 50cm$$

$$\mu_{CO_2} = 400$$

$$Sd_{CO_2} = 50$$

$$S: \text{espesor de película seca en metros} = 0,125m = 12,5cm$$

Necesitaremos por tanto un espesor de hormigón de entre 12,5 y 50cm para conseguir la protección frente a la carbonatación que exige la EN 1504-2.

#### Comparativo de espesor de aire equivalente para conseguir una protección frente al $CO_2$ de $Sd = 50m$ :

Parámetro	Revoque de cemento	Hormigón de buena calidad	MasterProtect 330 EL	MasterSeal 6100 FX	MasterProtect 126 Grey
$\mu_{CO_2}$	64	400	202.083	41.600	37.412
$Sd_{CO_2}$	50m	50m	50m	50m	50m
S	78cm	12,5cm	247 $\mu m$	1,2mm	1,33mm

De esta forma:

- Con 1,33mm de MasterProtect 126 Grey conseguimos la misma protección que con 12,5cm de hormigón de buena calidad.
- Con 1mm de MasterProtect 126 Grey conseguimos la misma protección que con 9,4cm de hormigón de buena calidad.
- **Con 3mm (espesor recomendado de aplicación) de MasterProtect 126 Grey conseguimos la misma protección que con 28,2cm de hormigón de buena calidad.**

#### Conclusión:

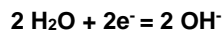
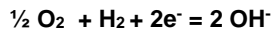
El revestimiento cementoso MasterProtect 126 Grey mezclado con MasterSeal 600 permite conseguir una membrana que otorga una muy elevada protección frente a la carbonatación de las estructuras de hormigón donde se aplica, pero además esta membrana provoca un efecto realcalinizador sobre el hormigón soporte, que no consiguen otro tipo de membranas de protección.

### 3. MECANISMOS DE REALCALINIZACIÓN DEL HORMIGÓN

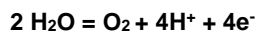
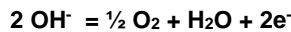
#### 3.1 Realcalinización electroquímica (RAE) mediante protección catódica o ánodos de zinc

La realcalinización electroquímica es un proceso en el cual una elevada densidad de corriente continua es aplicada desde un ánodo externo hasta la armadura a través del hormigón. El ánodo se coloca en la superficie del hormigón junto a un electrolito de carbonato sódico o hidróxido de litio.

En el cátodo, el agua se reduce a iones hidroxilo, de acuerdo con la siguiente reacción:



En el ánodo, el ion hidroxilo o el agua se oxidan a oxígeno y protones, de acuerdo con:



Como consecuencia de estas reacciones se produce un aumento del pH en el hormigón alrededor de la armadura, y por tanto un proceso de pasivación.

Previo a la ejecución del tratamiento hay que realizar una inspección preliminar de la estructura en la que deber determinarse:

- Recubrimiento del hormigón. se debe medir el espesor medio del recubrimiento y sus variaciones. Grandes variaciones en el espesor disminuyen la eficacia de los tratamientos electroquímicos. Si la variación es muy grande no es posible utilizar estos tratamientos.
- Determinación del contenido y distribución del ion cloruro y la profundidad del frente de carbonatación, así como el estado de corrosión del acero.
- Se precisa una continuidad eléctrica de la armadura. En el caso de discontinuidades deberán corregirse con conexiones adicionales.
- Se precisa una continuidad electrolítica uniforme en el hormigón situado entre la armadura y el ánodo exterior; con el riesgo de que posibles delaminaciones del hormigón, o reparaciones anteriores con morteros poliméricos de una resistividad elevada, puedan impedir un flujo uniforme de corriente.
- Deberá investigarse la presencia de agregados potencialmente activos puesto que la reacción árido-álcali puede verse estimulada por el incremento del contenido en álcalis que produce este tratamiento, provocando roturas en el hormigón por expansión de la misma.
- En presencia de aceros pretensados, fuertes polarizaciones catódicas provocan un fenómeno llamado fragilización por hidrógeno; por lo que se hace indispensable un estudio exhaustivo en estructuras con este tipo de acero.

El diseño de un tratamiento electroquímico supone la elección del sistema que funciona como ánodo, determinar los parámetros del proceso, la monitorización del tratamiento y establecer el criterio para la aceptación final. Sin embargo, este



tratamiento puede resultar perjudicial para la durabilidad del hormigón en tanto que produce unos efectos negativos sobre el mismo:

- Se requieren elevadas densidades de corriente provocando microfisuración del hormigón que circunda las armaduras perdiendo adherencia y aumentando la penetrabilidad del hormigón, requiriéndose de este modo, tratamientos adicionales.
- Reducción de la adherencia entre el hormigón y el acero en tanto que un paso de corriente eléctrica produce cambios en la composición de la matriz del cemento, aumentando significativamente los iones hidroxilo alrededor del cátodo, produciendo un debilitamiento de las fuerzas de adhesión de la matriz, y consiguientemente, una disminución de la adherencia.

Según la experiencia actual sobre la efectividad a largo plazo se podría esperar una reducción muy gradual en las regiones muy alcalinas alrededor del acero, buscando un equilibrio con aquellas áreas que no han sido realcalinizadas. Ensayos de laboratorio han confirmado que después del tratamiento se ha conseguido pasivar el acero, pero después de varios meses de exposición al medio ambiente, vuelven a corroerse.

### **3.2 Realcalinización química (RAE): Uso de MasterProtect 126 Grey**

La realcalinización química es un proceso que reestablece la protección que confiere el hormigón al acero, aumentando el pH del hormigón que envuelve la armadura sin el uso de una fuente de corriente continua externa ni un ánodo auxiliar.

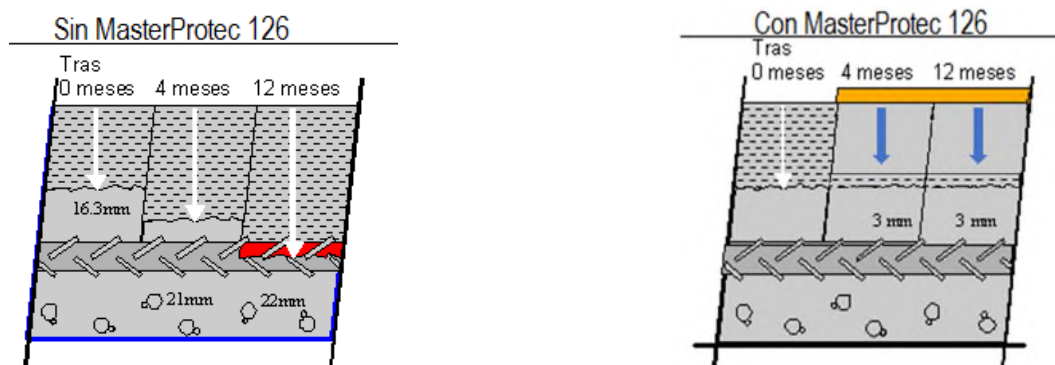
Se trata de un mecanismo de difusión que consiste en la aplicación de un revestimiento cementoso muy alcalino sobre el hormigón carbonatado facilitando la difusión de los iones hidroxilo hacia el interior debido a la diferencia de concentración.

La aplicación de ese tratamiento no presenta efectos negativos supuesto que no se utiliza corriente y consecuentemente ninguno de los efectos citados anteriormente en la RAE se da lugar. Sin la aplicación de corriente eléctrica, el aporte de hidroxilos proviene en su totalidad de la formulación del revestimiento. En este sentido, MasterProtect 126 Grey está específicamente formulado con cementos especiales y áridos alcalinos para obtener una elevada alcalinidad; a la vez que una distribución específica de los mismos para reducir porosidad. Las partículas del polímero MasterSeal 600 que se usa para su mezcla, revisten los granos de cemento y los áridos formando una matriz continua a través de la estructura, reduciendo el riesgo de reacción ASR.

La siguiente tabla muestra, de forma esquemática, las ventajas de este tratamiento:

REALCALINIZACIÓN ELECTROQUÍMICA (protección catódica, ánodos de zinc, etc.)	REALCALINIZACIÓN QUÍMICA (MasterProtect 126 Grey)
Método temporal.	Método más duradero.
Precisa estudio previo.	No se requiere estudio previo.
Debe conocerse con exactitud la profundidad de carbonatación antes del inicio del tratamiento.	Independiente de la profundidad de carbonatación.
Requiere tratamientos extra (tras el tratamiento vuelve a producirse carbonatación).	No requiere tratamientos extra.
Elevadas densidades de corriente.	No se aplica corriente.
Elevado riesgo de ASR (reacción sílice-agregado).	Nulo riesgo de ASR (reacción sílice-agregado).
Elevado riesgo de fragilización por hidrógeno.	Nulo riesgo de fragilización por hidrógeno.
Riesgo de acidificación.	No se produce acidificación.

Los siguientes esquemas muestran el comportamiento de unas muestras de hormigón afectadas por carbonatación a lo largo del tiempo:



### Efectividad del tratamiento de realcalinización química con MasterProtect 126 Grey

Un aumento de la relación agua-cemento favorece el proceso de carbonatación, al proporcionar hormigones más permeables. Como estimación, un hormigón con relación A/C de 0,7 presenta una profundidad de carbonatación del orden del doble que un hormigón con una relación A/C de 0,5 (fig.2).

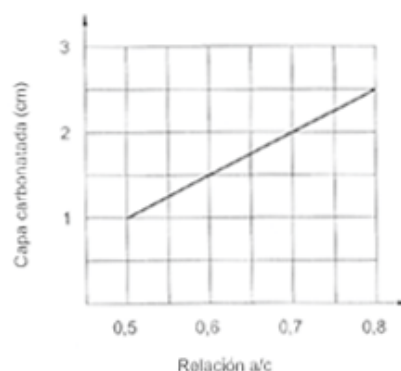


Fig 2. Influencia de la relación agua-cemento en la velocidad de carbonatación.

Cuanto mayor sea la porosidad, más fácilmente penetrarán el agua y los gases en el hormigón.

Un aumento de la dosificación de cemento dificulta el proceso de carbonatación. Puede estimarse que el avance del frente carbonatado en un hormigón con 150 Kg/m<sup>3</sup> de cemento es el doble que el producido en una mezcla de 300 Kg/m<sup>3</sup> (fig.3).

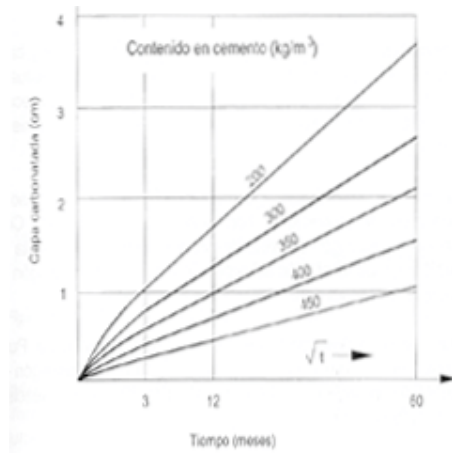


Fig 3 Influencia del contenido de cemento en la profundidad de carbonatación.

La efectividad del tratamiento de realcalinización con MasterProtect 126 Grey mezclado con MasterSeal 600 se basa en tres factores:

- Elevado contenido en cemento.
- Uso de áridos alcalinos.
- Reducción de la porosidad, incorporando a un revestimiento cementoso un polímero 100% acrílico como líquido de amasado en la proporción adecuada, conferirá a la mezcla las siguientes ventajas:
  - Disminuir la porosidad de la mezcla cementosa incrementando la impermeabilidad y reduciendo la penetración de materiales agresivos: carbonatación y cloruros; mejorando la trabajabilidad de mezclas cementosas.
  - Las partículas del polímero revisten los granos de cemento y los áridos formando una matriz continua a través de la estructura.
  - Reducción de la fisuración. La malla de polímero evita la propagación de microfisuras gracias a la estructura de la red polimérica incrementando la resistencia a flexotracción.

### 3.3 Ensayos realizados

Los ensayos que se presentan a continuación muestran los dos efectos de MasterProtect 126 Grey en el hormigón:

- Reducción del frente de carbonatación
- Realcalinización del hormigón.

Para la realización de los mismos se confeccionan en el laboratorio 12 probetas de 10x10x50 cm de hormigón pobre, sin vibrar y con una relación A/C elevada con la finalidad de facilitar la penetración del CO<sub>2</sub>.

**Preparación y propiedades de las muestras:**

- **Composición del hormigón**

	Contenido seco (Kg/m <sup>3</sup> )
gravilla (7/16)	810
arena (0/3)	1015
cemento regional	220
agua (en litros)	252

La relación A/C = 1.09.

Las muestras se curan a 20°C y 50-60% H.R

- **Propiedades del hormigón**

Se determinan las propiedades mecánicas y físicas del hormigón ejecutado y se obtienen los siguientes resultados:

**Resistencia a Compresión**

Días	MPa
7	8,1
28	11,3

**Propiedades físicas del hormigón**

Densidad específica aparente	2125 kg/m <sup>3</sup>
Densidad específica real	2685 kg/m <sup>3</sup>
Volumen de poros	20,8%
Compactación	0,792

**Aplicación de MasterProtect 126 Grey mezclado con MasterSeal 600:**

La aplicación de MasterProtect 126 Grey se realizó en dos capas en un intervalo de 3 horas 30 minutos.

Se comparan 6 muestras:

- **Muestras de referencia (sin tratar)**

2 muestras curadas en cámara a 20°C.

1 muestra expuesta al exterior.

- **Muestras tratadas con MasterProtect 126 Grey mezclado con MasterSeal 600**

2 muestras curadas en cámara a 20°C.

1 muestra expuesta al exterior.

▪ **Muestras tratadas posteriormente con MasterProtect 126 Grey 8 meses después**

Las muestras fueron curadas en cámara a 20°C. Se trataron 8 meses después de iniciado el proceso de carbonatación con la finalidad de evaluar el efecto realcalinizador del MasterProtect 126 Grey. Las medidas de la profundidad de carbonatación fueron medidas a diferentes edades.

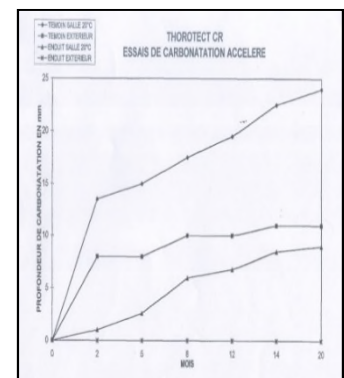
**4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN**

Para una muestra de hormigón patrón sin tratar, y para una muestra de hormigón patrón tratado con MasterProtect 126 Grey, se compara la profundidad de carbonatación entre los 14-20 meses.

Muestra	Conservación	Profundidad de carbonatación en mm					
		2 meses	5 meses	8 meses	12 meses	14 meses	20 meses
Hormigón sin tratar	Cámara 20°C	13.5	15	17.5	19.5	22.5	24
Hormigón sin tratar	Exterior	8	8	10	10	11	11
Hormigón + MasterProtect 126 Grey	Cámara 20°C	1	2.6	6	6.8	8.5	9
Hormigón + MasterProtect 126 Grey	Exterior	0	0	0	0	0	0

**Conclusiones:**

- En cámara a 20°C las muestras protegidas muestran una profundidad de carbonatación aproximadamente 3,75 veces menor que las muestras de referencia (de 24mm a aproximadamente 9mm).
- En el caso de probetas conservadas al exterior la superficie del hormigón de las muestras tratadas no llega a carbonatarse transcurridos 20 meses.

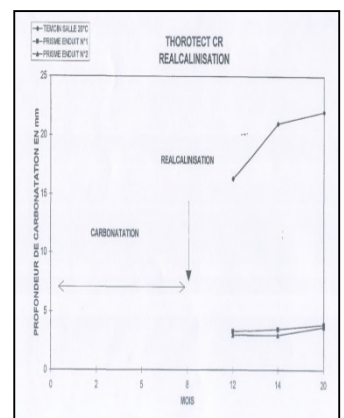


**5. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE REALCALINIZACIÓN**

Sobre muestras de hormigón patrón carbonatadas (8 meses en ambiente de laboratorio) se aplicaron dos capas de MasterProtect 126 Grey, volviéndose a determinar la profundidad de carbonatación a diferentes edades tanto de la muestra patrón como de las muestras tratadas.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Muestra	Conservación 8 meses	Profundidad de carbonatación en mm		
		12 meses	14 meses	20 meses
Patrón	Sala a 20°C	16.3	21	22
Tratada	Sala a 20°C	3.3	3.5	3.9
Tratada	Sala a 20°C	3	3	3.7



**Conclusiones:**

- Como puede verse, la profundidad de carbonatación se reduce en un mínimo aproximado de 5 veces (de 22 a aproximadamente 3,8mm), lo que demuestra las propiedades realcalinizadoras del material.

## 6. CONCLUSIONES

De lo indicado con anterioridad, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- La aplicación de 3 mm de MasterProtect 126 Grey no modifica sustancialmente la permeabilidad al vapor de agua del hormigón tratado. ( $Sd_{H_2O} < 5m$  – Clase I).
- Una capa aplicada de 1 mm de MasterProtect 126 Grey ofrece una protección frente al CO<sub>2</sub> equivalente a unos 9,4cm de un hormigón de buena calidad, por lo que 3mm equivalen a 28,2cm de recubrimiento de hormigón.
- La aplicación de MasterProtect 126 Grey sobre la superficie del hormigón es capaz de realcalinizar dicho hormigón, aumentando su pH, y reduciendo el frente de carbonatación en una quinta parte.

### Tratamientos con MasterProtect 126 Grey:



Protección pilas Puente Sifón (Huelva)



Protección pilas Puente Sifón (Huelva)



Protección exterior depósito agua potable (León)



Protección cara inferior forjado loja Sanlúcar de Barrameda

## 7. VALORACIÓN ECONÓMICA

Las soluciones indicadas en este pliego pueden valorarse económicamente gracias a las BBDD de precios en diferentes formatos (FIEBDC, BC3, etc.) que se encuentra disponibles en la web [www.master-builders-solutions.com/es-es](http://www.master-builders-solutions.com/es-es).

- No están incluidos andamios, plataformas, u otros medios auxiliares.
- Los precios se basan en nuestra tarifa, en caso de requerir valoración comercial deberán ponerse en contacto con nuestros delegados comerciales o aplicadores autorizados.