

# Estudio Técnico



Edición Septiembre 2016

## MasterProtect 126 Grey

### Realcalinización química del hormigón

UNE EN 1504-2



**BASF Construction Chemicals España, S.L.**  
Carretera del Mig, 219  
08907 L'Hospitalet de Llobregat  
Barcelona  
Tel. +34 93 261 61 00  
Fax + 34 93 261 62 19  
[www.master-builders-solutions.basf.es](http://www.master-builders-solutions.basf.es)  
basf-cc@basf-cc.es

# MasterProtect 126

## Realcalinizador superficial del hormigón

### ¿Qué es?

Se trata de un mortero cementoso en capa fina (2mm) que funciona como realcalinizador del hormigón, y a la vez nos permite conseguir un acabado uniforme, fino y estético.

### ¿Cómo funciona un realcalinizador químico del hormigón?

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**. Al contrario que otros métodos basados en la realcalinización electroquímica, la realcalinización química, no requiere del uso de una fuente de corriente continua externa ni un ánodo auxiliar (más económico, más duradero, más sencillo, etc.).

La realcalinización es 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.

Al no utilizar 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 y una distribución específica de los mismos que reduzca la porosidad.

### ¿Cómo se presenta?

MasterProtect 126 Grey: Sacos de 25kg Color Gris  
MasterSeal 600: Garrafas de 20l

Mezcla: Aproximadamente 5l de MasterSeal 600 (4,6-5,4) por cada 25kg de MasterProtect 126 Grey.

### ¿Dónde se aplica?

Cualquier superficie de hormigón: muros, vigas, pilares, estructuras en general, tanto en interior como en exterior, donde queramos dar una protección extra al hormigón frente a la carbonatación y la entrada de cloruros, y donde requiramos un acabado uniforme (zonas con poco recubrimiento, etc.).

2mm de MasterProtect 126 Grey equivalen a 19,23cm de recubrimiento de un hormigón patrón.

Esta solución funciona en tanto en hormigones no carbonatados como en hormigones carbonatados, por lo que es mucho más efectiva que otras soluciones como pinturas anticarbonatación, o regularizaciones con mortero.

### Aplicación de MasterProtect 126:



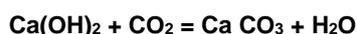
## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	2
2.	SISTEMAS DE PROTECCIÓN SUPERFICIAL (SPS)	4
2.1	Protección con revestimientos acrílicos en dispersión acuosa	5
	Mecanismos de difusión frente al H <sub>2</sub> O:	5
2.2	Protección con revestimientos cementosos	6
	Mecanismos de difusión frente H <sub>2</sub> O:	6
3.	MECANISMOS DE REALCALINIZACIÓN	7
3.1	Realcalinización electroquímica	7
3.2	Realcalinización química	8
	Durabilidad de la efectividad del MasterProtect 126	9
3.3	Ensayos realizados	10
	Preparación y propiedades de las muestras	11
	Aplicación de MasterProtect 126	11
4.	Resultados de los ensayos de profundidad de carbonatación	12
5.	Resultados de los ensayos de realcalinización	12
6.	CONCLUSIONES	13
7.	VALORACIÓN ECONÓMICA	13

## 1. INTRODUCCIÓN

Los hidróxidos de calcio, sodio y de potasio disueltos en la solución acuosa de la red de poros del hormigón así como posiblemente los álcalis solubles de agregados, provocan un pH de la disolución presente en los poros entre 12,5-13,5. En estas condiciones, el acero envuelto en hormigón se encuentra en un diagrama de Pourbaix en el punto P, protegido de la corrosión tal como se muestra en la *figura 1*.

Al ser el hormigón un material de construcción poroso permite la penetración a su interior del dióxido de carbono del aire a través de los poros. Cuando esto sucede se produce una reacción del CO<sub>2</sub> con la fase líquida intersticial saturada de hidróxido cálcico 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:



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. Como consecuencia inmediata, las armaduras 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.

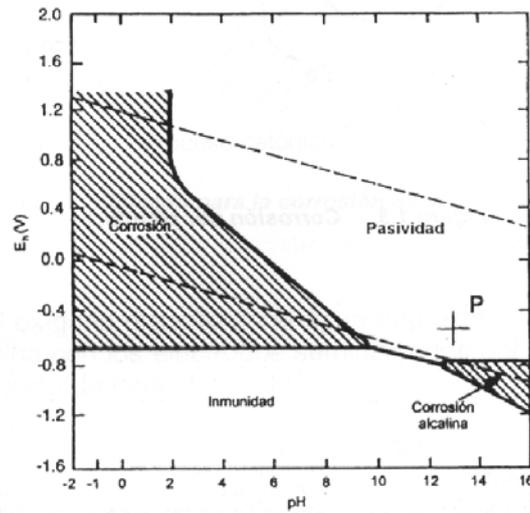


Figura 1. Diagrama de Pourbaix

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:

$$X_c = K_c \cdot t^{1/2}$$

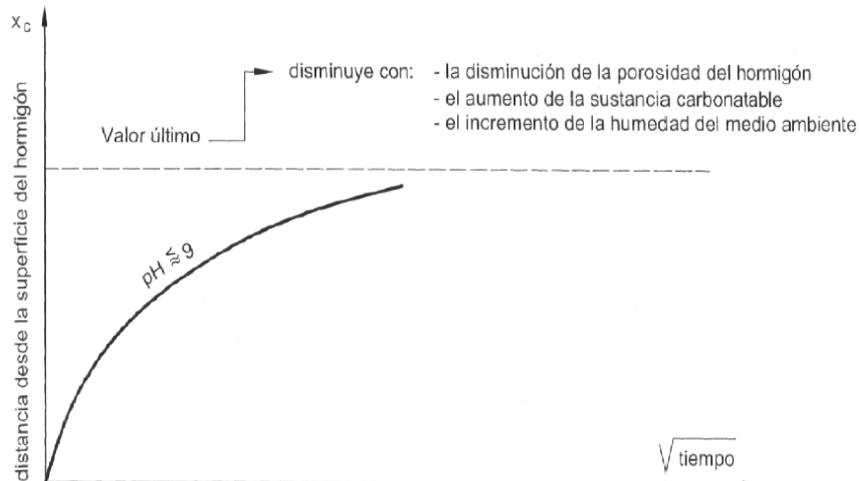
Siendo:

$X_c$  = profundidad de la capa carbonatada en mm.

$K_c$  = constante de carbonatación en mm/año que 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 CO<sub>2</sub> en la atmósfera, humedad relativa del ambiente, etc.

## 2. SISTEMAS DE PROTECCIÓN SUPERFICIAL (SPS)

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. Asimismo, la protección que ofrecen 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 anhídrido carbónico como al agua líquida o vapor de agua. Los criterios de protección se basa en:

- La máxima impermeabilidad al agua líquida y la anhídrido carbónico.
- La máxima permeabilidad al vapor de agua.

	$\mu$ CO <sub>2</sub>	$\mu$ H <sub>2</sub> O
<b>Revoque de mortero</b>	64	15
<b>Revestimiento cementoso MasterProtect 126 Grey</b>	37.421	850
<b>Revestimientos a base de polímeros acrílicos en dispersión MasterProtect 325 EL</b>	254.000	1.680
<b>Revestimiento a base de poliuretano</b>	17·10 <sup>6</sup>	135.000
<b>Revestimiento epoxídico</b>	17·10 <sup>6</sup>	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 1.10<sup>6</sup> para proteger un hormigón de la carbonatación. Para conseguir el mismo resultado con un revoque de cemento, debería tener un espesor de 0,78 m (64 x 0,78=50).

Se puede deducir de la tabla también 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)

## 2.1 Permeabilidad al vapor de agua y al CO<sub>2</sub> de un revestimiento acrílico en dispersión acuosa

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

El espesor de aire equivalente para un revestimiento acrílico tipo **MasterProtect 325 EL** con un espesor de película seca de 250 µm se obtiene de la siguiente fórmula:

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

Dónde:

$\mu_{H_2O}$ : 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<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = 1680 · 250 · 10<sup>-6</sup> = **0,42 metros**; lo cual resulta muy inferior al máximo establecido de 5 metros.

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

El espesor de aire equivalente para un revestimiento acrílico tipo **MasterProtect 325 EL** con un espesor de película seca de 250 µm se obtiene de la siguiente fórmula:

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

$\mu_{CO_2}$ : 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<sub>CO<sub>2</sub></sub> = 254000 · 250 · 10<sup>-6</sup> = **63,5 metros, (Sd > 50m)**

## 2.2 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:

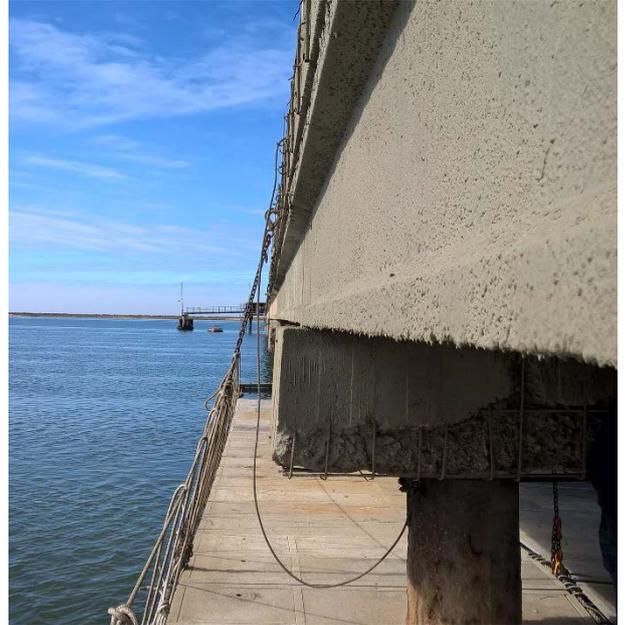
El espesor de aire equivalente para un revestimiento tipo **MasterProtect 126 Grey** con un espesor de película seca de 3mm se obtiene de la misma fórmula anterior.

$S_{dH_2O} = 850 \cdot 0,003 = 2,55$  metros, valor inferior al máximo establecido de 5 metros (**Clase I:  $S_d < 5m$** )

### 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.

$S_{dCO_2} = 37.421 \cdot 0,003 = 112,263$  metros ( **$S_d > 50m$** )



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

Las condiciones o características de calidad (EHE 30.2) exigidas al hormigón se especificarán en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares (EHE 4.4).

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 400 como el correspondiente a un hormigón de alta 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.

$$S_d = 400 \cdot S$$

$$50 = 400 \cdot S$$

$$S = 0,125m$$

$$S_d = 100 \cdot S$$

$$50 = 100 \cdot S$$

$$S = 0,5m$$

Necesitaremos por tanto un espesor de hormigón de entre 12,5 y 50cm.

**Comparativo de espesor de aire equivalente para conseguir una protección frente al CO2 de Sd = 50m:**

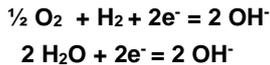
Parámetro	Revoque de cemento	Hormigón de buena calidad	MasterProtec 325 EL	MasterSeal 6100 FX	MasterProtect 126 Grey
μ CO2	64	400	254.000	41.600	37.412
S	78cm	12,5cm	250 μm	2,8mm	1,33mm
Sd <sub>CO2</sub>	50m	50m	50m	50m	50m

### 3. MECANISMOS DE REALCALINIZACIÓN

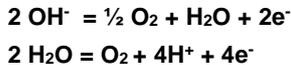
#### 3.1 Realcalinización electroquímica (RAE)

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 ión hidroxilo o el agua se oxidan a oxígeno y protones, de acuerdo con:



Como consecuencia de estas reacciones se produce un aumento del pH 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 ión cloruro y la profundidad el 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 impiden 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 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.

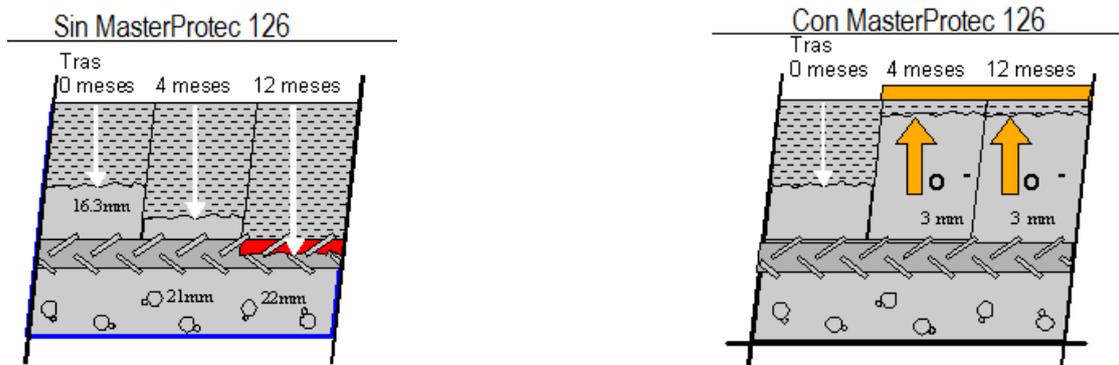
Se trata de un mecanismo de difusión que consiste en la aplicación de un revestimiento cementoso muy alcalino sobre el hormigón carbonatado facilitando la difusión de los iones hidroxilo hacia el interior debido a la diferencia de concentración.

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.

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

REALCALINIZACIÓN ELECTROQUÍMICA	REALCALINIZACIÓN QUÍMICA (MasterProtec 126 Grey)
Método temporal.	Método más duradero.
Precisa tanto 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:



### Durabilidad de la efectividad del MasterProtec 126

Sin embargo, 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 0,7 presenta una profundidad de carbonatación del orden del doble que un hormigón con una relación A/C 0,5 (fig.2).

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

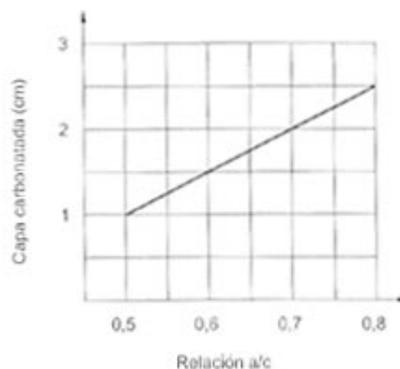


Fig 2 Influencia de la relación agua-cemento en la velocidad de carbonatación.

La efectividad del tratamiento 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:
  - o 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.
  - o Las partículas del polímero revisten los granos de cemento y los áridos formando una matriz continua a través de la estructura.
  - o 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.

Un aumento de la dosificación de cemento dificulta el proceso. 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).

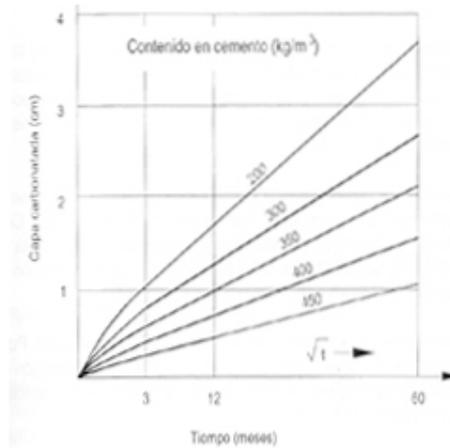


Fig 3 Influencia del contenido de cemento en la profundidad de carbonatación.

### 3.3 Ensayos realizados

Los ensayos que se presentan a continuación muestran los dos efectos de MasterProtect 126 Grey en el hormigón: Retardar la carbonatación y realcalinizar el 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:

Se comparan 6 muestras. La aplicación de MasterProtect 126 Grey se realizó en dos capas en un intervalo de 3 horas 30 minutos.

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

2 muestras curadas en cámara a 20°C.

1 muestra expuesta al exterior.

- **Muestras tratadas con MasterProtect 126 Grey**

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 in cámara a 20 °C. Se trataron 8 meses después de iniciado el proceso de carbonatación con la finalidad de evaluar el efecto realcalinizador. Las medidas de la profundidad de carbonatación fueron medidas a diferentes edades.

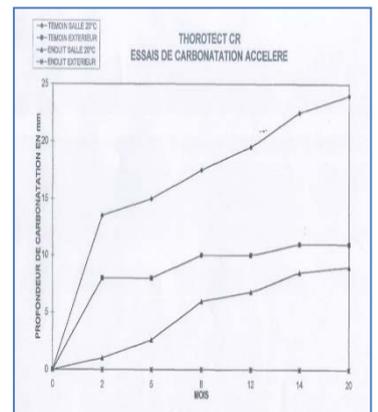
**4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN**

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:**

- 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.

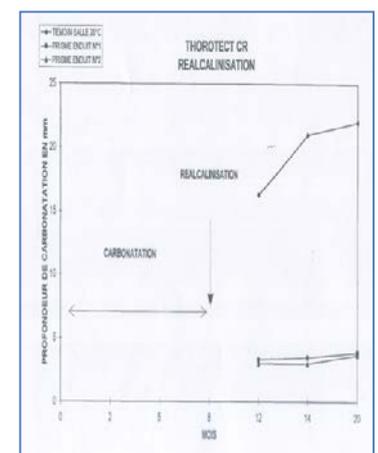


**5. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE REALCALINIZACIÓN**

Sobre muestras 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	Profundidad de carbonatación en mm			
		8 meses	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. (SdH20 < 5m – Clase I)
- Una capa aplicada de 1 mm de MasterProtect 126 Grey ofrece una protección frente al CO<sub>2</sub> equivalente a 96,15mm de un hormigón de buena calidad\*.

1mm de MasterProtect 126 Grey equivalen a 96,15mm de protección frente al CO<sub>2</sub> de un hormigón de buena calidad.

**En relación a la protección frente a la carbonatación:  
2mm MasterProtect 126 Grey → 19,23cm hormigón de buena calidad**

Tratamientos con MasterProtect 126 Grey:



# Ferri

Avda. de la Paz 35 03400 Villena - Alicante -

