

Estudio de la posibilidad de sustitución de hormigones tradicionales por hormigones ecológicos fabricados con conglomerantes procedentes de residuos industriales y áridos reciclados

Septiembre de 2014

AUTOR:

BEATRIZ PLAZA GÁMEZ

TUTOR ACADÉMICO:

Elías Arilla Agórriz

Resumen

La línea de investigación, que sigue este proyecto, en el campo de la construcción, es el reciclaje de residuos industriales y residuos procedentes de derribos.

El trabajo que se presenta pretende aportar respuestas a los diferentes problemas del actual costo de la vivienda y contaminación, sustituyendo parcialmente el cemento por residuos industriales con hidraulicidad latente o actividad puzolánica. De esta forma se conseguiría, por una parte, reducir la producción de clínker, que es altamente contaminante, y por otra parte se gestionarían adecuadamente materiales residuales producidos en grandes masas a través del sector de la construcción, que dado su volumen es capaz de absorber esa gran cantidad de residuos, ahorrando el coste de gestión de los mismos.

El trabajo así planteado tiene una doble vertiente, una ecológica por la reducción en la producción de clínker y la gestión de materiales residuales, y otra económica, por la reducción en el coste que supone la



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
ENGINYERIA
D'EDIFICACIÓ

ETS de Ingeniería de Edificación
Universitat Politècnica de València

Trabajo Fin d

Grado en Arquitectura Técnica – ETS de Ingeniería de Edificación – Universitat Politècnica de València

sustitución parcial del cemento.

Palabras clave: Hormigón/Reciclaje/ ecológico/ económico/Residuos

Summary

The research line which this project follows and which is related to the building sector, is the industrial waste and waste from demolition recycling.

It aims to provide answers to the various problems of the current housing and pollution cost, partially replacing cement by pozzolanic materials. In this way, on the one hand, the reduction of clinker production (which is highly polluting) would be achieved, and on the other hand, the waste materials which are produced on a broad scale in the building sector (since its volume can absorb a large amount of waste) would be properly managed, saving the cost of their management. Thus, the laid out project is twofold: it goes green due to the reduction in clinker production and to the management of waste materials, and from the economic point of view it reduces the cost which the partial cement replacement supposes.

Keywords: Concrete / Recycling / ecological / economic / Waste

Agradecimientos

Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a otras personas. En este caso mi más sincero agradecimiento Víctor, con cuyo trabajo estaré siempre en deuda. Gracias por su amabilidad para facilitarme, su tiempo y sus ideas.

Por su orientación y atención a mis consultas sobre metodología, mi agradecimiento a Elías.

Gracias a Jesús y a Rafa por echar una mano en los ensayos del laboratorio, siempre que lo he necesitado.

Pero un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales.

Gracias a mi familia, por su esfuerzo para que yo pudiese llegar hasta donde estoy y ser quien soy.

A todos, muchas gracias.

Acrónimos utilizados

CPC: Cemento Portland Convencional

EEE: Espacio Económico Europeo

CEM: Cemento

ES: Escoria Siderurgia

UNE: Una Norma Española

ETSIE: Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación.

ACHE: Asociación científico-técnica del hormigón estructural

Índice

Capítulo 1

1. Introducción

1.1. Aspectos generales del hormigón.....	9
1.2. Antecedentes.....	11
1.3. La huella de carbono del hormigón. Estrategias para minimizar CO ₂	12
1.4. Beneficios del co-procesamiento de residuos industriales.....	16
1.5. Aspecto medioambiental. Protocolo de Kioto.....	16

2. Objetivos.....19

Capítulo 2

3. Metodología

3.1. Materiales.....	20
----------------------	----

3.2. Equipos.....	31
3.3. Métodos	
3.3.1. Cálculo de la granulometría.....	39
3.3.2. Densidades de los áridos.....	44
3.3.3. Procedimiento de ensayo.....	45
3.3.4. Dosificaciones de los hormigones elaborados en el estudio.....	46
3.3.4.1. Hormigón patrón con cemento y árido calizo, $A/C = 0,5$	48
3.3.4.2. Hormigón patrón con cemento y árido calizo, $A/C = 0,6$	48
3.3.4.3. Hormigón patrón con binder ecoeficiente y árido calizo, $A/B = 0,5$	50
3.3.4.4. Hormigón patrón con binder ecoeficiente y árido calizo, $A/B = 0,6$	51
3.3.4.5. Hormigón con binder ecoeficiente y árido mixto procedente de derribos, $A/B = 0,5$	52
3.3.4.6. Hormigón con binder ecoeficiente y árido mixto procedente de derribos, $A/B = 0,6$	53

3.3.4.7. Hormigón con binder ecoeficiente y árido restos mixto seleccionado procedente de derribos, A/B = 0,5.....	54
3.3.4.8. Hormigón con binder ecoeficiente y árido restos mixto seleccionado procedente de derribo, A/B = 0,6.....	55
3.3.4.9. Hormigón con binder ecológico y árido cerámico mixto seleccionado procedente de derribos, A/B = 0,5.....	56
3.3.4.10. Hormigón con binder ecológico y árido cerámico mixto seleccionado procedente de d, A/B = 0,6.....	57
3.3.4.11. Hormigón con binder ecológico y árido de limpieza cerámica, A/B = 0,5.....	58
3.3.4.12. Hormigón con binder ecológico y árido de limpieza cerámica, A/B = 0,6.....	59
3.3.5. Ensayos a compresión de las probetas de Hormigón.....	60
4. Resultados y comparación.....	68

Capítulo 3

5. Conclusiones.....	78
-----------------------------	-----------

Capítulo 4

6. Bibliografía.....	81
-----------------------------	-----------

7. Anexo I

7.1. Definiciones.....	84
------------------------	----

7.2. Fotografías.....	86
-----------------------	----

7.3. Índice de tablas.....	101
----------------------------	-----

7.4. Índice de gráfica.....	104
-----------------------------	-----

7.5. Índice de ilustraciones.....	105
-----------------------------------	-----

7.6. Índice de fotografías.....	106
---------------------------------	-----

7.7. Índice de fotografías del anexo.....	108
---	-----

7.8. Normativa.....	109
---------------------	-----

7.9. Fichas técnicas.....	110
---------------------------	-----

Capítulo 1.

Introducción

1.1. Aspectos generales del hormigón

El hormigón se puede definir como un material compuesto por un esqueleto granular y una matriz cementicia que tiene la función de ligante de todos los materiales. El esqueleto granular está compuesto por una serie de áridos de distintas granulometrías. La matriz cementicia está compuesta por un aglomerante, ya sea cemento o algún aglomerante hidráulico distinto, agua, cualquier adición activa o inerte, y aditivos.

Este material se usa principalmente en la edificación e ingeniería civil, aunque cada vez más se está extendiendo su uso a otras aplicaciones debido a la aparición de nuevos aditivos que le confieren propiedades especiales al mismo.

El proceso de fabricación de los materiales de construcción, así como de los productos de los cuales muchos están formados, ocasiona un impacto ambiental. Este impacto tiene su origen en la extracción de los recursos naturales necesarios para su elaboración, incluyendo el proceso de fabricación y el consumo de energía, que deriva en emisiones tóxicas a la atmósfera.

El hormigón basado en Cemento Portland Convencional (CPC) es uno de los materiales de construcción más importantes desde la era industrial. Su producción anual, en el mundo industrializado, se encuentra entre 1.5 y 3 Toneladas per cápita.

La principal ventaja del hormigón, es la alta resistencia a compresión que soporta. En contra, este material ofrece poca resistencia a tracción siendo en algunos casos necesario el empleo de barras de acero para mejorar dicha propiedad. Es casi el único material que llega en bruto a obra, esta característica hace que sea muy útil en construcción ya que puede moldearse de muchas formas.

Otra de las ventajas es la existencia de diferentes tipologías de hormigón (ordinario, en masa, armado, pretensado, ciclópeo, aireado...), surgidas a partir de las exigencias en las diferentes aplicaciones; proyectado, estructural, impreso, para pavimentos, de limpieza o nivelación... A todas estas ventajas, si se añade la facilidad de obtención de los materiales y la simplicidad y rapidez del proceso de fabricación, se obtiene un material económico y sin competencia alguna en la industria de la construcción.

Los primeros que emplearon hormigón fueron los egipcios, usando una mezcla de yesos y cales como material aglutinante. Más adelante, los

romanos hicieron construcciones empleando un compuesto que sería el primer hormigón de la historia, compuesto por caliza calcinada, agua, arena y piedras trituradas. Poca evolución tuvo el hormigón hasta la aparición del cemento Portland hacia el siglo XIX, el cual mejoraba notablemente las cualidades del hormigón, creando una nueva era en materiales de construcción.

1.2. Antecedentes

Actualmente, los problemas ambientales están interesando a diversas áreas de la ciencia. Esto ha llevado a buscar métodos a través de los cuales poder disminuir el impacto que el hombre, en su evolución, ha provocado sobre el ambiente. El área de la construcción, dentro de las distintas alternativas, está estudiando el uso de áridos reciclados provenientes de la demolición de obras civiles para reutilizarlos en la fabricación de nuevo hormigón. Esto permitiría disminuir el consumo de fuentes no renovables, obtenidas de actividades extractivas y, al mismo tiempo, reducir la cantidad de escombros de demolición que termina en los vertederos.

Datos de la literatura [1-7], han demostrado como, el uso de áridos reciclados utilizados en cantidades relativamente bajas, no modifica mayormente las propiedades del hormigón, y actualmente, diversas normativas técnicas europeas autorizan el uso de hasta un 30% de áridos reciclados en la producción de hormigón estructural.

Estudios realizados en hormigones fabricados con áridos reciclados [8-10], han permitido observar cómo, una importante diferencia en el

comportamiento mecánico entre hormigones con áridos reciclados y hormigones convencionales, se debe al mortero adherido a la superficie de los áridos reciclados.

En general, a mayor porcentaje de áridos reciclados utilizados, se presentan mayores variaciones en las propiedades del nuevo hormigón debido a que aumenta la probabilidad de unión de zonas débiles [11]. Según la Monografía de la ACHE [12] sobre hormigones con áridos reciclados, al considerar un sustitución del 100% del árido grueso, las pérdidas en resistencia suelen estar alrededor del 20 %; cuando la sustitución baja al 50 %, las pérdidas de resistencia se sitúan entre el 2 y el 15% y cuando la sustitución se limita al 20-30 %, la pérdida de resistencia suele ser inferior al 5 %.

Por otro lado están los estudios realizados con residuos industriales. Son numerosos los estudios sobre la aplicación de residuos industriales junto a materiales en los que interviene el cemento Portland; se trata de adiciones minerales activas que aportan mejoras en las características físicas y mecánicas. Entre otros, podemos citar trabajos en los que morteros y hormigones son adicionados con nanopartículas de diversas procedencias industriales [13], con catalizador gastado de craqueo catalítico procedente de la industria del petróleo [14], o con residuos agrícolas incinerados como la cascarilla de arroz [15]

1.3. La huella de carbono del hormigón. Estrategias para minimizar CO₂

La huella de carbono del hormigón es relativamente significativa debido a dos factores:

- La energía utilizada para calentar la caliza (CaCO_3) en los hornos para formar CaO , uno de los componentes principales en el hormigón.
- Las cantidades de CO_2 liberadas a la atmósfera en la conversión de caliza a cal.

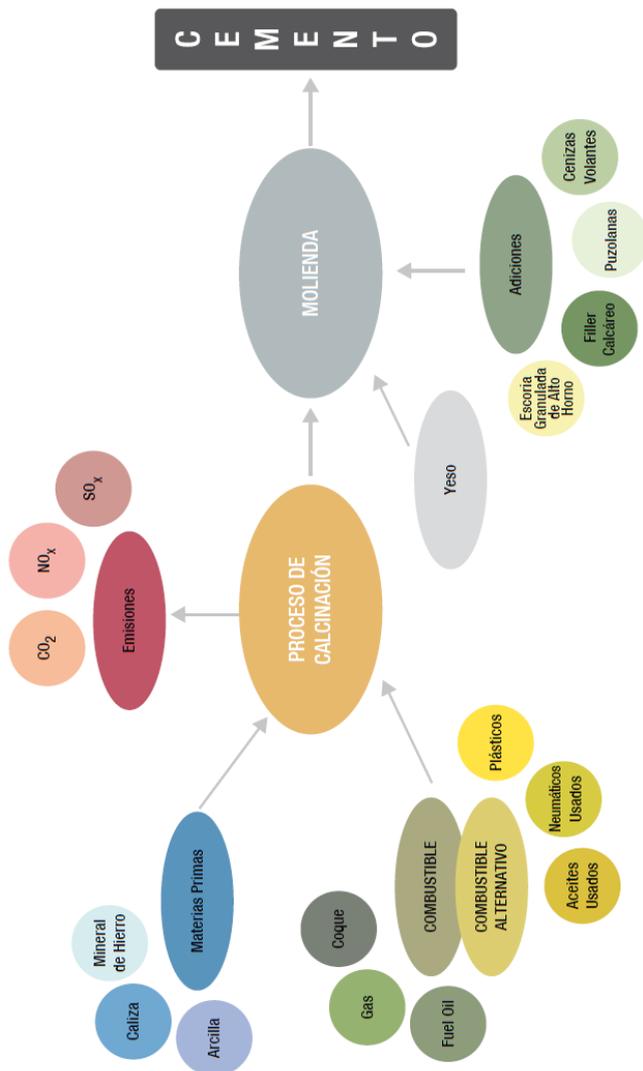
Sin embargo un estudio reciente ha demostrado que a lo largo del tiempo el 5% o más del CO_2 total es reabsorbido por el hormigón, reduciendo la huella de carbono.

Se ha demostrado mediante investigaciones, que pequeñas cantidades de CO_2 se reabsorben en el hormigón aún décadas después de su aplicación cuando los elementos del material se combinan con CO_2 para formar calcita.

Considerando al cemento como uno de los componentes esenciales en las construcciones, se puede afirmar que si bien se emite CO_2 como parte del proceso de producción -debido a la naturaleza energo-intensiva de la industria y a la reacción química de la calcinación de caliza a cal- se han desarrollado estrategias para minimizarlo, que incluyen el uso de materiales cementicios suplementarios para reducir la producción de clinker, la utilización de combustibles alternativos, y las mejoras en la eficiencia energética, asociadas a la fabricación del cemento.

Desde la primera crisis de energía, la industria cementera viene desarrollando acciones para reducir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Para lograr este objetivo, se plantean alternativas tales como mejorar la eficiencia energética de las instalaciones de producción del cemento, optimizar el uso de adiciones

fomentando el empleo de cementos compuestos para aplicaciones comunes, y utilizar combustibles alternativos en reemplazo de los combustibles fósiles, no renovables.



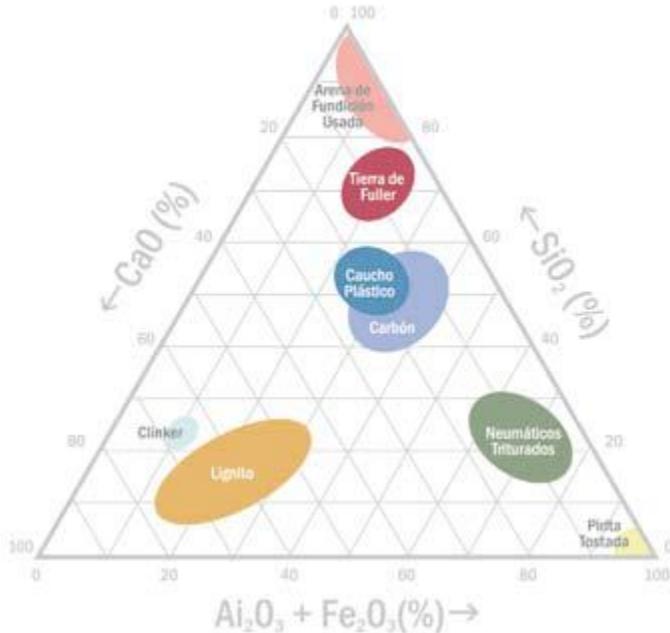


Diagrama ternario de combustibles y materias primas alternativos para la producción de clinker.

La utilización de residuos también es bienvenida en este sentido, pues su valorización como combustible evita la emisión de gases propios de la descomposición anaeróbica en rellenos sanitarios o en los procesos de incineración.

1.4. Beneficios del co-procesamiento de residuos industriales

Las altas temperaturas en el horno garantizan la combustión y destrucción total de los residuos, y adicionalmente, los tiempos de residencia permiten que todas las sustancias orgánicas en fase gaseosa se oxiden completamente a dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O). La atmósfera de gases tiene un perfil térmico que va desde los 1500°C hasta los 2000°C . Las cenizas de la combustión se incorporan al clinker sin alterar sus propiedades.

Al emplear un residuo como combustible alternativo, generalmente se obtiene una cantidad equivalente de energía a la de uno tradicional, reduciendo de esta forma el uso de recursos no renovables. Otra de las ventajas del empleo de residuos industriales es que son el resultado de procesos ubicados en las proximidades de las plantas de producción, logrando su disposición final.

1.5. Aspecto medioambiental. Protocolo de Kioto

La fabricación de cemento es la actividad más emisora del sector. Sólo la molienda y cocción de la piedra caliza precisa cantidades de energía térmica y eléctrica tan importantes que suponen alrededor del 2% de la energía primaria consumida en España (según OFICEMEN, la Agrupación de Fabricantes de Cemento de España). A estos consumos habría que añadir otros menores, pero en absoluto despreciables, como los precisos para la extracción de la materia prima y su transporte [12].

Existen importantes razones para reducir las emisiones de CO₂ en la industria cementera. Tan sólo si nuestro nivel de consumo de cemento se ajustará a la media de la UE estas emisiones se verían reducidas en más de un 55% [16].

España no ha cumplido con los objetivos marcados pese a sufrir una drástica reducción de la actividad desde el año 2008.

Para poder acercarnos a los objetivos e incluso superar las metas fijadas por el Protocolo de Kioto, debemos pensar en varias claves que reduzcan nuestras emisiones de CO₂: Si no conseguimos encontrar soluciones en tiempos de crisis, no podremos aplicarlas cuando se active la economía y la producción vuelva a niveles de 2007.

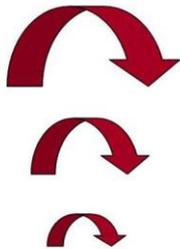
Una de estas claves es el reciclaje. Los beneficios secundarios derivados de una mejor gestión de los residuos son, por ejemplo, la plena aplicación de los objetivos de la Directiva sobre vertederos de la UE, mediante el uso de los residuos urbanos como recurso, en lugar de enviarlo al vertedero, podría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en 62 millones de toneladas de CO₂ equivalentes en 2020 respecto a 2008, según el análisis realizado por el EEE. Aumentar el reciclaje también crea más puestos de trabajo en los niveles de ingresos más altos: el empleo total relacionado con el reciclaje se incrementó en un 45% en Europa entre 2000 y 2007.

La valorización energética de residuos en las fábricas de cemento en España evitó el envío a la atmósfera de 850.000 toneladas de CO₂ en 2012, lo que supone un ahorro de casi 390.000 toneladas equivalentes de petróleo, energía comparable al consumo anual de 550.000 hogares.

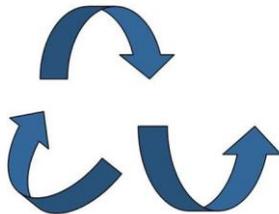
Además, durante 2012, en 28 de las 35 fábricas de cemento que operan en España, se valorizaron cerca de 795.000 toneladas de residuos, lo que equivale a un 25 por ciento de sustitución de la energía empleada por los hornos de cemento. [17]

En el año 2020 entrará en marcha la tercera fase del Protocolo de Kioto, más restrictiva que sus predecesoras y para ese momento se prevé una mayor producción de cemento que en la actualidad. Por tanto, para esa fecha deberemos haber empezado a usar nuevas técnicas de producción que incluyan como materias primas los residuos industriales, así como otro tipo de residuos. [15]

Ante esta situación, debemos actuar como profesionales y como personas.



Reducir



Reutilizar



Reciclar

Objetivos

El reciclaje de los residuos no biodegradables es particularmente difícil, pero en vista de los ensayos realizados con anterioridad por diferentes investigadores, el objetivo del presente proyecto es realizar un estudio sobre nuevos hormigones a base de conglomerantes procedentes de residuos industriales y áridos reciclados.

Para el estudio, se realizará un Binder Ecoeficiente con una reducción de cemento del 70% a favor de la ceniza volante (40%), la escoria siderúrgica (20%), la cal (8%) y el humo de sílice (2%).

Para poder comparar con el hormigón tradicional, se realizarán cuatro probetas patrón utilizando como conglomerante un 100% de cemento CEM I 52,5 R y como árido uno de composición caliza. Dos de las probetas se han realizado con una relación agua/cemento de 0,5 y las otras dos con una relación agua/cemento de 0,6.

Para poder comparar la eficiencia de los diferentes áridos reciclados independientemente del binder ecoeficiente, se realizarán cuatro probetas patrón utilizando como conglomerante el Binder Ecoeficiente y como árido uno de composición caliza. Dos de las probetas con una relación agua/cemento de 0,5 y las otras dos con una relación agua/binder de 0,6.

Se probará el Binder Ecoeficiente con cuatro tipos de grava procedentes de derribo y reciclaje, manteniendo la arena caliza, con una relación agua/binder de 0,5 y con una relación agua/binder de 0,6.

Capítulo 2.

Metodología

3.1. Materiales

Para obtener los materiales necesarios para los ensayos se ha contactado con varias empresas.

El cemento es de la cementera Cementval, CEM I 52,5 R

La escoria siderúrgica es procedente de altos hornos. La proporcionó la empresa Holcim que informó de que la escoria provenía de unos altos hornos en Italia.

La cal se obtuvo a través de la fábrica de la empresa Praxair, como residuo de la fabricación del acetileno.

El humo de sílice es de la empresa Sika.

Los áridos procedente de derribo se obtuvo a través de la empresa “Cabreta” situada en el Polígono La Mezquita, Fase3, Nave 3 - La Vall d'Uixó (Castellón)

El aditivo es Sika Viscocrete 3425, de la empresa Sika.



Fotografía 1 PLANTA RECICLAJE CABRETA, LA VALL D'UIXÓ

Cemento: CEM I 52,5R

Fotografía 2 CEM 1 52,5 R

Composición estimada del Cemento tipo I	%
C_3S	60
C_2S	20
C_3A	10
C_4AF	12
C_3A+C_4AF	22

Ceniza Volante



Fotografía 3 CENIZA VOLANTE

Componentes de la Ceniza Volante (CV)	%
SiO ₂ reactiva	37,40
SiO ₂ + Al ₂ O ₃	59,97
Alúmina	22,57
Pérdida por calcinación bruta	2,25

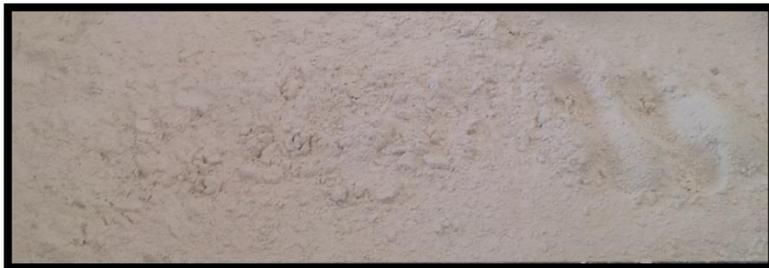
Cal



Fotografía 4 CAL

Composición de la Cal (pasta)	%
Ca(OH)_2	60
H_2O	25
Otros	15

Escoria Siderúrgica



Fotografía 5 ESCORIA SIDERÚRGICA MOLIDA

Componentes de la Escoria Siderúrgica (ES)	%
Sulfatos (SO_3)	0,48
Cloruros	0,022
Óxido de Calcio (CaO)	41,9
Óxido de Magnesio (MgO)	7,18
Óxido de silíceo (SiO_2)	34,41
$(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$	1,43
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{SiO}_2$	83,49

Humo de Sílice



Fotografía 6 HUMO DE SÍLICE

Composición del Humo de Sílice (HS)	%
SiO ₂	93
MgO	0,3
Fe ₂ O ₃	0,1
Al ₂ O ₃	0,2
CaO	0,5

Na ₂ O	0,2
K ₂ O	0,4
Humedad	0,5
Otros	4,8

Agua

Para la preparación de morteros se utilizó el agua suministrada por la red de agua potable de la Universidad Politécnica de Valencia. Con las siguientes características:

Componentes agua UPV	
Cloruros	93 mg/l
Calcio y Magnesio	480mg/l
Sulfatos	298 mg/l
pH	7,88
Conductividad	939 μ S/c

Grava Caliza



Fotografía 7 GRAVA CALIZA

Arena caliza



Trabajo Fin de Grado Beatriz Plaza Gámez

Grado en Arquitectura Técnica – ETS de Ingeniería de Edificación – Universitat Politècnica de València

Fotografía 8 ARENA CALIZA

Árido Mixto, procedente de derribo

Se le extraen los áridos cerámicos, a los que llamaremos “árido cerámico mixto”. Y a lo que queda lo llamamos “árido restos mixto”.



Fotografía 9 ÁRIDO MIXTO

Árido restos mixto, resultante de la selección del árido mixto procedente de derribo.



Fotografía 10 ÁRIDO RESTOS MIXTO

Árido cerámico mixto, resultante de la selección del árido mixto procedente de derribo.



Fotografía 11 ÁRIDO CERÁMICO MIXTO

Aditivo Superplastificante: Sika Viscocrete 3425



Fotografía 12 MOLINO DE BOLA

Líquido Desencofrante/Herramientas

Para poder desmoldar sin dañar la probeta es necesario pintar el molde con líquido desencofrante antes de verter el hormigón.

Para desmoldar se necesitan herramientas como la maza de goma y el cepillo de alambres.



Fotografía 13 LÍQUIDO DESENCOFRANTE/HERRAMIENTAS

Báscula

Se necesita una báscula de gran precisión para pesar todos los materiales. En este caso, se ha utilizado la báscula de la marca Mettler Toledo, modelo ICS425d-15LA/f, que tiene una precisión de decigramos



Fotografía 14 BÁSCULA

Estufa

Para poder saber la densidad del árido, así como para saber la cantidad de agua presente en la probeta en el momento del ensayo de rotura a compresión, es necesaria una estufa que pueda calentarse a 100°C.

En este caso, se ha utilizado la estufa de la marca J.P Selecta, S.A. del laboratorio de materiales de la ETSIE.



Fotografía 15 ESTUFA

Tamices

Trabajo Fin de Grado Beatriz Plaza Gámez

Grado en Arquitectura Técnica – ETS de Ingeniería de Edificación – Universitat Politècnica



Para poder separar el árido según su diámetro, ha sido necesario tamizarlo.

En este caso, se ha utilizado una serie de tamices de acero inoxidable con diferente abertura nominal, desde los 4mm a los 16mm.

Los tamices utilizados son de la empresa CISA y cumplen con la norma UNE 3310,1.

Fotografía 16 TAMICES

Carretilla Elevadora

Para las labores de traslado del material ha sido necesaria la utilización de una carretilla elevadora.

En este caso, se ha utilizado la apiladora del laboratorio de la ETSIE.

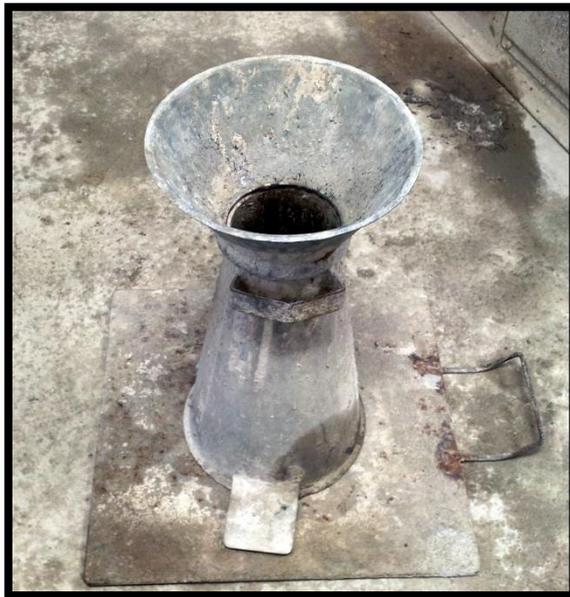


Fotografía 17 APILADORA

Cono de Abrams

Para cuantificar el asentamiento del hormigón recién amasado y poder determinar su consistencia: seca (0-2cm), plástica (3-5cm), blanda (6-9cm) o fluida (10-15cm); es necesario el ensayo del Cono de Abrams según la normativa UNE 83313:90.

Para hormigones de edificación se recomienda en general que el asiento en el cono de Abrams no sea inferior a 6 centímetros.



Fotografía 18 CONO DE ABRAMS

Moldes

Trabajo Fin de Grado Beatriz Plaza Gámez

Grado en Arquitectura Técnica – ETS de Ingeniería de Edificación – Universitat Politècnica de València

Para las probetas de hormigón se ha elegido, teniendo en cuenta la normativa de ensayos a compresión, los moldes individuales de 10x10x40cm.



Fotografía 19 MOLDE 10x10x40 cm

Vibrador De Aguja

Trabajo Fin de Grado Beatriz Plaza Gámez

Grado en Arquitectura Técnica – ETS de Ingeniería de Edificación – Universitat Politècnica de València

Para un correcto vibrado del hormigón dentro del molde es necesaria la utilización de un vibrador tipo aguja. En este caso se ha utilizado el del laboratorio de materiales de la ETSIE. Se debe introducir verticalmente el vibrador en el hormigón fresco y, acto seguido, sacarlo lentamente. Esta operación debe repetirse todas las veces que sea necesario hasta homogeneizar el vertido y que casi no emerjan a la superficie burbujas. Cuando esto deje de suceder se deberá parar ya que el hormigón se podría empezar a segregar.



Fotografía 20 VIBRADOR DE AGUJA

Amasadora Mediana

Trabajo Fin de Grado Beatriz Plaza Gámez

Grado en Arquitectura Técnica – ETS de Ingeniería de Edificación – Universitat Politècnica de València

Para el amasado de los hormigones se ha utilizado la amasadora de tamaño mediano del laboratorio de materiales de la ETSIE.



Fotografía 21 AMASADORA MEDIANA

3.3. Métodos

Trabajo Fin de Grado Beatriz Plaza Gámez

Grado en Arquitectura Técnica – ETS de Ingeniería de Edificación – Universitat Politècnica de València

3.3.1. Cálculo de la granulometría

Granulometría de la Grava Caliza

	R (g)	RA (g)	R (%)	RA (%)	P (%)
Tamiz	Retenido (g)	Retenido Acumulado (g)	%Retenido en el tamiz	% Retenido acumulado	% Pasa
14	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,0%
12,5	70,30	70,30	4,63%	4,63%	95,4%
10	737,30	807,60	48,55%	53,18%	46,8%
8	558,40	1.366,00	36,77%	89,96%	10,0%
6,3	148,30	1.514,30	9,77%	99,72%	0,3%
4	4,20	1.518,50	0,28%	100,00%	0,0%
2	0,00	1.518,50	0,00%	100,00%	0,0%
1	0,00	1.518,50	0,00%	100,00%	0,0%
0,5	0,00	1.518,50	0,00%	100,00%	0,0%
0,25	0,00	1.518,50	0,00%	100,00%	0,0%
0,125	0,00	1.518,50	0,00%	100,00%	0,0%
0,063	0,00	1.518,50	0,00%	100,00%	0,0%
Pasa	0,00	1.518,50	0,00%	100,00%	0,0%

Muestra 1518,5 gramos Mg 6,9

T.max	12,5	mm
--------------	-------------	-----------

Granulometría de la Arena Caliza

	R (g)	RA (g)	R (%)	RA (%)	P (%)
Tamiz	Retenido (g)	Retenido Acumulado (g)	%Retenido en el tamiz	% Retenido acumulado	% Pasa
14	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
12,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
10	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
8	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
6,3	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
4	24,67	24,67	4,90%	4,90%	95,10%
2	143,94	168,61	28,59%	33,49%	66,51%
1	98,07	266,68	19,48%	52,97%	47,03%
0,5	70,18	336,86	13,94%	66,91%	33,09%
0,25	54,38	391,24	10,80%	77,71%	22,29%
0,125	40,73	431,97	8,09%	85,80%	14,20%
0,063	35,76	467,73	7,10%	92,90%	7,10%
Pasa	35,76	503,49	7,10%	100,00%	0,00%

Muestra 503,49 gramos Mg 3,2

T.max 4 mm

Granulometría del árido mixto

	R (g)	RA (g)	R (%)	RA (%)	P (%)
Tamiz	Retenido (g)	Retenido Acumulado (g)	%Retenido en el tamiz	% Retenido acumulado	% Pasa
31,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,0%
20	15	15	1,32%	1,32%	98,68%
16	35,1	50,1	3,10%	4,42%	95,58%
14	156,9	207	13,86%	18,28%	81,72%
12,5	154,1	361,1	13,61%	31,89%	68,11%
10	306,2	667,3	27,04%	58,93%	41,07%
8	227,1	894,4	20,06%	78,99%	21,01%
6,3	134,6	1029	11,88%	90,87%	9,13%
4	94,8	1123,8	8,37%	99,24%	0,76%
2	8,3	1132,1	0,76%	100,00%	0,0%
1	0,00	1132,1	0,00%	100,00%	0,0%
0,5	0,00	1132,1	0,00%	100,00%	0,0%
0,25	0,00	1132,1	0,00%	100,00%	0,0%
Pasa	0,00	1132,1	0,00%	100,00%	0,0%

Muestra 1132,1 gramos Mg 6,84

T.max	20	mm
--------------	-----------	-----------

Granulometría de árido limpieza de cerámica

	R (g)	RA (g)	R (%)	RA (%)	P (%)
Tamiz	Retenido (g)	Retenido Acumulado (g)	%Retenido en el tamiz	% Retenido acumulado	% Pasa
20	0,00	0,00	0,00%	0,00%	100,0%
16	7,2	7,2	1,07%	1,07%	98,93%
14	5	12,2	0,74%	1,81%	98,19%
12,5	8,7	20,9	1,29%	3,10%	96,9%
10	46,5	67,4	6,92%	9,39%	90,61%
8	158,9	226,3	23,66%	33,05%	66,95%
6,3	204,7	431	30,48%	63,53%	36,47%
4	240,5	671,5	36,47%	100,00%	0,0%
2	0,00	671,5	0,00%	100,00%	0,0%
1	0,00	671,5	0,00%	100,00%	0,0%
0,5	0,00	671,5	0,00%	100,00%	0,0%
0,25	0,00	671,5	0,00%	100,00%	0,0%
0,125	0,00	671,5	0,00%	100,00%	0,0%
Pasa	0,00	671,5	0,00%	100,00%	0,0%

Muestra 671,5

gramos

Mg

6,32

T.max	16	mm
--------------	-----------	-----------

3.3.2. Densidades De Áridos

Tipo de árido	Peso saturado (Gr)	Peso balanza hidrostática (Gr)	Volumen aparente (Gr)	Peso seco (Gr)	Densidad (Gr/cm ³)
Grava caliza	641	370	271	475	1,75
Árido mixto	577	331	246	543	2,20
Árido restos mixto	571	328	243	530	2,18
Árido cerámico mixto	447	243	204	405	1,98
Árido limpieza de cerámica	641	385	256	631	2,46

Tabla DENSIDADES ÁRIDOS

3.3.3. Procedimiento de ensayo

Se pone en marcha la amasadora y se echa la arena y la grava, a continuación el binder y se deja que se mezclen. Se echa el agua poco a poco y se deja que se mezcle todo muy bien. Durante este proceso se debe observar si tiene una buena consistencia y trabajabilidad o si necesita añadir aditivo superplastificante.

Se vierte el hormigón en los moldes de 10x10x40cm y se vibra con un vibrador de aguja.

A continuación, se cubren los moldes con plásticos para un correcto curado.

Pasadas 24 horas, se desmoldan las probetas y se introducen en la cámara húmeda.

Más adelante se realizan la rotura de las probetas a 7, 28, 45, 60 y 90 días.

3.3.4. Dosificaciones de los hormigones elaborados en el estudio

BINDER ECOEFICIENTE

Componentes del Binder Ecoeficiente	%	Tipo
Cemento	30	CEM I 52,5 R (Cementval)
Cal	8	Procedente de residuo de la fabricación del acetileno
Escoria siderúrgica	20	Procedente de alto horno
Ceniza volante	40	Procedente de central térmica
Humo de sílice	2	Sika Fume S-92 D
Aditivo superplastificante	<1%	Sika Viscocrete 3425

Hormigones elaborados en el estudio:

- Hormigón patrón con cemento y árido calizo
- Hormigón patrón con binder ecoeficiente y árido calizo
- Hormigón con binder ecoeficiente y árido mixto procedente de derribos:
El árido mixto se separa manualmente y se obtiene por una parte, el árido cerámico y por otro, los áridos restos mixtos.
- Hormigón con binder ecoeficiente y árido restos mixto seleccionado procedente de derribos:
Se realiza con los áridos restos mixtos, obtenidos de la separación de árido mixto, procedente de derribos.
- Hormigón con binder ecológico y árido cerámico mixto seleccionado procedente de derribos:
Se realiza con los áridos cerámicos mixtos, obtenido de la separación del árido mixto, procedente de derribos.
- Hormigón con binder ecológico y árido de limpieza cerámica

3.3.4.1. HORMIGÓN PATRÓN CON CEMENTO Y ÁRIDO CALIZO (H. PATRÓN, CEM+CALIZO), A/C = 0,5

La relación arena/grava utilizada fue de 60-40%. Y la consistencia de hormigón según el ensayo del Cono de Abrams fue blanda (9cm).

DOSIFICACIÓN

Componentes	Peso (Gr)
Cemento	3420
Arena	9780
Grava	6520
Agua	1710
Aditivo superplastificante	21,8

3.3.4.2. HORMIGÓN PATRÓN CON CEMENTO Y ÁRIDO CALIZO (H. PATRÓN, CEM+CALIZO), A/C = 0,6

Hormigón patrón con cemento CEM I 52,5 R y árido calizo triturado procedente de cantera, con una relación agua/cemento de 0,6.

La relación arena/grava utilizada fue de 60-40%

La consistencia de hormigón según el ensayo del Cono de Abrams fue fluida (12-13cm).

DOSIFICACIÓN

Componentes	Peso (Gr)
Cemento	3060
Arena	9780
Grava	6520
Agua	1840
Aditivo superplastificante	21

3.3.4.3. HORMIGÓN PATRÓN CON BINDER ECOEFICIENTE Y ÁRIDO CALIZO (H. PATRÓN, BINDER+CALIZO), A/B = 0,5

	Componentes	%	Peso (Gr)
BINDER ECOEFICIENTE	Cemento	30	878
	Cal	8	234
	Escoria siderúrgica	20	585
	Ceniza volante	40	1171
	Humo de sílice	2	59
ÁRIDO	Arena	60	9780
	Grava	40	6520
	Total		19227
	Aditivo superplastificante		17
	Agua		1710

3.3.4.4. HORMIGÓN PATRÓN CON BINDER ECOEFICIENTE Y ÁRIDO CALIZO (H. PATRÓN, BINDER+CALIZO), A/B = 0,6

	Componentes	%	Peso (Gr)
BINDER ECOEFICIENTE	Cemento	30	786
	Cal	8	210
	Escoria siderúrgica	20	524
	Ceniza volante	40	1048
	Humo de sílice	2	52
ÁRIDO	Arena	60	9780
	Grava	40	6520
	Total		18920
	Aditivo superplastificante		7
	Agua		1840

3.3.4.5. Tabla 1 COMPONENTES H. PATRÓN BHORMIGÓN CON BINDER ECOEFICIENTE Y ÁRIDO MIXTO PROCEDENTE DE DERRIBOS, A/B = 0,5

	Componentes	%	Peso (Gr)
BINDER ECOEFICIENTE	Cemento	30	878
	Cal	8	234
	Escoria siderúrgica	20	585
	Ceniza volante	40	1171
	Humo de sílice	2	59
ÁRIDO	Arena	64,4	9780
	Grava	35,6	5409
	Total		18116
	Aditivo superplastificante		17
	Agua		1710

3.3.4.6. HORMIGÓN CON BINDER ECOEFICIENTE Y ÁRIDO MIXTO PROCEDENTE DE DERRIBOS, A/B = 0,6

	Componentes	%	Peso (Gr)
BINDER ECOEFICIENTE	Cemento	30	786
	Cal	8	210
	Escoria siderúrgica	20	524
	Ceniza volante	40	1048
	Humo de sílice	2	52
ÁRIDO	Arena	64,4	9780
	Grava	35,6	5409
	Total		17809
	Aditivo superplastificante		7
	Agua		1840

3.3.4.7. HORMIGÓN CON BINDER ECOEFICIENTE Y ÁRIDO RESTOS MIXTO SELECCIONADO PROCEDENTE DE DERRIBOS, A/B = 0,5

	Componentes	%	Peso (Gr)
BINDER ECOEFICIENTE	Cemento	30	878
	Cal	8	234
	Escoria siderúrgica	20	585
	Ceniza volante	40	1171
	Humo de sílice	2	59
ÁRIDO	Arena	64,4	9780
	Grava	35,6	5355
	Total		18062
	Aditivo superplastificante		17
	Agua		1710

3.3.4.8. HORMIGÓN CON BINDER ECOEFICIENTE Y ÁRIDO RESTOS MIXTO SELECCIONADO PROCEDENTE DE DERRIBOS, A/B = 0,6

	Componentes	%	Peso (Gr)
BINDER ECOEFICIENTE	Cemento	30	786
	Cal	8	210
	Escoria siderúrgica	20	524
	Ceniza volante	40	1048
	Humo de sílice	2	52
ÁRIDO	Arena	64,6	9780
	Grava	35,4	5355
	Total		17755
	Aditivo superplastificante		7
	Agua		1840

3.3.4.9. HORMIGÓN CON BINDER ECOLÓGICO Y ÁRIDO CERÁMICO MIXTO SELECCIONADO PROCEDENTE DE DERRIBOS, A/B = 0,5

	Componentes	%	Peso (Gr)
BINDER ECOEFICIENTE	Cemento	30	878
	Cal	8	234
	Escoria siderúrgica	20	585
	Ceniza volante	40	1171
	Humo de sílice	2	59
ÁRIDO	Arena	66,7	9780
	Grava	33,3	4869
	Total		17576
	Aditivo superplastificante		21
	Agua		1710

3.3.4.10. HORMIGÓN CON BINDER ECOLÓGICO Y ÁRIDO CERÁMICO MIXTO SELECCIONADO PROCEDENTE DE DERRIBOS, A/B = 0,6

	Componentes	%	Peso (Gr)
BINDER ECOEFICIENTE	Cemento	30	786
	Cal	8	210
	Escoria siderúrgica	20	524
	Ceniza volante	40	1048
	Humo de sílice	2	52
ÁRIDO	Arena	66,7	9780
	Grava	33,3	4869
	Total		17269
	Aditivo superplastificante		14
	Agua		1840

3.3.4.11. HORMIGÓN CON BINDER ECOLÓGICO Y ÁRIDO LIMPIEZA DE CERÁMICA, A/B = 0,5

	Componentes	%	Peso (Gr)
BINDER ECOEFICIENTE	Cemento	30	878
	Cal	8	234
	Escoria siderúrgica	20	585
	Ceniza volante	40	1171
	Humo de sílice	2	59
ÁRIDO	Arena	61,8	9780
	Grava	38,2	6048
	Total		18755
	Aditivo superplastificante		12
	Agua		1710

3.3.4.12. HORMIGÓN CON BINDER ECOLÓGICO Y ÁRIDO LIMPIEZA DE CERÁMICA, A/B = 0,6

	Componentes	%	Peso (Gr)
BINDER ECOEFICIENTE	Cemento	30	786
	Cal	8	210
	Escoria siderúrgica	20	524
	Ceniza volante	40	1048
	Humo de sílice	2	52
ÁRIDO	Arena	61,8	9780
	Grava	38,2	6048
	Total		18448
	Aditivo superplastificante		4
	Agua		1840

3.3.5. Ensayos a compresión de las probetas de hormigón

Los ensayos han sido realizados según la normativa para fabricación de probetas de hormigón.

Rotura a 7 días

Hormigones	7 DÍAS	% Cemento
1. H. PATRÓN, CEM+CALIZO 0,5	51,74	100
2. H. PATRÓN, CEM+CALIZO 0,6	41,33	100
3. H. PATRÓN, BINDER+CALIZO 0,5	10,85	30
4. H. PATRÓN, BINDER+CALIZO 0,6	8,68	30
5. H. BINDER+ ÁRIDO MIXTO 0,5	12,13	30
6. H. BINDER+ ÁRIDO MIXTO 0,6	8,79	30
7. H. BINDER+ ÁRIDO RESTOS MIXTO 0,5	12,07	30
8. H. BINDER+ ÁRIDO RESTOS MIXTO 0,6	8,09	30
9. H. BINDER+ ÁRIDO CERÁMICO MIXTO 0,5	15,06	30
10. H. BINDER+ ÁRIDO CERÁMICO MIXTO 0,6	8,09	30
11. H. BINDER+ ÁRIDO LIMPIEZA DE CERÁMICA 0,5	11,36	30

Trabajo Fin de Grado Beatriz Plaza Gámez

Grado en Arquitectura Técnica – ETS de Ingeniería de Edificación – Universitat Politècnica de València

12. H. BINDER+ ÁRIDO LIMPIEZA DE CERÁMICA 0,6	7,58	30
---	------	----

Tabla 2 RESISTENCIA DE LOS HORMIGONES A COMPRESIÓN, 7 DÍAS

En los datos obtenidos de la rotura a compresión a 7 días, se observó cómo los hormigones con 100% de cemento alcanzaron resistencias tempranas muy elevadas, mientras que aquellos hormigones con un 30% de cemento oscilaron entre 8 y 12 MPa de resistencia a compresión.

Destacó el Hormigón con Binder Ecoeficiente con grava cerámica con 15 MPa, estimando que su mayor resistencia es debido a la porosidad del árido, que favorece la adherencia árido-binder, formando una unión temprana más resistente

Rotura a 28 días

Hormigones	7 DÍAS	28 DÍAS	% Cemento	% Aumento Resist.
1. H. PATRÓN, CEM+CALIZO 0,5	51,74	53,18	100	3
2. H. PATRÓN, CEM+CALIZO 0,6	41,33	48,53	100	15
3. H. PATRÓN, BINDER+CALIZO	10,85	19,00	30	43
4. H. PATRÓN, BINDER+CALIZO	8,68	16,50	30	98
5. H. BINDER+ ÁRIDO MIXTO 0,5	12,13	21,83	30	45
6. H. BINDER+ ÁRIDO MIXTO 0,6	8,79	14,67	30	40
7. H. BINDER+ ÁRIDO RESTOS MIXTO 0,5	12,07	21,41	30	44
8. H. BINDER+ ÁRIDO RESTOS MIXTO 0,6	8,09	14,61	30	45
9. H. BINDER+ ÁRIDO CERÁMICO MIXTO 0,5	15,06	23,82	30	37
10. H. BINDER+ ÁRIDO CERÁMICO MIXTO 0,6	8,09	14,21	30	43
11. H. BINDER+ ÁRIDO LIMPIEZA DE CERÁMICA 0,5	11,36	19,22	30	41
12. H. BINDER+ ÁRIDO LIMPIEZA DE CERÁMICA 0,6	7,58	13,76	30	45

Tabla 3 RESISTENCIA DE LOS HORMIGONES A COMPRESIÓN, 28 DÍAS
Tras el análisis de datos se observó que en los hormigones con Binder Ecoeficiente (3, 4, 5, 6, 7, 8,9, 10, 11, 12) aumentó la resistencia, lo cual indica que ya habían empezado a producirse las reacciones puzolánicas. Los resultados indican que han comenzado las reacciones

puzolánicas; siendo mucho más evidente e importante en el ecológico tal y como lo demuestra su evolución del 500%.

Rotura a 45 días

Hormigones	28 DÍAS	45 DÍAS	% Cemento	% Aumento Resist.
1. H. PATRÓN, CEM+CALIZO 0,5	53,18	61,38	100	2
2. H. PATRÓN, CEM+CALIZO 0,6	48,53	49,12	100	2
3. H. PATRÓN, BINDER+CALIZO 0,5	19,00	20,97	30	9
4. H. PATRÓN, BINDER+CALIZO 0,6	16,50	17,87	30	8
5. H. BINDER+ ÁRIDO MIXTO 0,5	21,83	25,38	30	14
6. H. BINDER+ ÁRIDO MIXTO 0,6	14,67	15,93	30	8
7. H. BINDER+ ÁRIDO RESTOS MIXTO 0,5	21,41	23,12	30	7
8. H. BINDER+ ÁRIDO RESTOS MIXTO 0,6	14,61	15,03	30	3
9. H. BINDER+ ÁRIDO CERÁMICO	23,82	28,27	30	16
10. H. BINDER+ ÁRIDO CERÁMICO MIXTO 0,6	14,21	16,99	30	16
11. H. BINDER+ ÁRIDO LIMPIEZA DE CERÁMICA 0,5	19,22	21,22	30	9
12. H. BINDER+ ÁRIDO LIMPIEZA DE CERÁMICA 0,6	13,76	15,11	30	9

Tabla 4 RESISTENCIA DE LOS HORMIGONES A COMPRESIÓN, 45 DÍAS

En los hormigones patrón (1, 2) se observó que el incremento de la resistencia porcentual es muy inferior al resto de reacciones puzolánicas esta evolución es debida principalmente a la hidratación C_2S ya que el C_3S es el responsable de las resistencias en edades muy tempranas.

En los hormigones con Binder Ecoeficiente y árido cerámico mixto (9, 10) se observó que seguía aumentando la resistencia en mayor porcentaje respecto del resto de hormigones. Esto se debe a la continuidad de las reacciones puzolánicas y a la porosidad del árido cerámico.

En el Hormigón con Binder Ecológico se observó la continuidad de las reacciones puzolánicas.

Tras las roturas se rociaron las probetas con fenolftaleina y se observó que aún quedaba cal por reaccionar, por lo que las resistencias seguirían aumentando con el paso del tiempo siempre que quedase sílice amorfa en el sistema.

Hormigones	45 DÍAS	60 DÍAS	% Cemento	% Aumento Resist.
1. H. PATRÓN, CEM+CALIZO 0,5	61,38	61,97	100	1
2. H. PATRÓN, CEM+CALIZO 0,6	49,12	49,22	100	1
3. H. PATRÓN, BINDER+CALIZO 0,5	20,97	22,98	30	9
4. H. PATRÓN, BINDER+CALIZO 0,6	17,87	19,48	30	8
5. H. BINDER+ ÁRIDO MIXTO 0,5	25,38	27,36	30	7
6. H. BINDER+ ÁRIDO MIXTO 0,6	15,93	17,95	30	11
7. H. BINDER+ ÁRIDO RESTOS MIXTO 0,5	23,12	24,60	30	
8. H. BINDER+ ÁRIDO RESTOS MIXTO 0,6	15,03	16,86	30	11
9. H. BINDER+ ÁRIDO CERÁMICO MIXTO 0,5	28,27	28,32	30	1
10. H. BINDER+ ÁRIDO CERÁMICO MIXTO 0,6	16,99	18,24	30	7
11. H. BINDER+ ÁRIDO LIMPIEZA DE CERÁMICA 0,5	21,22	22,53	30	6
12. H. BINDER+ ÁRIDO LIMPIEZA DE CERÁMICA 0,6	15,11	16,23	30	7

Rotura a 60 días

ormigones	45 DÍAS	60 DÍAS	% Cemento	% Aumento
H. PATRÓN, CEM+CALIZO 0,5	61,38	61,97	100	8
H. PATRÓN, CEM+CALIZO 0,6	49,12	49,22	100	0
H. PATRÓN, BINDER+CALIZO 0,5	20,97	22,98	30	10
H. PATRÓN, BINDER+CALIZO 0,6	17,87	19,48	30	9
H. BINDER+CERÁMICA 0,5	28,27	28,32	30	0
H. BINDER+CERÁMICA 0,6	16,99	18,24	30	7
H. BINDER+PORCEL. 0,5	21,92	23,16	30	6
H. BINDER+PORCEL. 0,6	16,52	17,94	30	9
H. ECO, CV+CCA+CAL+PORCEL. 0,5	18,59	20,48	0	10

Tabla 5 RESISTENCIA DE LOS HORMIGONES A COMPRESIÓN, 60 DÍAS

Se observó que las resistencias aumentaron en menor porcentaje, estabilizándose.

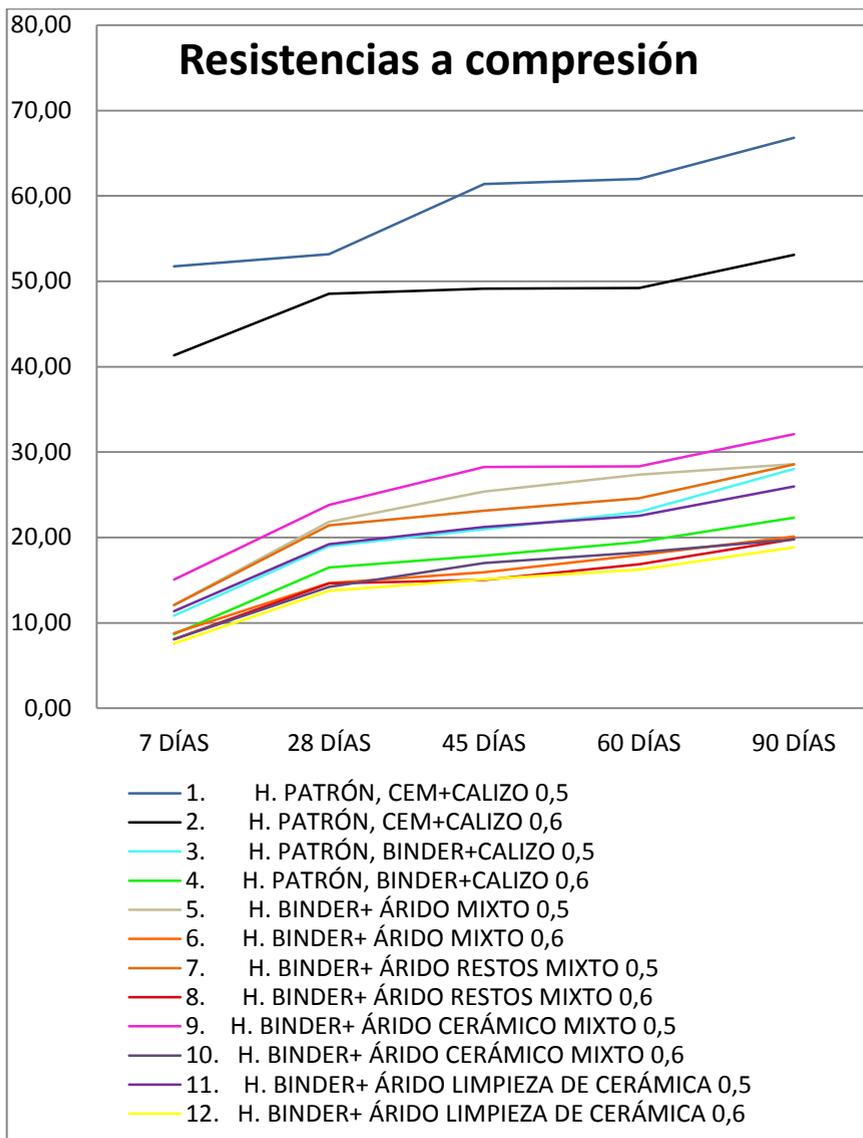
Rotura a 90 días

Hormigones	60 DÍAS	90 DÍAS	% Cemento	% Aumento Resist.
1. H. PATRÓN, CEM+CALIZO 0,5	61,97	66,79	100	7
2. H. PATRÓN, CEM+CALIZO 0,6	49,22	53,12	100	7
3. H. PATRÓN, BINDER+CALIZO 0,5	22,98	28,04	30	18
4. H. PATRÓN, BINDER+CALIZO 0,6	19,48	22,33	30	13
5. H. BINDER+ ÁRIDO MIXTO 0,5	27,36	28,58	30	4
6. H. BINDER+ ÁRIDO MIXTO 0,6	17,95	20,10	30	11
7. H. BINDER+ ÁRIDO RESTOS MIXTO 0,5	24,60	28,57	30	14
8. H. BINDER+ ÁRIDO RESTOS MIXTO 0,6	16,86	19,82	30	15
9. H. BINDER+ ÁRIDO CERÁMICO MIXTO 0,5	28,32	32,10	30	12
10. H. BINDER+ ÁRIDO CERÁMICO MIXTO 0,6	18,24	19,79	30	8

11. H. BINDER+ ÁRIDO LIMPIEZA DE CERÁMICA 0,5	22,53	25,99	30	13
12. H. BINDER+ ÁRIDO LIMPIEZA DE CERÁMICA 0,6	16,23	18,84	30	14

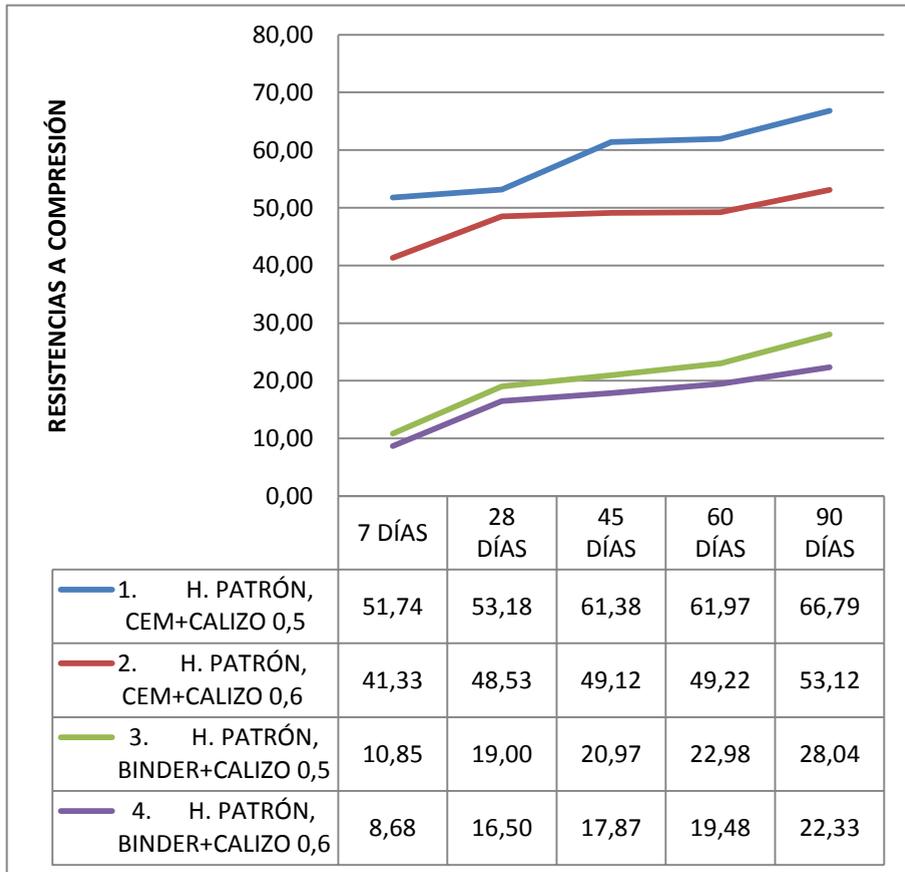
Tabla 6 RESISTENCIA DE LOS HORMIGONES A COMPRESIÓN, 80 DÍAS

Se observó que prácticamente la totalidad de los hormigones con Binder Ecoeficiente alcanzaron resistencias próximas a los hormigones empleados actualmente en estructuras.



Resultados y comparación

ESTUDIO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE HORMIGONES TRADICIONALES Y HORMIGONES CON BINDER ECOLÓGICO –Á.CALIZO



En la gráfica se puede observar, como los hormigones patrón con cemento (1 y 2), desarrollan muy rápido las resistencias a corto plazo debido principalmente al C_3S y en menor medida al C_2S .

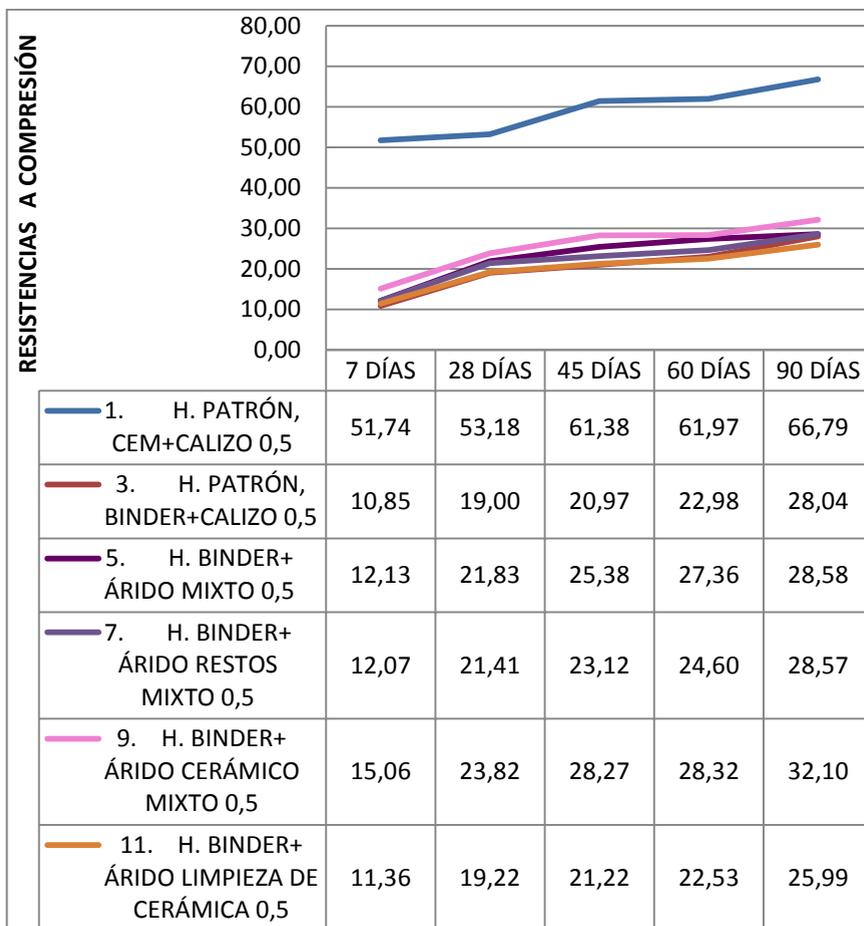
Otro dato significativo, es que el avance de resistencias a medio plazo es escaso. Pero se detecta un repunte a largo plazo debido probablemente al C_2S .

Por otro lado, los hormigones patrón con binder ecológico (2 y 3) tienen bajas resistencias a corto plazo, pero poseen una considerable evolución con el tiempo; alcanzando resistencias próximas a los hormigones estructurales que empleamos actualmente.

En este tipo de hormigones ecológicos es previsible una notable evolución a largo plazo, la cual no queda reflejada en este trabajo, al no haberse realizado roturas a edades superiores a 90 días.

Y cabe añadir que el comportamiento entre las relaciones 0,5 y 0,6 son comparables a las de un hormigón tradicional. Es decir a mayor relación a/c menores resistencias a compresión.

ESTUDIO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE HORMIGONES TRADICIONALES Y HORMIGONES CON BINDER ECOLÓGICO. INFLUENCIA DEL ÁRIDO EN RELACIONES 0,5.



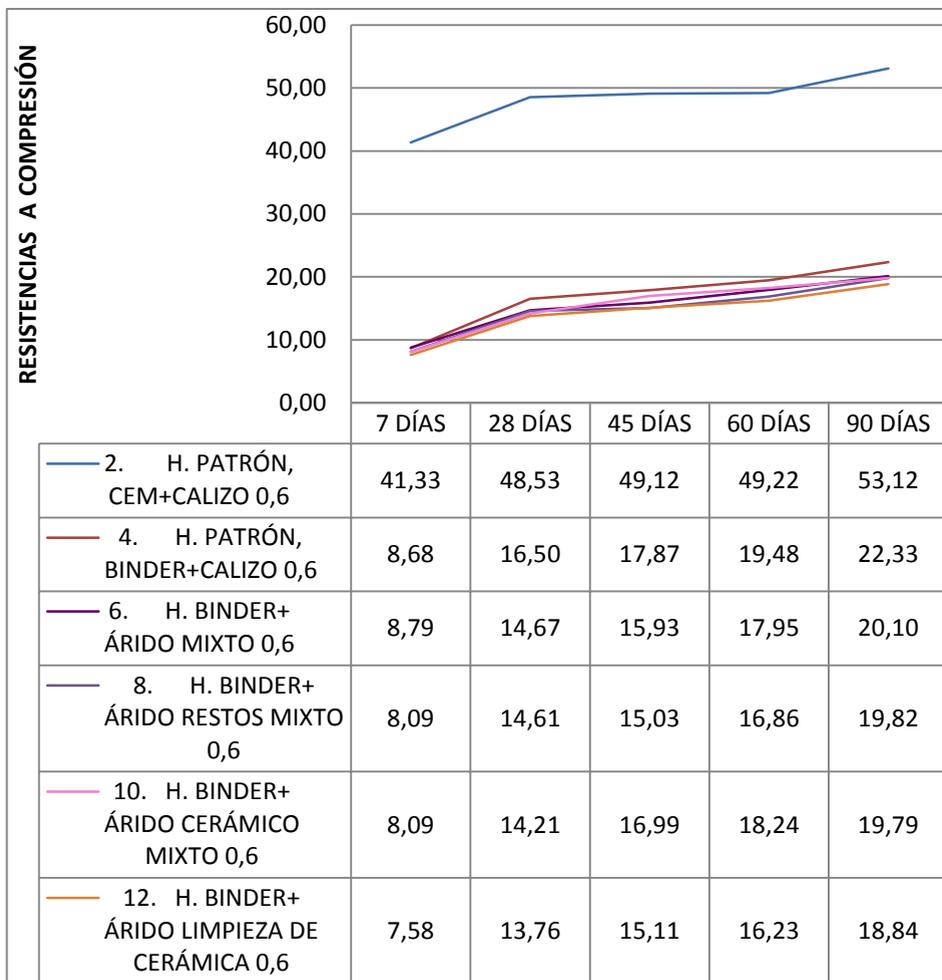
Como en el caso anterior, los hormigones patrón con cemento (1 y 2) destacan con respecto al resto, en cuanto a resistencia su velocidad para alcanzarlas.

Los hormigones con binder ecológico (3,5,7,9 y 11) alcanzan a 90 días resistencias superior a 25 Mpa y gran parte de ellos a 60 días.

Los hormigones ecológicos que mayor resistencia alcanzan a todas las edades son los que tienen áridos procedente de derribo (5,7 y 9); probablemente debido a la porosidad que favorece la adherencia de la matriz cementante .

Dentro de este tipo de áridos porosos los de mayores resistencias son los de árido exclusivamente cerámico; probablemente debido a la mayor resistencia mecánica de los mismos.

ESTUDIO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE HORMIGONES TRADICIONALES Y HORMIGONES CON BINDER ECOLÓGICO. INFLUENCIA DEL ÁRIDO EN RELACIONES 0,6.

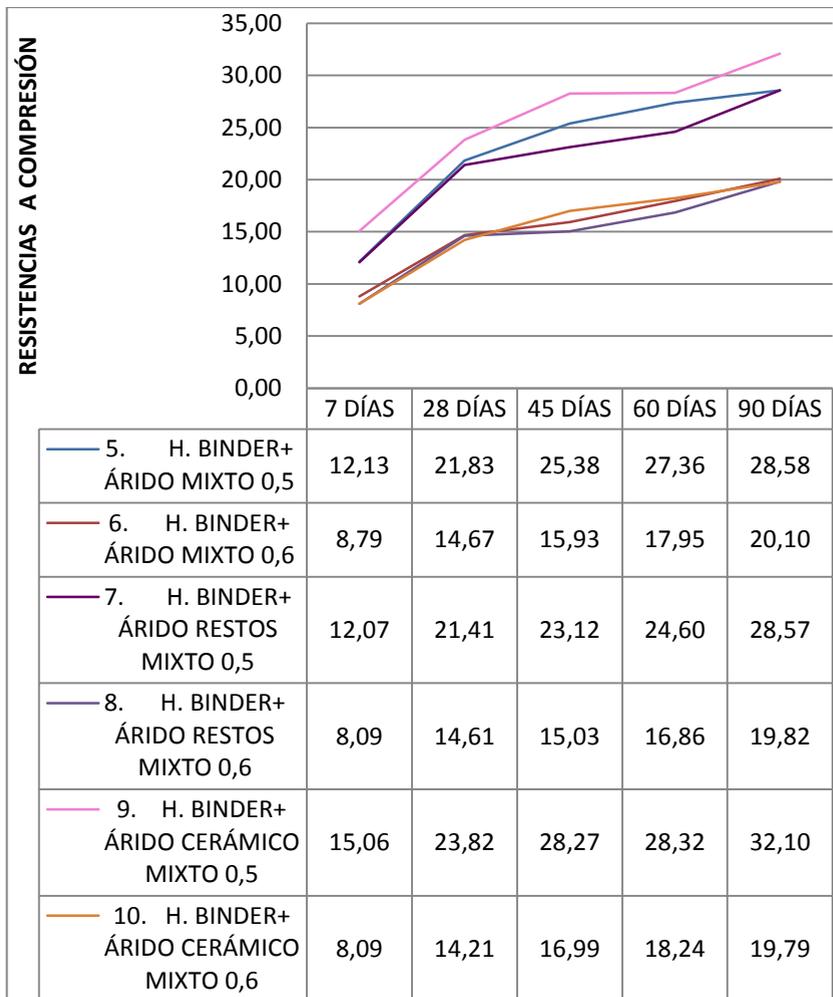


Ídem casos anteriores, el hormigón patrón con cemento (2) destaca con respecto al resto en cuanto a resistencia su velocidad para alcanzarlas.

Y del mismo modo, los hormigones con binder ecológico (4,6,8,10 y 12) tienen mayor resistencia cuando empleamos árido calizo.

En todos los casos las resistencias son aceptables, esperando probablemente una evolución de las resistencias pasados 90 días.

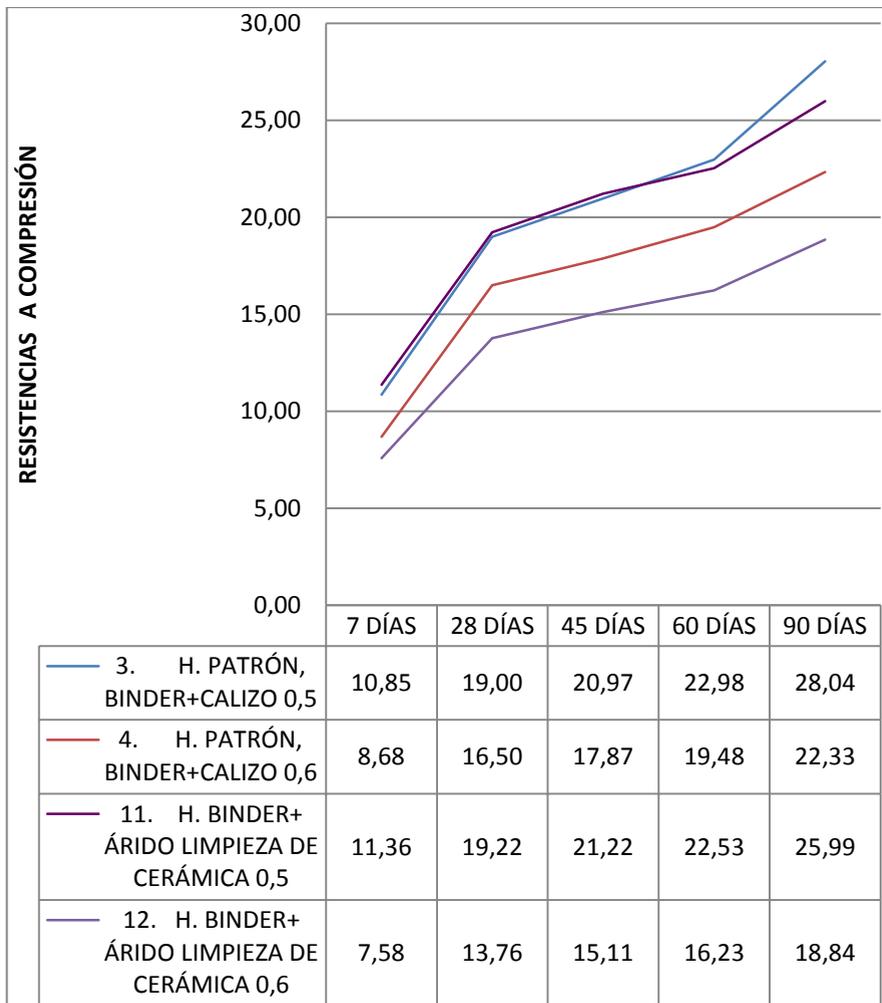
ESTUDIO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE ÁRIDOS PROCEDENTES DE DERRIBO. INFLUENCIA DE SU SEPARACIÓN.



En esta comparación del estudio, se aprecia una clara diferencia entre los hormigones con relaciones 0,5 y 0,6; siendo mayores los de 0,5. Debido a lo mencionado anteriormente: a mayor relación a/c , menores serán las resistencias a compresión.

Con independencia de las relaciones parece tener un mejor comportamiento los de árido exclusivamente cerámico; probablemente debido a la mayor resistencia mecánica de los mismos.

ESTUDIO RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE HORMIGONES CON BINDER ECOLÓGICO Y ÁRIDOS NATURALES. INFLUENCIA DEL ORIGEN.



La resistencias con relaciones 0,5 son muy similares entre árido calizo procedente de machaqueos y áridos silíceos rodados.

Sin embargo para las relaciones 0,6 se aprecia una considerable diferencia a favor del árido calizo procedente de machaqueo.

Capítulo 3.

Conclusiones

- Tras los ensayos y con los resultados obtenidos, se observa que todos los hormigones rozan las resistencias que se solicitan a los hormigones estructurales.
- Se debe tener en cuenta que los hormigones seguirán evolucionando.
- Los hormigones patrón con cemento desarrollan muy rápido las resistencia a corto plazo principalmente debido al C_3S y en menor medida al C_2S .
- Los hormigones patrón con binder ecológico tienen bajas resistencias a corto plazo, pero tienen una considerable evolución con el tiempo; alcanzando resistencias próximas a los hormigones estructurales, superando los 25 Mpa para las relaciones 0,5.
- El comportamiento entre las relaciones 0,5 y 0,6 en los hormigones ecológicos son comparables a las de un hormigón tradicional. Es decir a mayor relacion a/c menores resistencias a compresión.

- Los hormigones ecológicos que mayor resistencia alcanzan a todas las edades son los que tienen áridos procedente de derribo; probablemente debido a la porosidad que favorece la adherencia de la matriz cementante .
- Dentro de los áridos procedentes de derribo los de mayores resistencias son los de árido exclusivamente cerámico; probablemente debido a la mayor resistencia mecánica de los mismos.
- Cuando empleamos binder ecológico la resistencias con relaciones 0,5 son muy similares entre árido calizos procedente de machaqueos y áridos silíceos rodados. Sin embargo para las relaciones 0,6 se aprecia una considerable diferencia a favor del árido calizo procedente de machaqueo.
- Dado que los áridos procedentes de derribo pueden tener elementos que pueden atacar la matriz cementante como los yesos; habría que hacer un estudio posterior de durabilidad. No obstante este tipo de hormigones pueden ser ampliamente empleados en elementos prefabricados (Por ejemplo: bordillos, baldosas hidráulicas, mobiliarios urbanos; así como en soleras, pistas de rodaduras, etc.)
- El uso de binder ecológico difícilmente se puede emplear en estructuras por su lenta evolución en resistencias, debiendo estudiar además dosificaciones que garanticen la protección del acero. No obstante puede ser usado para elementos como lo anteriormente citado, así como en la eliminación del cemento

en usos de albañilería; reduciendo la fisuración de las fábricas de ladrillo y las emisiones de CO₂ a la atmosfera.

- Dado el buen comportamiento de los áridos cerámicos estudiados se debería investigar la posibilidad de utilización de los residuos de las empresas cerámicas como sustitución del árido grueso en hormigones. Este tipo de árido además tiene la ventaja de no estar contaminado con elementos como los yesos.

Capítulo 4.

Bibliografía

Referencias

[1] J. Xiao, J. Li, and C. Zhang, “Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading,” *Cement and Concrete Research*, no. 35–6, pp. 1187–1194, 2005. 180

[2] K. Rahal, “Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate,” *Building and Environment*, no. 42–21, pp. 407–415, 2007. 180, 189

[3] V. W. Y. Tam, K. Wang, and T. C. M., “Assessing relationships among properties of demolished concrete, recycled aggregate and recycled aggregate concrete using regression analysis,” *Journal of Hazardous Materials*, no. 152–2, pp. 703–714, 2008. 180, 181

[4] A. K. Padmini, K. Ramamurthy, and M. S. Mathews, “Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete,” *Construction and Building Materials*, no. 23–2, pp. 829–836, 2009. 180

[5] X. Li, “Recycling and reuse of waste concrete in china: Part II Structural Behaviour of recycled aggregate concrete and engineering applications,” *Resources, Conservation and recycling*, no. 53–3, pp. 107–112, 2009. 180

[6] V. K. Bairagi, K. Ravande, and V. K. Pareek, "Behaviour of concrete with different proportions of natural and recycled aggregates," *Resources Conservations and Recycling*, no. 9, pp. 109–126, 1993. 180

[7] K. Eguchi, K. Teranishi, A. Nakagome, H. Kishimoto, K. Shinozaki, and

M. Narikawa, "Application of Recycled Coarse Aggregate by Mixture to Concrete Construction," *Construction and Building Materials*, no. 21, pp.1542–1551, 2007. 180

[8] C. S. Poon, Z. H. Shui, and L. Lam, "Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates," *Construction and Building Materials*, no. 18, pp. 461–468, 2004. 181, 187

[9] V. W. Y. Tam, X. F. Gao, and T. C. M., "Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach," *Cement and Concrete Research*, no. 35, pp. 1195–1203, 2005. 181

[10] V. W. Y. Tam, X. F. Gao, T. C. M., and K.M. Ng, "Physio-chemical reactions in recycled aggregate concrete," *Journal of Hazardous Materials*, no. 153, pp.823–828, 2008. 181

[11] W. H. Kwan, M. Ramli, K. J. Kam, and M. Z. Sulieman, "Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties," *Constructions and Building Materials*, no. 26, pp. 565–573, 2012. 181, 188

[12] Asociación científico-técnica del hormigón estructural, "Utilización de arido reciclado para la fabricación de hormigón estructural," Monografía (ACHE), no. M11, pp. 117–125, 2006. 181, 187

[13] Tobón, J. I., Restrepo, O. J. y Payá, J., Adición de nanopartículas al cemento Portland, *Dyna*, 152, pp. 277-291, 2007.

[14] Torres, J., Arley, E. and Silva, A. R., Evaluación de la actividad puzolánica de un residuo de la industria del petróleo, *Dyna*, 158, pp. 49-53, 2009.

[15] Rawaid, K., Abdul, J., Irshad, A., Wajid, K., Naeem, K. A. and Jahangir, M., Reduction in environmental problems using rice-husk ash in concrete, *Constr. Build. Mater.*, 30, pp. 360-365, 2012.

Links

<http://www.ecologistasenaccion.es/article17915.html> [16]

<http://www.europapress.es/nacional/noticia-rsc-industria-cementera-emito-emision-espana-850000-toneladas-co2-2012-20140603182945.html> Informe sobre reciclado y valorización de residuos en la industria cementera en España', elaborado por el Instituto Cerdà y presentado por la Fundación Laboral del Cemento y el Medio Ambiente (Cema). [17]

<http://www.rae.es/> [18]

Anexo I

7.1. Definiciones

CEMENTO

1. Mezcla formada de arcilla y materiales calcáreos, sometida a cocción y muy finamente molida, que mezclada a su vez con agua se solidifica y endurece.*

ECOFICIENTE

1. Aquello que hace un uso eficiente del agua, la energía, el suelo, la materia prima y la fuerza del trabajo en todo proceso productivo, reutilizando los productos y tratando los vertimientos, de tal manera que se reduzcan los riesgos y se eliminen o se prevengan los impactos ambientales negativos sobre la salud y los ecosistemas. [19]

HORMIGÓN

2. Mezcla compuesta de piedras menudas y mortero de cemento y arena.*

RECICLAJE

1. Acción de someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar.*

3. Acción de someter repetidamente una materia a un mismo ciclo, para ampliar o incrementar los efectos de éste.*

(*) Definiciones obtenidas en la aplicación de la Real Academia de la Lengua Española www.rae.es [18]

7.2. Fotografías



Fotografía Anexo 1ÁRIDO LIMPIEZA DE CERÁMICA (PLANTA
RECICLAJE CABRETA, LA VALL D'UIXÓ)



Fotografía Anexo 2 ÁRIDO MIXTO CON RESIDUOS

Trabajo Fin de Grado Beatriz Plaza Gámez

Grado en Arquitectura Técnica – ETS de Ingeniería de Edificación – Universitat Politècnica de València



Fotografía Anexo 3 PROCESO DE LIMPIEZA Y SEPARACIÓN DE LOS ÁRIDOS EN EL LABORATORIO DE LA ETSIE



Fotografía Anexo 4 PROCESO DE CÁLCULO GRANULOMETRÍA DE
LOS ÁRIDOS



Fotografía Anexo5 PROCESO DE CÁLCULO GRANULOMETRÍA DE
LOS ÁRIDOS



Fotografía Anexo 6 PROCESO DE PREPARACIÓN DE LOS PATRONES Y HORMIGONES



Fotografía Anexo 7 PROBETAS SIN DESMOLDAR



Fotografía Anexo 8 PROBETAS EN CÁMARA HÚMEDA DURANTE EL PROCESO DE ENDURECIMIENTO



Fotografía Anexo 9 ROTURA DE PROBETAS



Fotografía Anexo 10 PROBETA HORMIGÓN PATRÓN CEM+CALIZO



Fotografía Anexo 11 PROBETA PATRÓN BINDER+CALIZO



Fotografía Anexo 12 PROBETA HORMIGÓN BINDER

+ÁRIDO MIXTO



Fotografía anexo 13 PROBETA DE HORMIGÓN BINDER+ÁRIDO
RESTOS MIXTO



Fotografía Anexo 14 PROBETA DE HORMIGÓN BINDER+ÁRIDO
CERÁMICO MIXTO



**Fotografía Anexo 15 PROBETA DE HORMIGÓN BINDER+ÁRIDO
LIMPIEZA DE CERÁMICA**

7.3. Índice de tablas

Composición estimada del Cemento tipo I	22
Componentes de la Ceniza Volante (CV)	23
Composición de la Cal (pasta)	24
Componentes de la Escoria Siderúrgica (ES).....	25
Composición del Humo de Sílice (HS)	26
Composición del agua.....	27
Granulometría de la Grava Caliza.....	40
Granulometría de la Arena Caliza.....	41
Granulometría del árido mixto.....	42
Granulometría de árido limpieza de cerámica.....	43
Densidades De Áridos.....	44
Componentes del Binder Ecoeficiente.....	46
Componentes hormigón patrón con cemento CEM I 52,5 R y árido calizo triturado procedente de cantera, con una relación agua/cemento de 0,5.....	48
Componentes hormigón patrón con cemento CEM I 52,5 R y árido calizo triturado procedente de cantera, con una relación agua/cemento de 0,6.	49

Componentes Hormigón patrón con binder ecoeficiente y árido calizo, A/B = 0,5.....	50
Componentes hormigón patrón con binder ecoeficiente y árido calizo, A/B = 0,6.....	51
Componentes hormigón con binder ecoeficiente y árido mixto procedente de derribos, A/B = 0,5.....	52
Componentes hormigón con binder ecoeficiente y árido mixto procedente de derribos, A/B = 0,6.....	53
Componentes hormigón con binder ecoeficiente y árido restos mixto seleccionado procedente de derribos, A/B = 0,5.....	54
Componentes hormigón con binder ecoeficiente y árido restos mixto seleccionado procedente de derribo, A/B = 0,6.....	55
Componentes hormigón con binder ecológico y árido cerámico mixto seleccionado procedente de derribos, A/B = 0,5.....	56
Componentes hormigón con binder ecológico y árido cerámico mixto seleccionado procedente de d, A/B = 0,6.....	57
Componentes hormigón con binder ecológico y árido de limpieza cerámica, A/B = 0,5.....	58
Componentes hormigón con binder ecológico y árido de limpieza cerámica, A/B = 0,6.....	59
Ensayos a compresión de las probetas de hormigón a 7 días.....	60
Ensayos a compresión de las probetas de hormigón a 28 días.....	61
Ensayos a compresión de las probetas de hormigón a 45 días.....	62

Ensayos a compresión de las probetas de hormigón a 60 días.....	63
Ensayos a compresión de las probetas de hormigón a 90 días.....	64

7.4. Índice de gráficas

Resistencias a compresión.....	67
Estudio de resistencia a compresión entre hormigones tradicionales y hormigones con Binder ecológico- Árido calizo.....	68
Estudio de resistencia a compresión entre hormigones tradicionales y hormigones con Binder ecológico. Influencia del árido en relaciones 0,5.....	69
Estudio de resistencia a compresión entre hormigones tradicionales y hormigones con Binder ecológico. Influencia del árido en relaciones 0,6.....	70
Estudio de resistencia a compresión entre áridos procedentes de derribo. Influencia de su separación.....	71
Estudio resistencia a compresión entre hormigones con Binder ecológico y áridos naturales. Influencia del origen.....	72

7.5. Ilustraciones

Uso de materiales cementicios.....	14
Diagrama ternario de combustibles y materias primas alternativos para la producción de clinker.....	15
Reducir, Reutilizar, Reciclar.....	18

7.6. Índice de fotografías

Planta reciclaje Cabreta.....	21
CEM 1 52,5.....	22
Ceniz volante.....	23
Cal.....	24
Escoria siderúrgica.....	25
Humo de sílice.....	26
Grava Caliza.....	28
Arena caliza.....	28
Árido Mixto.....	29
Árido restos mixto.....	29
Árido cerámico mixto.....	30

Aditivo Superplastificante: Sika Viscocrete 3425.....	30
Molino de bolas.....	31
Líquido Desencofrante/Herramientas.....	32
Báscula.....	32
Estufa.....	33
Tamices.....	34
Carretilla Elevadora.....	34
Cono De Abrams.....	35
Moldes.....	36
Vibrador De Aguja.....	37
Amasadora Mediana.....	38

7.7. Índice de fotografías del anexo

Fotografía Anexo 1.....	86
Fotografía Anexo 2.....	87
Fotografía Anexo 3.....	89
Fotografía Anexo 4.....	90
Fotografía Anexo 5.....	91
Fotografía Anexo 6.....	92
Fotografía Anexo 7.....	93
Fotografía Anexo 8.....	94
Fotografía Anexo 9.....	95
Fotografía Anexo 10.....	96
Fotografía Anexo 11.....	97
Fotografía Anexo 12.....	98
Fotografía Anexo 13.....	99
Fotografía Anexo 14.....	100
Fotografía Anexo 15.....	101

7.8. Normativa

UNE 80-101

UNE 80-225

UNE 450-1

UNE-EN 196-1

UNE-EN 196-2

UNE-EN 1015-2

EHE-08

7.9. Fichas técnicas

Báscula

Specifications - ICS425d-15LA/f Basic Weighing Scale	
Maximum Capacity	15.0 kg / 30.0 lb
Readability	2 g / 0.005 lb
Readability Approved	2 g / 0.005 lb
Height	110mm - 120mm / 4.4" -4.8" (adjustable)
Load plate material	chrome-nickel steel
Scale material	aluminum diecast
Dimensions (LxWxH)	404mm x 357mm/15.9" x 14.1")
Load cell (LxWxH)	
Keypad	Tactile-touch membrane keypad (PET), Scratch-resistant material
Display	LCD liquid crystal graphical display with backlighting
Data Interfaces	Standard: 1 RS232 plus 1 additional data interface: RS232, RS422/485, USB device /host, Ethernet, WLAN, Digital I/O, digital or analog 2nd scale
Degree of protection	IP54
Suitable platforms / weigh modules	all analog weighing platforms
Platform size	350mm x 240mm / 13.8" x 9.4"

Molino de bolas

CARACTERISTICAS TECNICAS						
A	B	C	Potencia Kw.	V.	Hz	Peso Kg.
350	720	370	0,30	400	50/60	62

Humo de sílice

Construcción

Hoja de Datos de Producto
Edición 19/09/05
Identificación nº 2.10.1
Versión nº 1
Sika® Fume S-92-D

2.10.1

Sika® Fume S-92-D

Adición a base de humo de sílice

Descripción del Producto	Es una adición a base de humo de sílice que se utiliza para aumentar la cohesión del hormigón fresco y las resistencias mecánicas y a agentes agresivos en el hormigón endurecido.
Usos	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hormigones estructurales de altas prestaciones. ■ Hormigón bombeado. ■ Hormigón proyectado tanto por vía seca como por vía húmeda. ■ Hormigones resistentes a agentes agresivos.
Características/Ventajas	<p>Contiene partículas microscópicas (0,1 micras) de dióxido de silicio reactivo. La presencia de dichas sustancias aumenta la retención del agua en el hormigón fresco.</p> <p>En el hormigón endurecido reacciona con la cal libre aumentando sus resistencias mecánicas y a agentes agresivos.</p> <p>Aumenta las resistencias químicas a cloruros, sulfatos, ácidos, ciclos de hielo-deshielo, reacción álcali-árido.</p> <p>No contiene cloruros ni elementos que puedan producir corrosión en las armaduras.</p> <p><i>Hormigones bombeados:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Mejor cohesión. ■ Reducción de la energía de bombeo. ■ Mayor densidad y compacidad. ■ Altas resistencias mecánicas. <p><i>Hormigones proyectados:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Mayor densidad. ■ Reduce el rechazo. ■ Alta resistencia a los sulfatos. ■ Altas resistencias mecánicas.

Datos del Producto

Forma

Apariencia/Color Polvo gris.

Presentación Saco de 20 kg.

Almacenamiento

Condiciones de Almacenamiento/Conservación 12 meses desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados. En lugar seco y fresco protegiéndolos de las heladas y el frío excesivo, a una temperatura entre +5° C y +30° C.

Datos Técnicos

Composición química Humo de sílice densificado.

Información del Sistema

Detalles de Aplicación

Consumo/Dosificación

- Hormigones de alta durabilidad y resistencias: aprox. 10% del peso de cemento.
- Hormigón normal: aprox. 5-10% del peso de cemento.
- Hormigón proyectado: aprox. 5% del peso de cemento.

En el caso de utilizar el sistema de vía húmeda deberá añadirse un superfluidificante del tipo Sikament®. Por vía seca no es necesario dicha adición.

Instrucciones de Aplicación

Se añade en seco con los componentes del hormigón, posteriormente se añade un superfluidificante del tipo Sikament® junto con el agua en la dosificación apropiada para obtener la consistencia requerida.

Notas de Aplicación/ Limitaciones

Es indispensable proceder, después de la puesta en obra del hormigón, a protegerlo de una desecación prematura, utilizando preferentemente el producto de curado Antisol®.

Para cualquier aclaración rogamos consulten con nuestro Departamento Técnico.

Notas

Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

Instrucciones de Seguridad e Higiene

Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.

Notas Legales

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite, o también se puede conseguir en la página "www.sika.es".

Aditivo superplastificante

Construcción

Hoja de Datos de Producto
 Edición 19/09/05
 Identificación nº 2.1.10
 Versión nº 1
 Sika ViscoCrete®-3425

2.1.10

Sika ViscoCrete®-3425

Superplastificante de alto rendimiento CE

Descripción del Producto El Sika ViscoCrete®-3425 es un superplastificante de altas prestaciones para hormigones.

Usos El Sika ViscoCrete®-3425 se utiliza para la confección de hormigones con gran necesidad de reducción de agua y de excelente fluidez

El Sika ViscoCrete®-3425 se utiliza principalmente para las siguientes aplicaciones:

- Hormigón prefabricado.
- Hormigón autocompactable.

Características/Ventajas El Sika ViscoCrete®-3425 es un poderoso superplastificante que combina diferentes mecanismos de actuación.

Debido a la adsorción superficial y el efecto esteárico, que separan las partículas, se consiguen las siguientes propiedades :

- Reducción muy importante de agua de amasado dando hormigones de alta densidad, altas resistencias y gran impermeabilidad.
- Excelente plasticidad, mejorando la fluidez, la colocación y la compactación.
- Bajo coste de energía en elementos prefabricados curados al vapor.
- Especialmente indicado para la preparación de hormigón autocompactable.
- Disminuye la retracción

No contiene cloruros ni sustancias que puedan provocar o favorecer la corrosión del acero y por lo tanto pueden utilizarse sin restricciones en hormigones armados o pretensados.

Ensayos

Certificados/Normas Cumple las especificaciones de la norma UNE-EN 934-2

Datos del Producto

Forma

Apariencia/Color Líquido incoloro

Presentación Contenedores de m³ y bajo pedido puede suministrarse a granel

Almacenamiento	
Condiciones de Almacenamiento/Conservación	12 meses desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados entre + 5° C y +35°C. Proteger de la acción directa de la luz solar y de las heladas.
Datos Técnicos	
Composición química	Policarboxilato modificado en base acuosa
Densidad	1.05 kg/l ± 0.01
Valor de pH	4 ± 1.
Contenido en Cloruros	Libre de cloruros (EN 934-2)
Efecto del fraguado	No retardante
Efecto de sobredosificación	Puede producir exudación
Información del Sistema	
Detalles de Aplicación	
Consumo/Dosificación	Dosificación recomendada: Para media trabajabilidad: 0.2-0.8% del peso del cemento Para una alta trabajabilidad, con baja relación agua/cemento y para hormigón autocompactable: 1.0-1.5 % del peso del cemento.
Condiciones de Aplicación/ Limitaciones	
Compatibilidad	El Sika ViscoCrete®-3425 se combina con los siguientes productos Sika entre otros: -SikaPump® -Sika® Ferrogard® -901 -SikaFume® -SikaRapid® -Sika® Stabilizer® -229 -Sika® Retarder® Se recomienda hacer ensayos antes de combinar los productos.
Instrucciones de Aplicación	
Incorporación al hormigón	El Sika ViscoCrete®-3425 se añadirá al agua de amasado o a la mezcla de hormigón.
Método de Aplicación/ Herramientas	Se deben seguir las reglas de buena práctica del hormigonado en cuanto a producción y colocación. El hormigón debe curar adecuadamente.
Notas de Aplicación/ Limitaciones	Hormigón autocompactable: Para la realización de hormigones autocompactables con Sika ViscoCrete®-3425 se deben hacer diseños del hormigón específicos Heladas: Si el Sika ViscoCrete®-3425 se helase, puede utilizarse sin que se vea disminuida ninguna de sus propiedades después de deshelerse lentamente a temperatura ambiente y agitado cuidadosamente.