

Concreto reciclado

*Reutilización del concreto. Adición de cenizas volátiles.
Influencia de altas proporciones de ceniza volátil. Uso de ceniza
de alta fineza.*

Reutilización del concreto

Referencia

Mukesh Limbachiya (Kingston University, United Kingdom). *Construction and Demolition Waste Recycling for Reuse as Aggregate in Concrete Production*. Kingston University. Day Group Open Day. 15 April 2003.

El estimado de materiales proveniente de edificaciones demolidas en el Reino Unido, es de 30 millones de toneladas por año (equivalente a 500 kg/persona/año). La industria de la construcción británica es la principal extractora de materiales, y sólo en Londres produce anualmente más de 14 millones de ton de desperdicios. Muy poco de ellos se emplea en uso secundario, y la mayor parte termina como relleno. Debido a las implicancias económicas y ambientales, la industria de la construcción experimenta una gran presión para superar esta situación.

De otra parte, en años recientes se está cuestionando el uso de los agregados provenientes de recursos naturales debido al agotamiento de los agregados primarios, y como necesidad de prevención ambiental.

Agregados reciclados

Los **agregados reciclados** están constituidos de partículas chancadas y graduadas, provenientes de materiales que han sido usados en construcción (como concreto o albañilería de ladrillo). Los **agregados de concreto reciclado**, limitan el contenido de la albañilería a no más del 5%. Estos últimos tipos de agregado tienen muy pocas restricciones de uso en las normas británicas (como la BS 8500-2), cuya orientación es cubrir sólo materiales gruesos. También se restringen los usos a aplicaciones en cimentaciones, pavimentos, y concreto reforzado o pre-esforzado en condiciones ambientales que no sean severas.



Para la producción, pueden emplearse las típicas chancadoras primarias y secundarias para la obtención del agregado reciclado con calidad suficiente según las normas. Antes y con posterioridad al chancado, es necesario remover los materiales extraños para conseguir un producto limpio.

Características

Respecto al agregado natural, el reciclado tiene una densidad entre 4 a 8% más baja, y una mayor capacidad de absorción de agua (2 a 6 veces). Lo cual debe tomarse en cuenta para la preparación y facilidad de trabajo del concreto, e incluso en sus propiedades como concreto endurecido.

Fueron probadas diferentes mezclas para estudiar la influencia del agregado de concreto reciclado, con resistencias variando entre 10 a 45 N/mm². Las mezclas incluyen proporciones variadas de agregado natural, hasta el 100% del agregado de concreto reciclado, pero se mantuvo la dotación de agua y cemento.

◆ Propiedades en fresco

Los resultados indican una reducción del slump al aumentarse el contenido de agregado de concreto reciclado, en una tolerancia de ± 25 mm. Sin embargo, se redujo la estabilidad de la mezcla para mayores proporciones de 50%.

◆ Resistencia a la compresión

Hasta el 30% de agregado de concreto reciclado, no se afecta la resistencia en los cubos de concreto de 100 mm, pero se produce una reducción de la misma con el aumento del contenido de este agregado. La compensación a esta pérdida, fue mejorada con el manejo de la proporción agua/cemento.

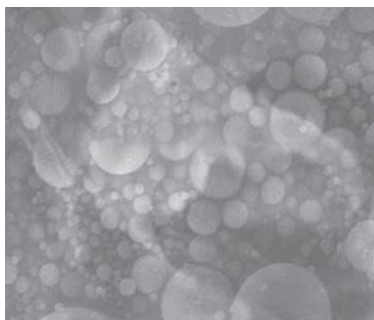
Con igualdad de resistencia, no se encontraron diferencias en pruebas de resistencia a la flexión y del módulo de elasticidad. Sin embargo, se encontraron incrementos en la contracción última y en las deformaciones unitarias por creep.

La conclusión más importante del estudio gira a incentivar el uso del agregado de concreto reciclado hasta el 30%, sin hacer modificaciones a los diseños habituales. Y a partir de ahí, realizar las modificaciones de mezclas en la proporción de agua/cemento. En tales casos, no se han encontrado diferencias en la durabilidad del concreto.

Adición de cenizas volátiles

Referencias

Headwaters Resouces. *Fly Ash for Concrete*. Corporate Offices. South Jordan, Utah. 2005.



Las cenizas volátiles son compuestos minerales no-combustibles, ricas en sílice, alúmina, y calcio. Químicamente, se trata de una puzolana, que cuando se mezcla con cal (hidróxido de calcio) conduce a compuestos cementosos (silicato de calcio hidratado). En la producción de concreto, estas cenizas llenan los vacíos, conduciendo a un concreto más fuerte, más durable, y más resistente a los ataques químicos. Al ser duras y redondeadas, se puede producir el concreto con menos agua.

Se considera a la ciudad italiana de Pozzuoli, el lugar de origen de la tecnología de concreto con ceniza. Además, las antiguas estructuras romanas (edificaciones, vías y acueductos) son ejemplos de larga durabilidad gracias a la tecnología de concreto con ceniza.

Hay dos tipos básicos de cenizas volátiles, que se designan como de clase F y de clase C. Ambos reaccionan en el concreto de manera similar para crear el silicato de calcio hidratado. Los de clase C puede poseer suficiente cal para auto cementarse, además de la reacción puzolánica. Los de clase F, tienen menos proporción.

Contribución a la calidad del concreto

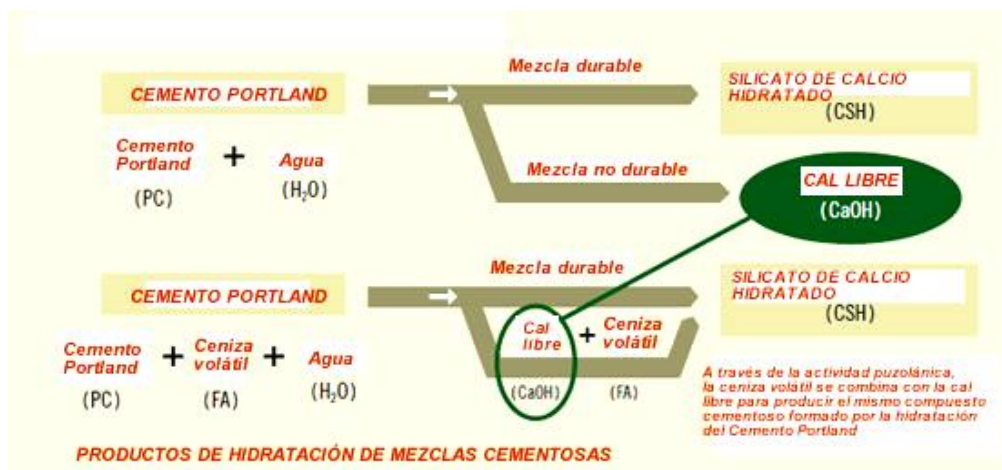
♦ Respecto a la durabilidad y resistencia

Típicamente, el concreto con ceniza volátil tendrá a los 28 días una resistencia ligeramente más baja que el concreto convencional, pero es mucho más alta al llegar al año.



COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA ENTRE CONCRETO CON CENIZA Y CONCRETO CONVENCIONAL

La cal, proveniente de la hidratación del cemento, queda disponible y reacciona con la ceniza, produciendo más silicato de calcio hidratado. Cuando no hay ceniza, la cal permanece intacta, y con el tiempo resulta susceptible a los efectos de la intemperie y a la pérdida de resistencia y durabilidad. Una manifestación de esto último son las eflorescencias blanquecinas que se aprecian en muros y losas (producto del humedecimiento y secado repetido del concreto, o por movimientos del vapor de agua).



◆ Respecto a la facilidad de trabajo del concreto

Las cenizas tienen menor peso unitario y producen más pasta cementosa, contribuyendo a aproximadamente en un 30% más de volumen de este material en comparación con el cemento convencional. Este mayor porcentaje, *lubrica* mejor los agregados y provoca la mayor fluidez del concreto.

Las cenizas reducen la cantidad de agua necesaria para producir un slump dado (entre un 2 a 10%), lográndose una mezcla mejor trabajable por la menor proporción de agua.

Con las cenizas se reduce la cantidad de arena necesaria en la mezcla, lo cual la hace mejor trabajable, porque resulta en una pasta más suave.

Influencia de altas proporciones de ceniza volátil

Referencia

Shi Cong Kou, Chi Sun Poon, and Dixon Chan (Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong). *Influence of Fly Ash as Cement Replacement on the Properties of Recycled Aggregate Concrete*. Journal of Materials in Civil Engineering. Vol 19, N° 9, September 1, 2007. ASCE.

Este estudio pretende ubicar las deficiencias que tendría sobre las propiedades del concreto, el uso de ceniza volátil de clase F. Se utilizaron dos series de mezclas con proporción agua/material cementoso de 0.45 y 0.55. El agregado reciclado fue usado en las proporciones 0, 20, 50, y 100% por peso en reemplazo del agregado natural. Además, la ceniza volátil se empleó en 0, 25, y 35% en peso, reemplazando al cemento. Los resultados muestran que los valores de la resistencia a la compresión, de la resistencia a la tensión, y del módulo de elasticidad en todas las edades, disminuyeron en la medida que aumentaron el agregado reciclado y el contenido de la ceniza volátil. Además, un incremento en el agregado reciclado disminuye la resistencia a la penetración iónica clorhídrica (derivada por disociación del cloruro de hidrógeno, y que puede llegar a la armadura), e incrementa la contracción por secado y el creep del concreto. Sin embargo, el uso de la ceniza volátil en reemplazo del cemento, mejora la resistencia a la penetración iónica, y disminuye tanto la contracción por secado como el creep del concreto con agregado reciclado. A juicio de los autores, una de las vías prácticas para utilizar un alto porcentaje de agregado reciclado, es incorporar de 25 a 35% de ceniza volátil para contraponer los efectos de este mayor agregado.

Introducción

El agotamiento de las canteras y la escasez de recursos naturales para agregados han motivado el uso de agregados provenientes de demoliciones de construcción. Diferentes estudios sobre la materia igualmente avalan la importancia de este empleo. Entre sus desventajas se reporta el incremento tanto de la contracción por secado y del creep, así como de la penetración iónica clorhídrica. Para superarlas se incluye ceniza volátil en reemplazo de una porción de cemento. La investigación tiene que ver con los efectos de esta inclusión en la resistencia a la compresión, en la resistencia a la tensión, en el módulo estático de elasticidad, en la contracción por secado, creep y en la resistencia a la penetración clorhídrica. Se hace en el concreto con agregado reciclado.

Materiales

Se usaron: cemento Portland tipo I y ceniza volátil clase F (baja en calcio). Se emplearon tanto agregado natural como reciclado, con 20 y 10 mm de tamaño de partícula, respectivamente. Para una de las series, se incorporó superplastificante empleado para el control del slump en 120 ± 25 mm. Las características físicas y químicas, son como sigue.

Composición química del cemento y de la ceniza volátil clase F, %

Material	Pérdida en ignición	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
Cemento	2.97	19.61	3.32	7.33	63.15	2.54	2.13
Ceniza volátil F	3.90	56.79	5.31	28.21	<3	5.21	0.68

Propiedades físicas del cemento y de la ceniza volátil clase F

Propiedades	Cemento	Ceniza volátil F
Densidad (g/cm ³)	3.16	2.31
Superficie de área específica (cm ² /g)	3,519.5	3,960

Mezclas de concreto y especímenes

Se prepararon dos series de mezclas de concreto para un slump de 120 mm. En la serie I: 180 kg/m³ de agua, 400 kg/m³ de total de material cementoso. En la serie II: 225 kg/m³ de agua, 410 kg/m³ de total de material cementoso. Los datos comunes en ambas series son los siguientes.

Proporciones en las mezclas de concreto en ambas series

Notación	Ceniza volátil, %	Agregado reciclado, %
R0	0	0
R20	0	20
R50	0	50
R100	0	100
R0F25	25	0
R20F25	25	20
R50F25	25	50

R100F25	25	100
R0F35	35	0
R20F35	35	20
R50F35	35	50
R100F35	35	100

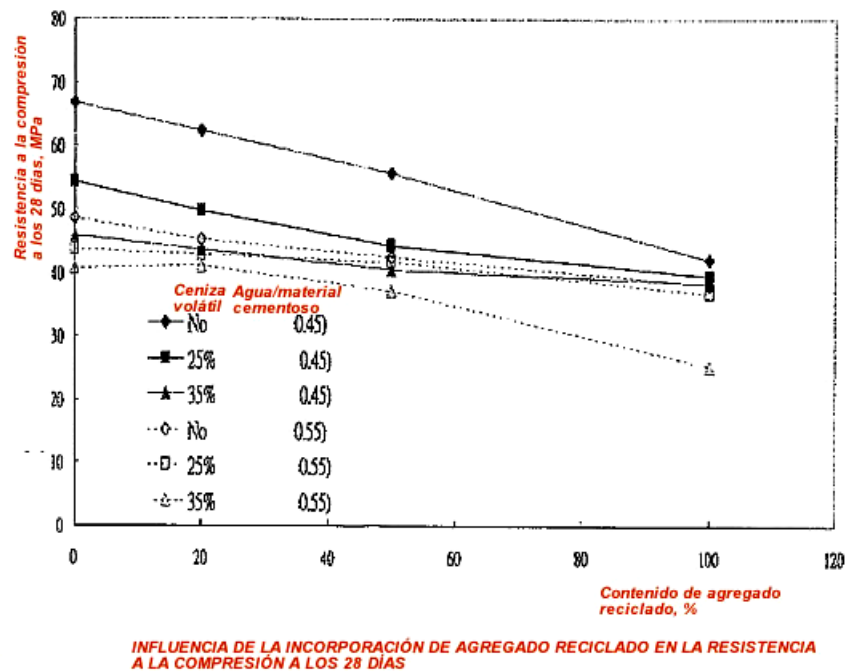
Se prepararon los siguientes especímenes de concreto:

- Cubos de 100 mm, y prismas de 70x70x285 mm para medir la resistencia a la compresión y contracción por secado, respectivamente.
- Cilindros de 100Φx200 mm para evaluar la resistencia a la tensión, el módulo estático de elasticidad, y la resistencia a la penetración.
- Además, en la serie II se prepararon cuatro especímenes cilíndricos de 150Φx200 mm para medir el creep, con relación de agua/material cementoso de 0.55.

Se utilizaron moldes de acero y una mesa vibradora. Tres cubos y tres cilindros se usaron pasado un día para medir la compresión y la tensión. El resto fueron curados en un tanque de agua a $27\pm 1^\circ\text{C}$ hasta el momento de la prueba.

Las pruebas

◆ De resistencia a la compresión y tensión



Las cargas empleadas para la compresión y tensión fueron de 200 y 57 kN/min, respectivamente. Las mediciones fueron efectuadas a las edades de 1, 4, 7, 28, y 90 días.

Los valores promedio resultantes para la resistencia a la compresión se ilustran en la figura precedente, para los 28 días. Se observa que este valor disminuye al incrementarse el contenido de agregado reciclado. La incorporación de ceniza volátil también ocasiona esta reducción. Sin embargo, se indica en el artículo que entre los 28 y 90 días se gana en resistencia con la inclusión de la ceniza volátil.

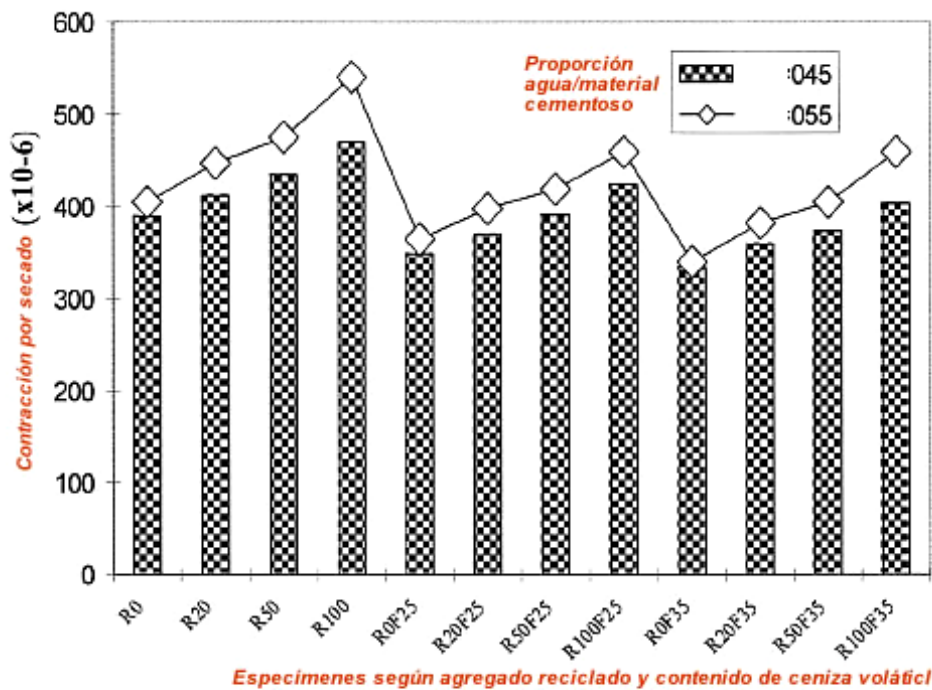
Los resultados respecto a la resistencia a la tensión indican que disminuye en la medida que se incrementa el contenido de agregado reciclado. También el uso de ceniza volátil reduce la resistencia a la tensión. Sin embargo, la variabilidad en estas pruebas demanda de nuevas investigaciones.

◆ **Del módulo estático de elasticidad**

Este tipo de pruebas fue llevado a cabo en especímenes con edades de 28 y 90 días. Para las mezclas de concreto con el mismo contenido de ceniza, el módulo de elasticidad decrece al incrementarse el contenido de agregado reciclado. A los 28 días, el módulo de elasticidad para mezclas del 100% de agregado reciclado y sin ceniza volátil, fue de cerca de 40 y 28% más bajo que con el agregado natural, pero esta reducción desaparece al incrementarse la ceniza.

◆ **Contracción por secado**

Se usó la norma británica modificada BS 1881, Parte 5 1970. Después de remover los prismas de concreto del tanque de curado, se midió la longitud inicial de cada espécimen. De ahí se almacenaron en una cámara controlada de 55°C y humedad relativa del 95% hasta la siguiente medición a 1, 4, 7, 28, 90, y 112 días. Antes de cada medición, cada espécimen se retiró de la cámara controlada y llevado a otra con enfriamiento por 4 h a una temperatura de 25°C y humedad relativa del 75%. La medición se efectuó antes de los 15 min para su vuelta a la cámara controlada. Se midieron hasta la longitud final de 112 días.



MEDICIONES DE CONTRACCIÓN POR SECADO

Los valores promedio a los 112 días se muestran en la figura. Aquí se establece que al disminuir la proporción agua/material cementoso, disminuye la contracción por secado. Esta proporción refleja la cantidad de agua evaporable en la pasta cementosa y las tasas a la cual el agua puede moverse hacia la superficie del espécimen.

◆ Del creep

Las mediciones se efectuaron según la norma ASTM C 512 (2002a) en especímenes a la edad de 28 días. Los cuatro cilindros de tamaño de 300x150 mm fueron cargados en compresión usando un marco de carga para creep de resorte hidráulico. Un esfuerzo constante (como el 35% de la resistencia a la compresión a los 28 días) fue aplicado a cada espécimen por un periodo de 120 días. Tres strain gauges, alineados a la circunferencia del espécimen, se adhirieron a cada espécimen, y fueron conectados a un sistema para captura de datos. Se usaron cuatro especímenes sin carga para la relación de ausencia de creep.

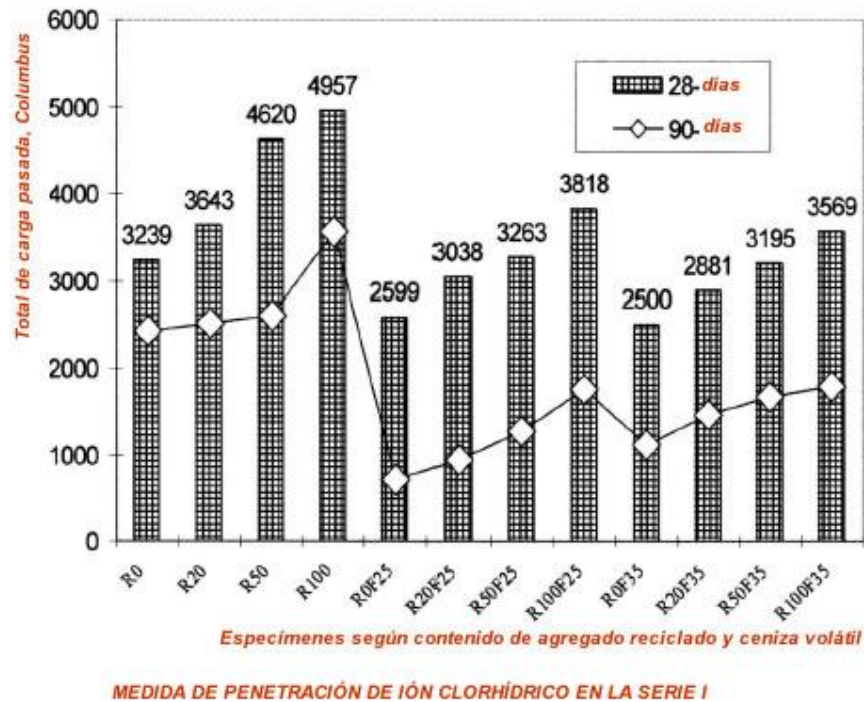


MARCO PARA MEDICIÓN DEL CREEP

Respecto a los resultados, las deformaciones se incrementaron al aumentar la proporción de agregado reciclado. Esto fue atribuido al incremento de volumen del mortero en el concreto con agregado reciclado en comparación con el concreto convencional. Fue encontrado que el uso de ceniza volátil en reemplazo del cemento, reduce el creep tanto en concreto con agregado reciclado y en el concreto convencional.

♦ De la penetración del ión clorhídrico

Esta prueba fue efectuada según la norma ASTM C 1202 1997, usando disco de 50 mm de espesor x100Φ mm cortado del cilindro de 100Φx200 mm. La resistencia del concreto a la penetración del ión clorhídrico está representada por la carga total en Columbus (Coulomb) que pasa en un periodo de 6 h. La prueba fue llevada a cabo en especímenes a las edades de 28 y 90 días.



Los resultados muestran que la resistencia a la penetración del ión clorhídrico decrece en la medida que el agregado reciclado se incrementa. Sin embargo, el uso de ceniza volátil en reemplazo del cemento incrementa esta resistencia. Ello ocurre porque tal uso mejora la distribución, en tamaño y forma, de los poros del concreto. También porque absorbe más iones clorhídricos.

Uso de ceniza de alta fineza

Referencia

Weerachart Tangchirapat, Rak Buranasing, and Chai Jaturapitakkul (University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand). *Use of high Fineness of Fly Ash to Improve Properties of Recycled Aggregate Concrete*. Journal of Materials in Civil Engineering. Posted ahead of print October 24, 2009. ASCE.

En este caso se empleó ceniza volátil de alta fineza (1.2% retenido en la malla N° 325) para mejorar las propiedades del concreto con agregado reciclado. Primero se prepararon mezclas con 100% de agregado grueso reciclado, y después fue reemplazada la arena de río con agregado fino reciclado en proporciones de 0, 50, y 100% respecto al peso total de agregado fino. Los resultados indican que al emplear de 35 a 50% de ceniza volátil (de alta fineza, clase F) respecto al total del contenido cementoso se puede mejorar el slump perdido por el comportamiento de los concretos con agregado reciclado. Mayores proporciones de agregado fino reciclado provocan una disminución de la resistencia a la

compresión del concreto. Sin embargo, usando ceniza volátil de alta fineza se puede incrementar la resistencia a la compresión. La resistencia a la tensión de los concretos con agregado reciclado conteniendo ceniza volátil de alta fineza, fue el 8.2% de su resistencia a la compresión, ligeramente inferior que aquella del concreto convencional. El módulo de elasticidad de concreto con agregado reciclado, con o sin ceniza de alta fineza, fue más bajo que el concreto con agregado normal.