

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

688-8 TRATAMIENTO DEL HORMIGÓN AL AUTOCLAVE

G. L. Kalousek.

(Studies on the Cementitious Phases of Autoclaved Concrete Products Made of Different Raw Materials).

De: "JOURNAL OF THE AMERICAN CONCRETE INSTITUTE", vol. 25, nº 5, enero 1954, pág. 365.

J. K. Selden.

(Lime, Fly Ash, Silica and Cement in Autoclaved Concrete Products)

De: "ROCK PRODUCTS", vol. 57, nº 5, mayo 1954, pág. 142.

J. K. Selden.

(Effect of Steam Pressure and Cycle on Autoclaved Concrete Products).

De: "ROCK PRODUCTS", vol. 57, nº 8, agosto 1954, pág. 216.

J. K. Selden.

(Designing Efficient Autoclave Plants).

De: "ROCK PRODUCTS", vol. 57, nº 11, noviembre 1954, pág. 139.

- S i n o p s i s -

El tratamiento al autoclave ofrece interesantes oportunidades para la preparación de productos de hormigón, a partir de una gran variedad de materias primas. En estos artículos se ofrecen los resultados obtenidos en las investigaciones de la National Lime Association y en las experiencias realizadas en Anchor Concrete Products, Inc., Buffalo, N. Y.

INTRODUCCION

Se necesitó una amplia labor de investigación para determinar qué materias primas determinan, con tratamiento al autoclave, la calidad óptima y el mínimo coste de los productos de hormigón.

Mientras que la combinación cemento-silíce y su comportamiento frente al autoclave es más conocido, existe escasez de datos sobre el comportamiento de la cal y las cenizas volantes en los productos de hormigón sometidos a la acción del autoclave. La National Lime Association proyectó, en vista de la falta de investigación en este sentido, una serie de estudios, cuyos resultados vamos a presentar a continuación.

ESTUDIOS QUÍMICOS Y MECÁNICOS DE LOS PRODUCTOS SOMETIDOS A LA ACCIÓN DEL AUTOCLAVE.

En este aspecto, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

1.- Los bloques de hormigón, de arena y grava, con una composición fijada, mostraron después del tratamiento al autoclave, una relación lineal entre el peso unitario del bloque de hormigón fresco y la resistencia. La relación, para una densidad dada, era independiente de la proporción de cal a cemento en la mezcla. Las mezclas que contenían más cemento presentaron densidades y resistencias superiores.

2.- La contracción por secado de probetas de hormigón, con arena y grava, era independiente de las proporciones de cal a cemento en la mezcla.

3.- Los productos, con cemento-cal y silíce (cuarzo), sometidos a tratamiento en autoclave, estaban constituidos por una serie de hidratos que tenían una composición de 0,9 a 1,3 moles de CaO por mol de SiO_2 (relación C/S), o, si las mezclas presentaban falta de finos silíceos, podían también contener una fase, rica en cal, pobremente cristalizada, que difería estructuralmente de los productos 0,9-1,3 C/S.

I.- Probetas preparadas con arena y cenizas.

1.- Con arena, el polvo de sílice es más efectivo que la ceniza volante, como sustituyente del cemento, en cuanto a aumentar la resistencia.

2.- Con arena y polvo de sílice, la sustitución de la mitad del cemento restante por un peso igual de cal viva (o su equivalente de cal apagada) aumentaba la resistencia.

3.- De todas las probetas, las preparadas con una mezcla de cal viva (30%), cemento (30%) y sílice (40%), y con cuatro veces su peso de arena, presentaban la resistencia más alta a la compresión a los 2 y 28 días, las máximas resistencias a la fle-xión, el color más claro y la mayor economía.

4.- Mientras que la cal, como sustituyente parcial de cemento, actuaba beneficiosamente con mezclas arena-sílice, y posiblemente con mezclas cenizas-cenizas volantes, reducía la re-sistencia de las mezclas arena-cenizas volantes.

5.- Las mezclas de cal-ceniza volante y arena, sin cemento, presentaban resistencias y densidades menores.

6.- Aumentando la sustitución de ceniza volante en lugar de arena, la densidad tendía a disminuir; con altos conte-nidos de ceniza volante, aumentaba la tenacidad.

7.- En las mezclas de ceniza y escorias dilatadas, las cenizas volantes daban tan buenos resultados como la sílice.

8.- Prácticamente, todas las probetas, preparadas con arena y sometidas a la acción del autoclave, presentaban un aumen-to, grande o pequeño, de la resistencia entre los 2 y los 28 días.

II.- Probetas preparadas con escorias dilatadas.

1.- Las probetas, tratadas en autoclave, con una parte de mezcla cal-cenizas volantes y cuatro partes, en peso, de escorias dilatadas, sin cemento Portland, presentaban una resistencia que aumentaba según disminuía la relación cal-ceniza volante desde 1:1 hasta 1:2 y aun 1:3 (la relación 1:3 consiste en una parte de cal, como CaO, a diecinueve partes, en peso, de escoria más ceniza volante).

2.- La cal o el cemento, cuando se mezclan en la misma proporción a pesos combinados de ceniza volante y escoria, con el mismo tratamiento al autoclave, dan las mismas resistencias. Sin embargo, la mezcla con cal requerirá una relación mayor de ceniza volante a escoria.

3.- Los productos de hormigón, de escoria dilatada, sometidos a tratamiento en el autoclave, dieron malos resultados cuando no se sustituyó nada de cemento por finos silícicos.

4.- Mientras que no se realizó ninguna comparación directa con cal, las mezclas 1:3 (cemento: escorias dilatadas) dieron tan buenos resultados cuando se prepararon con ceniza volante como cuando se prepararon con polvo de sílice, como sustituyente de cemento.

5.- Las resistencias a flexión, con carga central, dieron, por término medio, el 28% de las pruebas de compresión realizadas con las mitades partidas de las probetas.

Los resultados experimentales y de producción, obtenidos en Anchor Concrete Products, Inc., han confirmado algunas de las investigaciones realizadas por la National Lime Association. A continuación damos un resumen de dichos resultados:

1.- Las cenizas volantes, con gran área superficial y contenidos en carbón que ascendían por término medio a 4% o menos, dieron excelentes resultados:

- (a) con áridos de escorias dilatadas se obtuvieron las resistencias óptimas cuando se substituyó la mitad del cemento por cenizas volantes. El 50% de los bloques con cenizas volantes dieron resistencias, a la compresión, 60-80% superiores a las obtenidas para piezas análogas con 100% de cemento, con idéntico tratamiento al autoclave. El 50% de las resistencias obtenidas, empleando cenizas volantes, varió desde 1500 psi (105'46 Kg/cm²), cuando el árido era únicamente escoria, hasta 1900 psi (133'58 Kg/cm²), para escoria con arena. Los bloques preparados con escoria dilatada dependen, en cuanto a resistencias después del tratamiento al autoclave, de la substitución de 30-50% del cemento por un material silíceo, más que los preparados con cualquier otro árido. Con bloques con escorias sometidos a la acción del autoclave, las cenizas volantes dan tan buenas resistencias como el polvo de sílice.
- (b) en el caso de utilizar arena y grava, se obtiene un resultado óptimo empleando un porcentaje más bajo de ceniza volante (25-40%). La resistencia a los tres días fué de 2400 psi (168'74 Kg/cm²).
- (c) el aspecto de los bloques, preparados con cenizas volantes, está controlado por el porcentaje de carbón (en la ceniza volante), ceniza volante, cal y agua en la mezcla. Las cenizas volantes con un 8% de carbón oscurecen el color de los bloques preparados con arenas claras, caliza o escorias dilatadas. Con cenizas con bajo contenido en carbón (4% ó menos) se obtiene un color gris azulado bastante agradable.

2.- El polvo de sílice, con más de 99% de sílice pura, tiene dos ventajas patentes sobre las cenizas volantes. Es siempre constante en composición y color. Aclara, en lugar de ennegrecer, todos los productos curados al vapor a alta presión. Las resistencias de los bloques, con arena y grava, son mayores empleando sílice que ceniza volante, pero aproximadamente igual que para escorias. La contracción es, aproximadamente, la misma en ambos casos.

3.- La cal hidratada tiene dos valores distintos en la mezcla: aumenta las propiedades coherentes y da un color más ligero. Así, en los bloques con 50% de cenizas volantes, los que tienen 50% de cemento y los que presentan 40% de cemento y 10% de cal (como CaO) dieron las mismas resistencias, pero la mezcla que contenía cal era algo más clara.

4.- El cemento, en todos los casos, era del tipo I, con o sin aire. Mientras que el cemento de alta resistencia inicial ayuda a que los productos de hormigón aumenten su resistencia en un curado a alta temperatura, se considera que no coopera mucho en el caso de tratamiento al autoclave.

EFEECTO DE LA PRESION DE VAPOR Y DEL TIEMPO

Con vistas a establecer una relación entre la presión de vapor, tiempo que se mantiene el tratamiento a presión total y resistencia resultante, empleando mezclas con cal, cemento y cenizas volantes, se preparó una serie de probetas, con cenizas. Se prepararon series de 12 probetas de 2 x 2 x 10 pulgadas (5'08 x 5'08 x 25'4 cm), amasadas a mano y vibradas; después de 24 horas de curado húmedo, en los moldes, y retirados éstos, se introdujeron en un autoclave, sometiénolas a la acción de vapor de -

agua a presión. Cuatro se retiraron después de 4 horas, cuatro - después de 8 horas y las cuatro restantes después de un total de 20 horas. La interrupción inevitable de los periodos de curado de 8 y 20 horas, por la apertura del autoclave, sería, desde luego, una posible causa de error. Dos días después del moldeo, las pro- betas se rompieron, en primer lugar, por flexión, y, posterior- mente, por compresión.

Se prepararon varios tipos de mezclas. Una de ellas con 5% de cemento, 5% de cal (como cal viva) y 90% de cenizas vo- lantes y cenizas; se utilizaron cuatro proporciones, indicadas en la tabla I.

T A B L A I

Mezcla nº	Cal (%)	Cemento (%)	Cenizas volantes (%)	Cenizas (%)
1	5	5	15	75
2	5	5	20	70
3	5	5	25	65
4	5	5	30	60

Debido a la semejanza de las mezclas 1 y 2, y a no - desearse una cantidad excesiva de finos, se tomaron los valores medios correspondientes a las mezclas 1 y 2, y se consideraron - como correspondientes a una mezcla de 5% de cemento, 5% de cal, 17'5% de ceniza volante y 72'5% de cenizas. Cada valor es, por -

consiguiente, la media de 6-8 rupturas, con una variación del 2% entre las mezclas con 15 y 20% de cenizas volantes. Los resultados son dignos de confianza. La mezcla 3, con 25% de ceniza volante, dió prácticamente las mismas resistencias a 100 psi (7'031 Kg/cm²), y sólo 6% más bajas a 125 psi (8'788 Kg/cm²).

En la mezcla de 10% de cemento, 10% de ceniza volante y 80% de cenizas, sin cal, se estudió el efecto de las presiones de vapor de 50, 100, 125 y 150 psi (3'515, 7'031, 8'788 y 10'546 Kg/cm²); también se estudió el comportamiento de mezclas con 20% de cemento y 80% de cenizas, sin cenizas volantes. Si se han considerado estos resultados -que según Selden son, quizás, algo erróneos- se debe a la escasez de datos sobre las mezclas de cenizas volantes, sometidas a la acción del autoclave.

Menzel estudió las resistencias de cubos de 2 pulgadas (5'08 cm), de pasta pura de cemento, con los porcentajes óptimos de sustitución por sílice, determinando el efecto de la duración de la acción del vapor a las presiones máximas de 48 psi (3'374 Kg/cm²) (300°F = 148'8°C) y 120 psi (8'437 Kg/cm²) (350°C = 176'6°C).

Los resultados obtenidos nos permiten establecer las siguientes observaciones:

1.- En el caso de mezclas de cal-cemento-cenizas volantes-cenizas (5%-5%-17'5%-72'5%) las resistencias aumentaban al crecer la presión de vapor hasta 150 psi (10'546 Kg/cm²), y con los periodos de curado, a la presión total de vapor, hasta 20 horas. A 150 psi, para 20 horas, se había alcanzado, aparentemente, un sobreendurecimiento.

2.- Para estas mismas mezclas cal-cemento-cenizas volantes-cenizas el aumento de los tiempos de curado tiene más im-

portancia que el aumento de la presión del vapor (8 horas a 100 psi -7'031 Kg/cm²- es ligeramente mejor que 4 horas a 150 psi -10'546 Kg/cm²-).

3.- Los resultados obtenidos con las mezclas de cemento-cenizas volantes-cenizas (10%-10%-80%) y con las de cemento-cenizas (20%-80%) indican que:

- (a) se pueden obtener resistencias buenas a presiones de vapor bajas (50 psi -3'515 Kg/cm²-).
- (b) el sobreendurecimiento puede presentarse a 150 psi (10'546 Kg/cm²), dando resistencias mejores que a 50 psi (3'515 - Kg/cm²).

4.- Sin cal, la mezcla cemento-cenizas volantes no presentaba una relación tan estrecha con las condiciones de curado.

5.- Con cenizas volantes las mezclas que contienen cal presentan un mayor endurecimiento que las de cemento.

6.- Según los resultados obtenidos por Menzel, con polvo de sílice, las presiones de vapor bajas son antieconómicas. S. F. S.

- - -