

MATERMIX

CENIZAS PARA LA CONSTRUCCIÓN

WWW.MATERMIXSRL.COM.AR

**INCORPORACIÓN DE
CENIZAS VOLANTES EN EL
HORMIGÓN ELABORADO**

BENEFICIOS Y USOS

**ELABORADO POR
ING. PABLO ALBERTO GIOVANBATTISTA**



“POR LA INCORPORACIÓN DE UN PRODUCTO QUE COLABORE AL MEDIO AMBIENTE Y QUE PERMITA ELABORAR UN HORMIGÓN DE MAYOR CALIDAD, RESISTENCIA, ECONÓMICO Y VERDE.”

▲ ANDRES A. SCARANO
CEO MATERMIX SRL



INCORPORACIÓN DE CENIZAS VOLANTES EN EL HORMIGÓN ELABORADO



BENEFICIOS Y USOS



MATERMIX
CENIZAS PARA LA CONSTRUCCIÓN

BIENVENIDOS



Estimados, en esta ocasión les queremos dar la bienvenida a todas las empresas del rubro hormigonero y compartir con ustedes el conocimiento de los usos y beneficios que se obtienen al elaborar hormigones con cenizas volantes.

Matermix SRL es la primera empresa en Argentina dedicada íntegramente a la comercialización y distribución de Cenizas Volantes, cuya principal misión es poder satisfacer las necesidades de todos nuestros clientes, acercándoles un producto que colabore a la mejora en la elaboración del Hormigón Elaborado, obteniendo así grandes ventajas.

La empresa fue creada con el fin de que todas las empresas del rubro se beneficien con este producto, llegando a todas las regiones del país, permitiendo así reducir costos de producción, colaborar con el medio ambiente y lograr un Hormigón Superior. Matermix SRL además de ofrecer el producto, también facilita a quienes lo deseen la posibilidad de recibir el mismo en su planta, ya que contamos con una flota de Tolvas propias que nos permite abastecer a cada cliente del producto y asegurarles la entrega en tiempo y forma.

En esta oportunidad, les facilitamos este documento en el cual ha colaborado el prestigioso Ing. Pablo Alberto Giovambattista, aportando toda su expertiz en la materia. Esperamos que esta información los anime a incorporar el uso de cenizas volantes en la elaboración del hormigón y que puedan ser testigos de las ventajas y beneficios que las mismas aportan.

Deseamos que este documento les sea de utilidad y que juntos comencemos una nueva etapa donde se piense en la sustentabilidad y el ahorro.

Lic. Andres A. Scarano
Socio Gerente
MATERMIX SRL



ING. PABLO ALBERTO GIOVANBATTISTA
AUTOR Y COLABORADOR

El Ing. Giovanbattista colaborador y autor del documento “ INCORPORACION DE CENIZAS VOLANTES EN EL HORMIGON ELABORADO – Beneficios y Usos” es Ingeniero en Construcciones UNLP. Actualmente actúa como ingeniero en tecnología del hormigón en el estudio del ing. Alberto Giovanbattista en obras de infraestructura tanto en etapas de proyecto, construcción, mantenimiento y/o reparación. Durante 11 años tuvo una activa participación en la industria de los químicos para la construcción siendo responsable técnico y gerente comercial de Master Builders (luego adquirida sucesivamente por Degussa y BASF).

El hormigón es un material muy complejo que depende de muchas variables, desde sus elementos componentes, los sistemas de elaboración, su colocación, curado, etc. que convenientemente seleccionados y utilizados permiten obtener hormigones de calidad aptos para el fin deseado y de un modo especial durables.

El uso de cenizas volantes en ese sentido es una herramienta más, que debidamente utilizada colabora en lograr ese objetivo.

Siempre es gratificante poder colaborar, aunque sea de una forma ínfima en difundir temas de tecnología que aporten conocimiento, que genere discusiones y sobre todo anime a la industria del hormigón a investigar entre otras cosas en materiales alternativos.

 **ÍNDICE**

1.	Introducción	1
1.1	Definición de cenizas volantes	2
1.2	Características físicas, químicas y minera	3
2.	Beneficios del uso de cenizas volantes en el hormigón	4
2.1	Propiedades en el estado fresco	4
2.2	Propiedades en el hormigón endurecido	7
2.3	Propiedades en la durabilidad del hormigón	9
3.	Dosificación de hormigones con cenizas volantes	13
4.	Producción del hormigón	15
5.	Preguntas frecuentes	16
6.	Conclusiones	17
7.	Bibliografía	18

1. INTRODUCCIÓN

Adiciones minerales en el hormigón

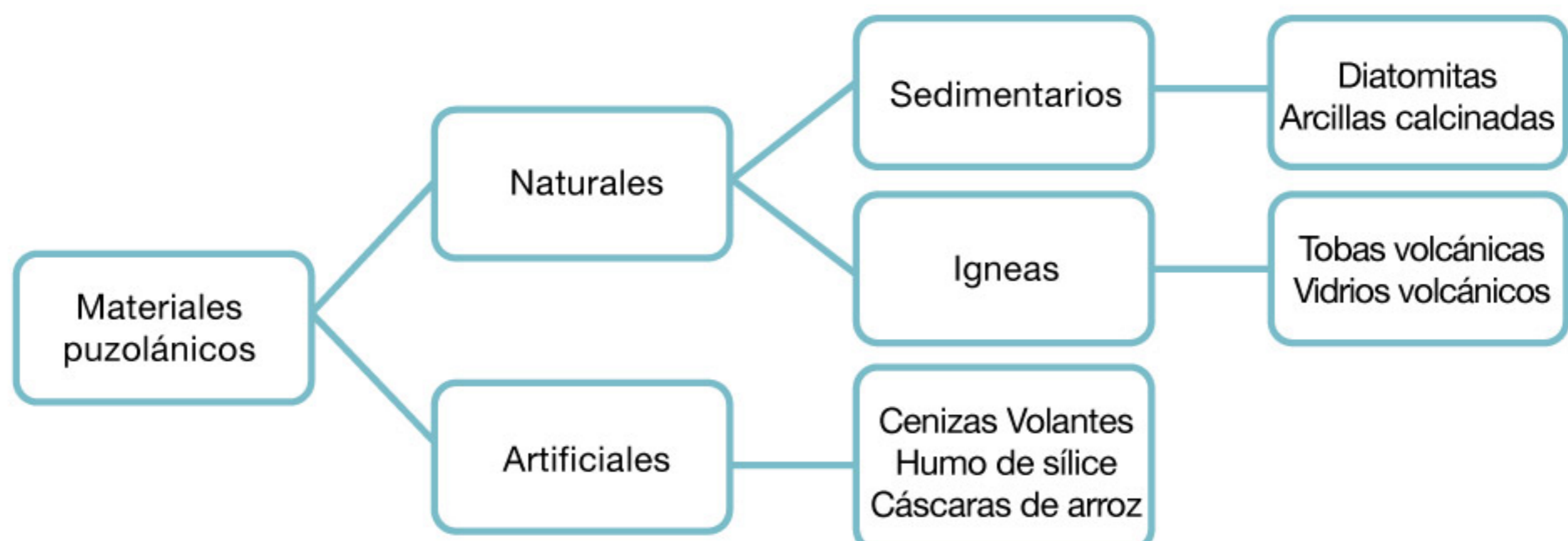
Según el reglamento CIRSOC 201:2005 se definen las adiciones minerales como aquel material que está constituido por partículas inorgánicas de pequeño tamaño, que se agregan para modificar o para lograr ciertas propiedades del hormigón, y que deben ser tenidas en cuenta como constituyentes volumétricos. Hay dos tipos de adiciones minerales: adiciones con propiedades hidráulicas o activas y adiciones casi inertes. Dentro del primer grupo se encuentran las puzolanas.

Las puzolanas son materiales que contienen sílice natural o artificial en una forma reactiva que por sí solas, tienen poco o ningún valor cementíceo. Sin embargo finamente molida y en presencia de humedad reacciona con el hidróxido de calcio dando lugar a una nueva formación de compuestos estables, poco solubles en el agua y que poseen características cementíceas.

Las propiedades técnicas de los materiales con adiciones puzolánicas, se derivan, principalmente, de tres características de la reacción puzolánica.

- a) Es una reacción lenta, al contrario de la reacción de hidratación del cemento que es rápida, por tanto, la velocidad de liberación del calor y el desarrollo de resistencias serán procesos más lentos.
- b) Es una reacción que consume hidróxido de calcio en vez de generarlo, lo que es importante para la durabilidad de las pastas hidratadas en ambientes ácidos.
- c) Al producirse en un tiempo posterior, los productos de reacción rellenan de forma mas eficiente los espacios capilares que quedan después de la hidratación de los componentes del cemento. Así se disminuye la porosidad con la consecuente mejora en la impermeabilidad y la resistencia mecánica.

Los materiales puzolánicos de mayor interés en la industria del cemento y del hormigón pueden dividirse en dos grandes grupos según se describe en la siguiente tabla:



Este manual en adelante describe el uso de las cenizas volantes en referencia a su caracterización, sus propiedades y sus efectos sobre el hormigón.

1.1. Definición de cenizas volantes

La ceniza volante es un subproducto de la combustión del carbón pulverizado en plantas generadoras de electricidad. Bajo la combustión en el horno, la mayor parte de la materia volátil y el carbono del carbón se queman. Durante la combustión, las impurezas minerales del carbón (tales como arcilla, feldespato, cuarzo y esquisto) se funden en suspensión y se transportan hacia afuera de la cámara de los gases de escape. En el proceso, el material fundido se enfría y se solidifica como pequeñas esferas vítreas llamadas cenizas volantes. Luego, se las colecta de los gases de escape a través de precipitadores electrostáticos o de filtros de manga.

Su utilización no es un fenómeno nuevo sino que ya tiene siete décadas de antigüedad. El primer trabajo publicado sobre investigaciones sobre el uso de cenizas volantes en el hormigón data de 1937 (RE Davis) y sentó las bases para su especificación, pruebas y usos.

Las investigaciones realizadas han establecido que las cenizas volantes poseen propiedades puzolánicas similar a la ceniza volcánica y merece su utilización en obras de hormigón.

El uso de las cenizas volantes en la industria de la construcción a nivel mundial se encuentra actualmente ampliamente difundida. Si bien las cenizas volantes tienen aplicaciones diversas, a continuación damos algunos ejemplos de nivel de consumo y utilización en la industria del cemento y el hormigón. La información resumida fue extraída de lo informado en las páginas web de las siguientes asociaciones: The American Coal Ash Association, European Coal Combustion Products Association, Ash Development Association of Australia, Association of Canadian Industries Recycling Coal Ash.

Datos estadísticos de consumo de CV en la industria de la construcción					
País/Región	Año	Cenizas Volantes (Mio ton)		Usos (%)	
		Producción	Consumo	Cemento	Hormigón
Estados Unidos	2012	50	23	10	50
Comunidad Europea	2009	34	15	32	36
Canadá	2009/11	4	1	33	56
Australia	2012	11	5	37	

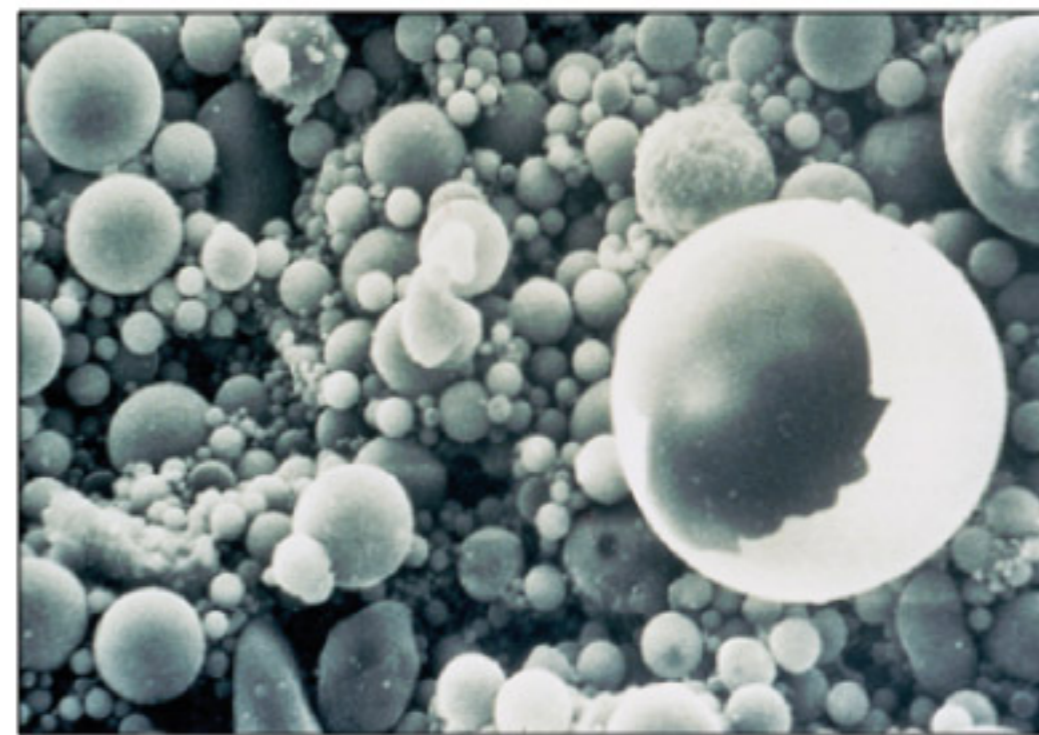
1.2. Características físicas , químicas y mineralógicas de las cenizas volantes

La ceniza volante es un polvo finamente dividido parecido al cemento portland. La mayoría de las partículas de ceniza volante son esferas y cenosferas huecas. También se pueden presentar en la forma de plerosferas, que son esferas que contienen esferas menores.

La ceniza volante básicamente es un vidrio de silicato que contiene sílice, alúmina, hierro y calcio. Los constituyentes menores son magnesio, azufre, sodio, potasio y carbono. Los compuestos cristalinos están presentes en pequeñas cantidades.

Los tamaños de las partículas de la ceniza volante varían de menos de 1 μm hasta más de 100 μm , siendo el tamaño típico de 20 μm . Sólo entre el 10% y el 30% de la masa de las partículas es mayor que 45 μm . La superficie específica varía normalmente entre 300 y 500 m^2/kg . La masa específica relativa varía entre 1.9 a 2.8 y su color es generalmente gris o marrón.

Las figuras siguientes muestran el aspecto pulverulento y su color característico, y una micrografía por microscopio electrónico de barrido (SEM) de partículas de ceniza volante con aumento de 1000X.



Desde el punto de vista normativo, para poder evaluarlas utilizaremos la norma estadounidense ASTM C618 y la norma europea EN-450 parte 1. En el primer caso, la norma además establece los requisitos para las puzolanas naturales.

Comparando ambas normas vemos lo siguiente:

Requisitos químicos

La suma de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ debe ser mayor al 70% y el contenido de SO_3 máximo 3%. En cuanto a la pérdida por calcinación si bien el límite máximo que imponen ambas normas es similar (6% para ASTM y 7% para EN), en el caso de ASTM permite utilizar cenizas con una pérdida de ignición de hasta el 10%, siempre y cuando se realizan pruebas de aptitud previas.

Requisitos físicos

El material retenido máximo en el tamiz de 45 μm es de 34% para ASTM y variable entre 12 y 40% máximo para EN. En cuanto al índice de actividad es coincidente en ambas normas para 28 días en un mínimo de 75%. Adicionalmente la norma europea agrega el requisito del índice de actividad a 90 días, imponiendo un valor mínimo de 85%.

De la comparación de normas vemos que los requisitos en la norma europea son similares a las cenizas clase F de la norma ASTM.

2. BENEFICIOS DEL USO DE CENIZAS VOLANTES EN EL HORMIGÓN

El objetivo de la utilización de las cenizas volantes en el hormigón es lograr uno o más de los siguientes beneficios:

- a) Reducir los costos del hormigón disminuyendo la cantidad de cemento.
- b) Disminuir el calor de hidratación.
- c) Mejorar la trabajabilidad.
- d) Alcanzar niveles de Resistencia a compresión a edades mayores de 90 días.
- e) Mejora la durabilidad de los hormigones.
- f) Contribuye al medio ambiente reduciendo la emisión de CO₂.

Las propiedades de cualquier ceniza volante, afectará en gran medida las propiedades del hormigón en el que se utiliza, por lo que sólo una correcta dosificación puede maximizar los efectos que su inclusión tiene sobre el desempeño del hormigón.

En la práctica, las cenizas volantes se pueden introducir en el hormigón como parte componente de un cemento compuesto o como un componente adicional del hormigón en el momento de su elaboración.

Si bien el uso de cementos compuestos evita complicaciones en el proceso de elaboración del hormigón y garantiza un control más uniforme, al tener las proporciones relativas de las cenizas volantes y cemento predeterminados, limita la posibilidad de actuar sobre los beneficios anteriormente mencionados. La adición de cenizas volantes durante la elaboración del hormigón permite una explotación mayor de sus cualidades tanto en el estado fresco del hormigón (actuando como un agregado fino y en algún grado de reducción de agua) como en el estado endurecido (influyendo la resistencia y la durabilidad).

Del mismo modo, las propiedades del hormigón, tanto en fresco como en endurecido han sido comparadas generalmente con las de un hormigón de referencia. Por lo tanto, las cenizas volantes han sido consideradas más como un reemplazo del cemento que como un material que complemente las funciones de éste. La tendencia actual es considerar a los componentes del hormigón en su conjunto sin comparación a una mezcla simple de hormigón equivalente, atendiendo mas a los requisitos prestacionales que deba cumplir.

2.1. Propiedades en el estado fresco

En el cuadro adjunto se sintetizan el efecto de las cenizas volantes sobre las propiedades en el hormigón en estado fresco, que en los artículos siguientes serán explicados en detalles.

Efectos de las cenizas volantes sobre el hormigón en estado fresco		
 <i>Reduce</i>	 <i>Ningún/poco efecto</i>	 <i>Aumenta</i>
Requerimiento de agua		
Trabajabilidad		
Exudación		
Contenido de aire		
Calor de hidratación		
Tiempo de fraguado		
Bombeabilidad		
Fisuración por contracción plástica		

2.1.1. Requerimiento de agua y trabajabilidad

Las mezclas de hormigón con cenizas volantes en dosis normales requieren en general menos agua que a un hormigón que sólo contenga cemento portland, para un mismo asentamiento. Así como la demanda de agua decrece con la forma y finura de la ceniza, aumenta con el incremento en la pérdida por calcinación de la misma.

La tabla 2.1.1.1 muestra el efecto de la ceniza volante sobre la demanda de agua en una mezcla de hormigón con aire incorporado. Las mezclas tenían un contenido de material cementante de 335 kg/m³, un asentamiento de 125 mm y un contenido de aire de 6 %. La relación agua/material cementante osciló entre 0.40 a 0.48. (Whiting 1989)

% de CV en peso material cementante	Demanda de agua comparada con el control
25	-5
50	-10

Conclusión: Para igual trabajabilidad, un hormigón con cenizas volantes por lo general requiere menos agua que el hormigón que contiene sólo el cemento Portland.

2.1.2. Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado en hormigones con adición de cenizas volantes se puede extender si se reduce el contenido de cemento.

Sin embargo, las características del tiempo de fraguado de un hormigón están influenciados por distintos factores como la temperatura ambiente y del hormigón; tipo, contenido y finura del cemento; contenido de agua; el uso y la dosis de varios tipos de aditivos químicos; la cantidad, composición y finura de las cenizas volantes. Según la consideración que se les de a dichos factores en la mezcla de hormigón, se podrán obtener tiempos de fraguado aceptables.

Conclusión: El tiempo de fraguado en hormigones con cenizas volantes es mayor que para el mismo hormigón sin la adición de cenizas.

2.1.3. Incorporación de aire

El uso de cenizas volantes en hormigones con aire intencionalmente incorporado generalmente requerirá un cambio en la dosificación del aditivo incorporador de aire. Se observa que la dosis de aditivo será mayor frente a la requerida para un hormigón equivalente sin adiciones.

Cuando se usan hormigones con adiciones de ceniza volante con altos valores de pérdida de ignición y contenido de carbón, es recomendable un mayor control del nivel de aire incorporado en el hormigón en el momento de su colocación.

Se ha verificado que aquellos hormigones con cenizas volantes que han requerido mayor dosis de aditivo incorporador de aire, muestran una mayor pérdida de aire en el hormigón en estado fresco frente a hormigones de igual relación agua/material cementante sin cenizas volantes. Por lo tanto siempre que se vaya a utilizar un hormigón con cenizas volantes y aire intencionalmente incorporado, es necesario realizar pruebas de evaluación previas.

Conclusión: En hormigones con aire intencionalmente incorporado, el uso de cenizas en general implicará una mayor dosis de aditivo.

2.1.4. Calor de hidratación

La reacción química de cemento y agua genera calor. La velocidad de hidratación y la generación de calor depende de una serie de parámetros: cantidad, finura, y el tipo de cemento; masa de la estructura; método de colocación; temperatura del hormigón en el momento de la colocación, y temperatura de curado.

Las cenizas volantes tienen un calor de hidratación más bajo que el cemento portland, consecuentemente su empleo reduce el calor liberado en las estructuras de hormigón. Esto las convierte en un material interesante en la utilización de hormigones masivos.

Conclusión: El hormigón con cenizas volantes adicionadas tiene un menor calor de hidratación que el hormigón sin adición.

2.1.5. Exudación

Los hormigones con cenizas volantes, por lo general reducen la exudación con relación al hormigón convencional. Este efecto es especialmente valioso, principalmente en mezclas con agregados deficientes en finos al proporcionar una mayor superficie específica de las partículas sólidas y requerir un menor contenido de agua para una trabajabilidad dada.

Los parámetros de exudación decrecen con finura y reactividad del cemento por lo que tiene importancia la interacción cemento-ceniza

Conclusión: Para sustituciones normales de cenizas reduce la exudación.

2.1.6. Bombeabilidad









Para las mezclas deficientes en los tamaños más pequeños de agregado fino o con bajo contenido de cemento, el agregado de cenizas volantes hará un hormigón más cohesivo y menos propenso a la segregación y a la exudación.

Además, la forma esférica de las partículas de ceniza volante sirve para aumentar la trabajabilidad y facilidad de bombeo por la disminución de la fricción entre las partículas y entre el hormigón y la cañería de la bomba.

Conclusión: El uso de adiciones minerales generalmente ayuda a la bombeabilidad del hormigón

2.2. Propiedades en el hormigón endurecido

En el cuadro adjunto se sintetizan el efecto de las cenizas volantes sobre las propiedades en el hormigón en estado endurecido, que en los artículos siguientes serán explicados en detalles.

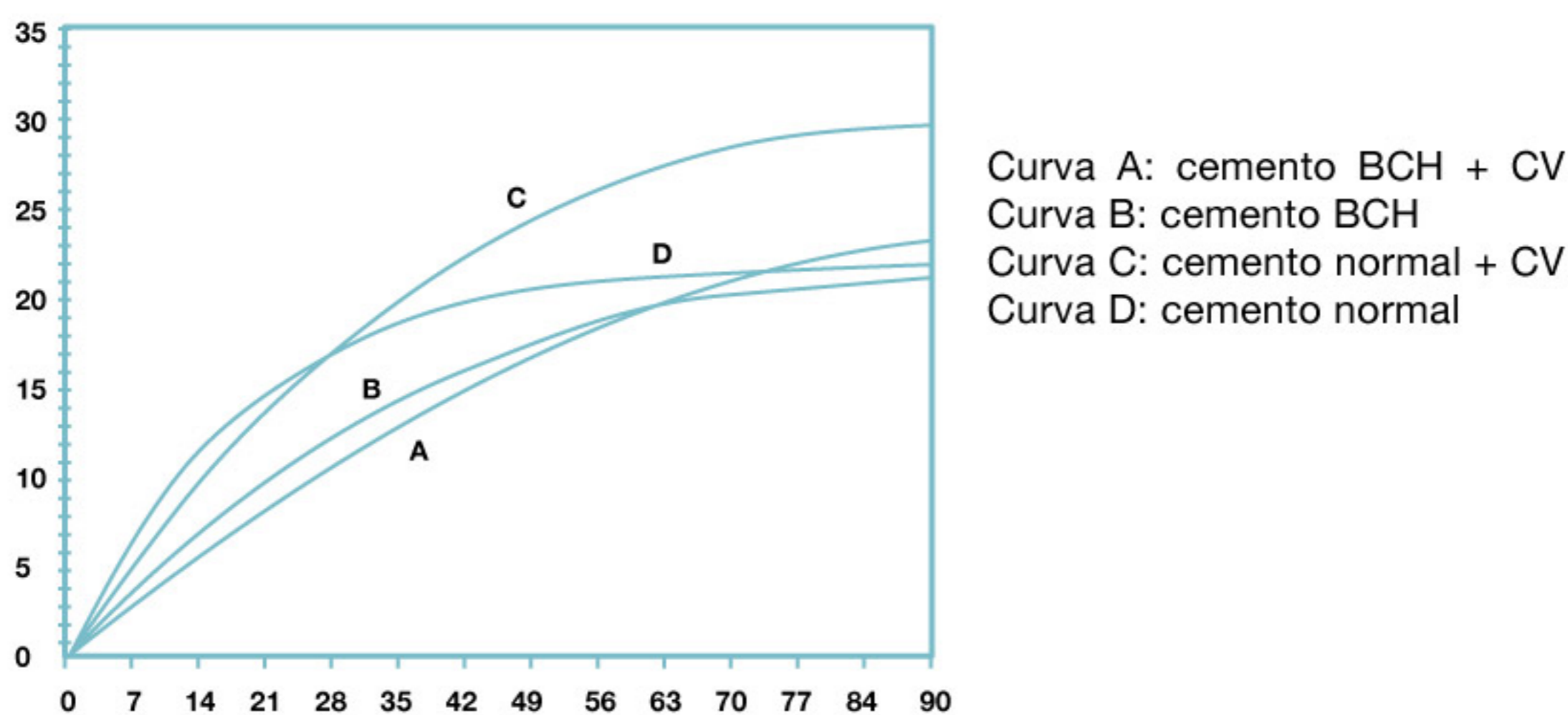
Efectos de las cenizas volantes sobre el hormigón en estado endurecido		
 Reduce	 Ningún/poco efecto	 Aumenta
Desarrollo de la resistencia a corta edad		
Desarrollo de la resistencia a larga edad		
Módulo de la elasticidad		
Resistencia a la abrasión		
Contracción por secado		

2.2.1. Resistencia a la compresión

Los aspectos que determinan la resistencia del hormigón está dada por la cantidad de cemento y la relación agua/cemento. Estas variables son fijadas en función del requerimiento de trabajabilidad en estado fresco y los requisitos de resistencia y durabilidad en estado endurecido.

El grado y la manera en que las cenizas volantes afectan la trabajabilidad son factores importantes en el desarrollo de la resistencia. La resistencia a compresión a una edad dada se ve afectada por las características de la ceniza volante en particular, el cemento con el que se utiliza, las proporciones de cada una utilizadas en el hormigón y las condiciones de temperatura y curado.

La figura muestra la evolución característica de la resistencia de hormigones (expresadas en MPa) con ceniza volante combinada con distintos tipos de cementos (Samarin, Munn, and Ashby 1983).



El desarrollo de la resistencia del hormigón con ceniza volante es similar al hormigón normal si es curado a una temperatura de aproximadamente 23°C. Si se realiza un curado a mayores temperaturas se observa un efecto más beneficioso sobre la resistencia a corta edad en hormigones con cenizas frente al mismo hormigón sin adición. Esto se explicaría por la mayor energía de activación para las reacciones puzolánicas que para las de la hidratación del cemento.

Popovics (1986) verificó que la diferencia de resistencias entre el hormigón sin adición con un hormigón con adición disminuían al disminuir la relación agua/material cementante. Además confirmó que un hormigón con adición de cenizas volantes cumple con la ley de Abram tanto cualitativamente como cuantitativamente.

Conclusión: La resistencia de los hormigones con la adición de cenizas volantes presentan resistencias a la compresión a 7 y 28 días menores que los hormigones sin cenizas. Sin embargo la resistencia a edades mayores se incrementa.

2.2.2. Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad de hormigones con ceniza volante es algo inferior a edades tempranas y un poco más alto a edades más tardías que el hormigón similar la adición de cenizas. Sin embargo el efecto de las cenizas volantes en el módulo de elasticidad no es tan importante como su efecto en la resistencia a la compresión.

2.2.3. Resistencia al impacto y a la abrasión

La resistencia al impacto del hormigón está dada en gran medida por la resistencia a la compresión del mortero y la dureza del agregado grueso. El uso de cenizas volantes afectará a la resistencia al impacto sólo en la medida en que afecte a la resistencia a la compresión del hormigón.

2.2.4. Contracción por secado

Los parámetros que influyen en la contracción por secado del hormigón están dados por el volumen de pasta, el contenido de agua, la cantidad y tipo de cemento, y el tipo de agregado.

Al agregar cenizas volantes, se aumenta el volumen de pasta y entonces puede aumentar ligeramente la contracción por secado si el contenido de agua se mantiene constante. En cambio si hay una reducción en el contenido de agua, la contracción debe ser aproximadamente la misma al del hormigón sin cenizas volantes.

2.2.5. Eflorescencia

La eflorescencia es causada por la lixiviación de CaOH_2 soluble en agua y otras sales a superficies de concreto externos. Los CaOH_2 lixiviados reaccionan con el CO_2 en el aire para formar CaCO_3 que es la fuente de la decoloración blanca en el hormigón.

El empleo de cenizas volantes en el hormigón puede ser eficaz para reducir la eflorescencia en la medida que reduzca la permeabilidad. La reducción de la permeabilidad ayudará a mantener el medio alcalino del hormigón endurecido.

2.3. Propiedades en la durabilidad del hormigón

En el cuadro adjunto se sintetizan el efecto de las cenizas volantes en la durabilidad de los hormigones, que en los artículos siguientes serán explicados en detalles.

Efectos de las cenizas volantes sobre el hormigón en la durabilidad		
↓ Reduce	→ Ningún/poco efecto	↑ Aumenta
Permeabilidad		↓
Carbonatación	→	
Congelación y deshielo	→	
Reacción álcali agregado		↓
Resistencia a los sulfatos		↑

2.3.1. Permeabilidad

El hormigón es permeable al agua en la medida en que tiene poros a través de los cuales se puede mover el agua. La permeabilidad del hormigón se rige por muchos factores tales como la relación agua/cemento, granulometría de los agregados, la consolidación, y la eficiencia de curado.

A través de sus propiedades puzolánicas, las cenizas volantes se combinan químicamente con CaOH_2 y agua para producir CSH, reduciendo así el riesgo de lixiviación CaOH_2 y por lo tanto la formación de vías de comunicación con el medio ambiente.

Conclusión: la reacción a largo plazo de las cenizas volantes refina la estructura de poros del hormigón reduciendo la permeabilidad.

2.3.2. Carbonatación y corrosión

La carbonatación en el hormigón es un proceso por el cual el dióxido de carbono del aire penetra en el mismo reaccionando con el hidróxido de calcio, para formar carbonatos. La carbonatación baja la alcalinidad del hormigón que es necesaria para proteger la armadura de la corrosión.

La carbonatación se verá en consecuencia aumentada en hormigones con relación agua-material cementante alta, bajo contenido de cemento, periodo de curado corto, baja resistencia y pasta altamente permeable o porosa. La carbonatación es una función compleja de la permeabilidad y la cal disponible. Un hormigón con cenizas volantes correctamente diseñado, curado y compactado, la carbonatación no es significativamente diferente de otros tipos de hormigón.

Con curado extendido y la baja temperatura de las propiedades de hidratación de cemento de cenizas volantes, la baja permeabilidad resultante puede más que compensar el contenido de cal reducidos.

La ceniza volante en dosificación normal ha aumentado ligeramente la carbonatación, pero no en gran cantidad en hormigones con periodos de curado húmedo normal, por lo que es necesario para el hormigón cenizas volantes deba tener un período de curado más largo en agua a edades tempranas

Por otra parte, la incorporación de cenizas volantes en hormigones permite reducciones significativas en el coeficiente de difusión de cloruro en el hormigón. A edades tempranas (por ejemplo, 28 días), la diferencia en el coeficiente de difusión de hormigones con ceniza volante y el hormigón normal puede ser pequeña, pero a edades mayores, se puede tener un coeficiente de difusión muchas veces menor que el hormigón sin cenizas volantes.

Conclusión: la carbonatación no es significativamente diferente de otros tipos de hormigones.

2.3.3. Congelación y deshielo

La resistencia a los daños por congelación y deshielo del hormigón elaborado con o sin cenizas volantes depende de una serie de parámetros, incluyendo la adecuación del sistema de aire-vacío, la solidez de los agregados, la edad, la madurez de la pasta de cemento, y la humedad del hormigón.

Es imprescindible que, para el desarrollo de la resistencia al deterioro por ciclos de congelación y deshielo, el hormigón tenga adecuada resistencia y cantidad de aire incluido.

Para que el hormigón con cenizas volantes presente la misma resistencia a los ciclos de congelación y deshielo frente a un hormigón que contenga sólo cemento portland, ambos deben respetar cuatro condiciones:

1. Deben tener la misma resistencia a compresión.
2. Deben tener una cantidad adecuada de aire incluido, con características apropiadas de vacíos de aire.
3. Se deben curar adecuadamente.
4. Se deben secar al aire un mes antes de su exposición a las condiciones de congelación.

Conclusión: la inclusión de cenizas volantes al hormigón siempre y cuando se respete las condiciones arriba descritas no presenta efectos desfavorables.

2.3.4. Reacción álcali agregado

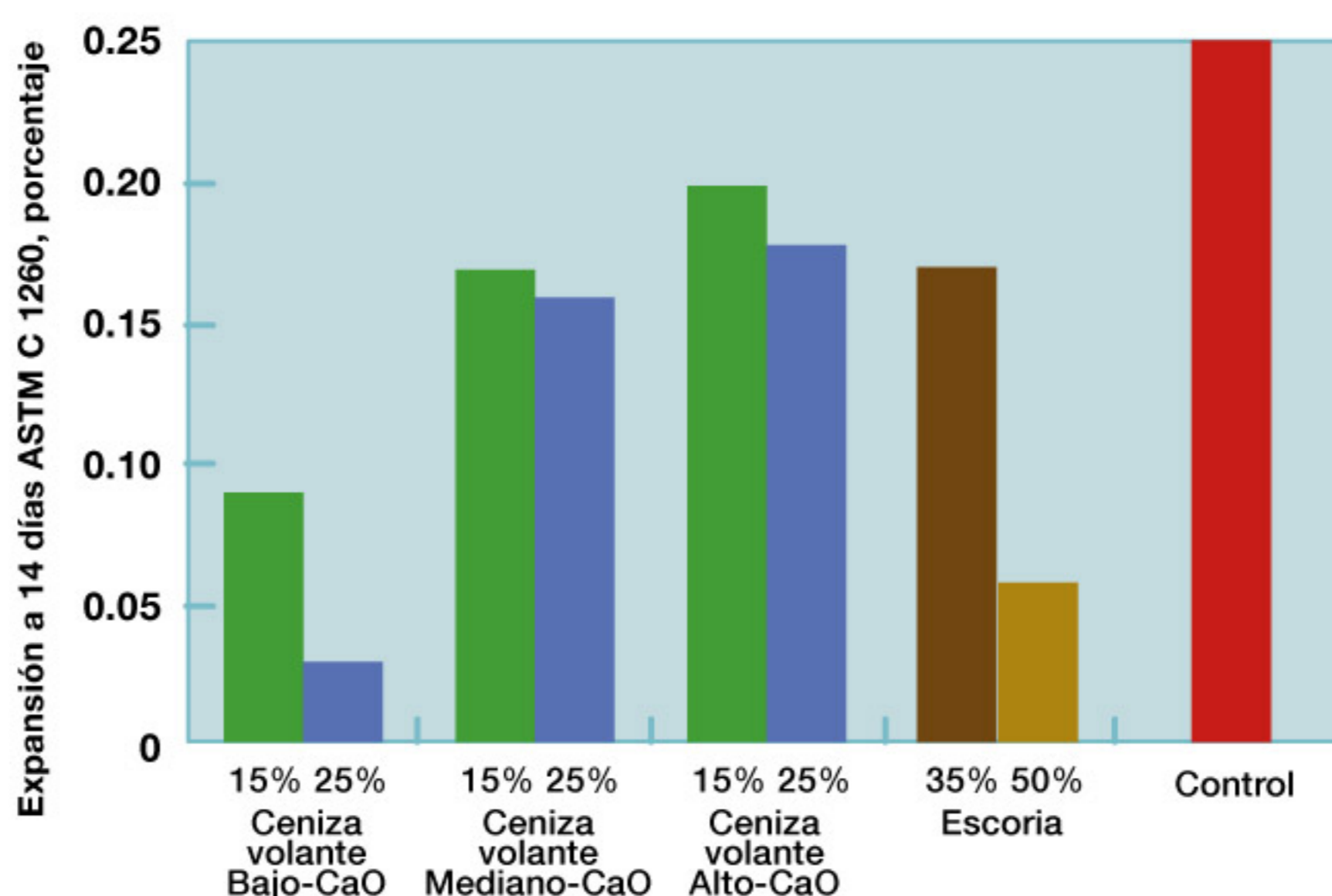
El uso de cantidades adecuadas de cenizas volantes puede reducir la cantidad de reacción total y reducir o eliminar la expansión nociva en el hormigón y trabajabilidad del hormigón.

Esto se debe a la reacción entre el vidrio silíceo en las cenizas y los hidróxidos alcalinos en la pasta de cemento consume álcalis, lo que reduce su disponibilidad para reacciones expansivas con los agregados reactivos. A menudo, la cantidad de cenizas volantes necesaria para prevenir la ARS será mayor que la óptima necesaria para la mejora en las propiedades de resistencia y trabajabilidad del hormigón.

El papel de las cenizas volantes en la reducción de la expansión de la ARS se puede resumir de la siguiente manera:

Datos publicados muestran que las cenizas volantes con contenidos de álcalis menores de aproximadamente 4% son eficaces en la reducción de la expansión causada por reacción álcali-sílice cuando las cenizas volantes se utilizan en un nivel de sustitución del 25-30%.

En la figura extraída del libro Diseño y Control de Mezclas de Concreto, se aprecia el efecto de diferentes cenizas volantes y escorias sobre la RAS (Detwiler 2002). Cabe aclarar que la norma ASTM C1260 utilizada es equivalente a la norma IRAM 1674. Para la evaluación se utilizó un agregado natural altamente reactivo. El reglamento CIRSOC 201:2005 fija como límite 0,1 % de expansión. En caso de tener expansiones comprendidas entre 0,1 y 0,2% el ensayo no es terminante y se debe continuar con la investigación.



Conclusión: el uso de cenizas volantes en hormigones ha demostrado su eficiencia como herramienta para disminuir el efecto de la RAS.

2.3.5. Resistencia a los sulfatos

Como regla general, las cenizas volantes de Clase F mejoran la resistencia a los sulfatos de mezclas de hormigón. Se cree que el aumento de la resistencia al sulfato es debido en parte a la reacción continua de cenizas volantes con hidróxidos de calcio en el hormigón para continuar para formar CSH adicional, que llena los poros capilares de la pasta de cemento, lo que reduce la permeabilidad y la entrada de soluciones de sulfato. La resistencia a los sulfatos de hormigones con ceniza volante se ve influenciada por los mismos factores que afectan al hormigón sin cenizas volantes: las condiciones de curado, la exposición, y a/cm. El efecto de las cenizas volantes en la resistencia a los sulfatos será dependiente de la clase, cantidades, y las características químicas y físicas individuales de las cenizas volantes y el cemento utilizado.

Conclusión: el uso de cenizas beneficia a la resistencia a los sulfatos del hormigón.

3. DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES CON CENIZAS VOLANTES

El método más eficaz para evaluar el rendimiento de una ceniza volante y establecer las proporciones de mezcla adecuadas en el hormigón para una aplicación específica es un programa de ensayos. Debido a que las cenizas tienen diferentes propiedades y los requisitos para los hormigones difieren, las proporciones de cenizas volantes y cemento no pueden ser prescritos para todas las combinaciones de materiales y requisitos.

Desde el punto de vista reglamentario, el reglamento CIRSOC 201:205 contempla su uso en hormigones., tal cual se transcribe a continuación.

“3.5.1.2. Se pueden incorporar **otras adiciones** como cenizas volantes, microsílíce, polvo de piedra, pigmentos, etc. En todos los casos se debe demostrar mediante ensayos de laboratorio que el empleo de la adición beneficia las características deseadas del hormigón. También se debe demostrar que la adición a incorporar no produce reacciones desfavorables, no altera la protección de las armaduras y no afecta la estabilidad volumétrica del hormigón endurecido.”

Además en los comentarios del citado reglamento se indica que:

“C 3.5.1.2. Estudios experimentales han demostrado que algunas adiciones activas incorporadas al cemento o adicionadas por separado al hormigón como un componente más, pueden incrementar la expectativa de vida del hormigón expuesto a acciones agresivas.”

Una ceniza volante se utiliza normalmente **entre el 15 al 35% en masa del material cementante total**. Proporciones más grandes de cenizas se pueden utilizar en hormigón masivo para reducir el calor de hidratación, mejorar la resistencia a los sulfatos, reducir la expansión causada por la ARS o en otras aplicaciones especiales.

Se puede llegar a la dosificación de un hormigón con la adición de cenizas volantes por diferentes vías. Nosotros enunciaremos dos: el método semi experimental y el método de sustitución.

Método semi experimental: Un forma de realizar la dosificación de un hormigón con cenizas volantes es siguiendo el método semi experimental del American Concrete Institute (ACI 211.1). El método establece una serie de pasos para llegar a la dosificación del hormigón, incluyendo la elaboración de pastones de prueba. Es importante aclarar que a la hora de emplear este método se deben cotejar las tablas indicadas en el mismo con los requisitos y pautas establecidos en el Reglamento CIRSOC 201:2005, siendo éstas últimas las válidas.

En el método, la razón a/cm se utiliza para indicar la relación agua-material cementante, en comparación con a/c para la relación agua - cemento.

Se trata de un enfoque coherente, ya que la ceniza volante en un cemento compuesto se contarán como parte del cemento. En los casos en que se especifica o recomienda una razón a/cm máxima o un contenido mínimo de cemento, en general se acepta la práctica de contar a la masa de las cenizas volantes como parte de la cantidad de material de cemento que se requiere.

Método por sustitución: Esto implica la selección de una mezcla convencional, que ha demostrado un nivel de rendimiento adecuado. Deben ejecutarse en una serie de mezclas que contengan cenizas volantes en cantidades variables.

Toda dosificación además de tener que satisfacer los requerimientos para su elaboración, colocación y comportamiento en servicio debe poder materializarse a un costo razonable. Desde el punto de vista económico es evidente el beneficio en sustituir parte del cemento por cenizas volantes.

El análisis de costos en hormigones con cenizas volantes en sustitución del cemento en el orden del 15 al 35% es fácil de realizar ya que como hemos visto a lo largo de este documento para esos niveles de sustitución prácticamente no se modifican las propiedades del hormigón frente a un hormigón convencional. **Por lo tanto el ahorro será directamente la diferencia de costos del volumen de cemento sustituido.**

En otras aplicaciones como por ejemplo en hormigones masivos, resistente a sulfatos o a la RAS, el beneficio es más complejo de evaluar.

4. PRODUCCIÓN DEL HORMIGÓN

En los siguientes apartados se dan algunas recomendaciones en el uso de cenizas volantes a la hora de producir hormigones a escala industrial.

4.1. Manipulación y el almacenamiento a granel

Debido a que las cenizas volantes normalmente tienen menor densidad que el cemento Portland, se debe considerar al hacer su pedido o hacer un inventario. El almacenamiento de cenizas normalmente requiere más de volumen por unidad de masa que el cemento Portland.

En la mayoría de los casos, la humedad no afecta el desempeño físico de las cenizas, sin embargo se los debe mantener secos para evitar dificultades de manejo y descarga.

Los aparatos para manejo y almacenamiento de estos materiales son similares a aquéllos usados para el cemento. Como se parecen al cemento Portland en cuanto al color y a la finura, las instalaciones de almacenamiento deben estar claramente identificadas para evitar la posibilidad del uso indebido y de la contaminación con otros materiales en la planta de mezclado. Todas las válvulas y tuberías se deben marcar claramente y se deben sellar adecuadamente para evitar vaciamiento y contaminación.

4.2. Mezclado en planta hormigonera

Cuando se trabaja con cenizas volantes y cemento en una planta de hormigón, por lo general no es necesaria la instalación de balanzas separadas. Se debe tener cuidado que las tolvas de pesado tengan suficiente tamaño atento a la menor densidad de las cenizas.

En la secuencia del mezclado la ceniza volante siempre se debe pesar después del cemento para evitarse una sobredosis en caso de que las válvulas se obstruyan.

Para el transporte de las cenizas volantes desde el silo al dosificador, se utilizan con más frecuencia métodos como la gravedad, neumáticos o tornillos transportadores.

5. PREGUNTAS FRECUENTES

¿Por qué debería utilizar cenizas en el hormigón elaborado?

Las cenizas volantes permiten reducir los costos del hormigón disminuyendo la cantidad de cemento, mejorar la trabajabilidad del hormigón en estado fresco, obtener resistencias a largo plazo mayores, reducir el calor de hidratación, mejorar la durabilidad del hormigón, entre otras.

¿Cuánto puedo sustituir de cemento por ceniza?

Se puede reemplazar entre un 15 a 35 %. Dependiendo del clima y de los objetivos que se quieran lograr con el hormigón.

¿Cuál es el costo de las cenizas?

La TN de las cenizas volantes cuesta en el orden de un 70% menos que la TN de cemento, logrando así un ahorro significativo para los costos de producción.

¿La incorporación de cenizas en el hormigón cambia el color?

No, en algunos casos lo oscurece un poco, pero la variación es uniforme al tiempo y uso.

¿Cuál es la producción mensual de cenizas disponibles en el mercado?

Aproximadamente se producen entre 10.000 y 12.000 Tn de Cenizas por mes.

¿Dónde se consiguen las cenizas volantes?

Matermix SRL es la empresa encargada en su comercialización y distribución. Las mismas puede ser retiradas en planta en San Nicolas de los Arroyos con Transporte propio (FOB), o bien la empresa Matermix puede entregarles las mismas en la planta (CIF) que Uds. indiquen.

6. CONCLUSIONES

El uso de cenizas volantes en la industria del hormigón tanto como componente del cemento o como adición en el hormigón está ampliamente desarrollado. Siete décadas de investigación, desarrollo y uso efectivo lo demuestran.

Ha sido el interés de esta publicación resumir dichas experiencias con la idea de animar a los distintos participantes de la industria de la construcción a explorar más sobre este tema, a que realicen sus propias experiencias y especifiquen su uso en aquellas situaciones donde las estructuras de hormigón requieran de sus beneficios.

Adicionalmente se han encargado trabajos de evaluación del comportamiento de las cenizas volantes disponibles en Argentina en el LEMIT (Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica) que ponemos a disposición de todo aquel interesado.

7. BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute. ACI 232.2R-03 Use of Fly Ash in Concrete.
- ASTM C618-03 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete.
- EN – 450-1: Fly Ash for Concrete – Part 1: Definition, specifications and conformity criteria.
- Reglamento CIRSOC 201:2005.
- S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. Panarese, y J. Tanesi. “Diseño y Control de Mezclas de Concreto”. Portland Cement Association. 2004.
- “Fly Ash in Concrete, Properties and performance”, Report of Technical Committee 67-FAB Use of Fly Ash in Building RILEM. 1991.
- R. Lewis, L. Sear, P Wainwright y R Ryle. Chapter 3. “Advance concrete technology. Constituent materials”. 2003.
- V. M. Malhotra. Chapter 2 - Mineral Admixtures. Concrete Construction Engineering Hanboock. 2008.
- The American Coal Ash Association. www.aaa-usa.org
- European Coal Combustion Products Association. www.ecoba.org
- Ash Development Association of Australia. www.adaa.asn.au
- Association of Canadian Industries Recycling Coal Ash. www.circainfo.ca

WWW.MATERMIXSRL.COM.AR
INFO@MATERMIXSRL.COM.AR
TELÉFONO: (011) 4331-5829
AV. DE MAYO 580 PISO 2 OF. 1

MATERMIX
CENIZAS PARA LA CONSTRUCCIÓN