

**Jorge Martínez**



**Tecnología de  
Materiales de  
Construcción**

**Consultor**

# **MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS**

JORGE JAVIER MARTÍNEZ CHÁVEZ

Junio 04, 202

## AGENDA

---

- 1.- ANTECEDENTES
- 2.- MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS
- 3.- CENIZA VOLANTE
- 4.- METACAOLÍN (METAFORCE)
- 5.- MICROSÍLICE (MICROSILEX)

**Video:**



## ANTECEDENTES

---

El concreto es el material de construcción más utilizado a nivel mundial, con más de 22.7 billones de metros cúbicos colocados anualmente (World Buisness Council for Sustainable Development 2009).

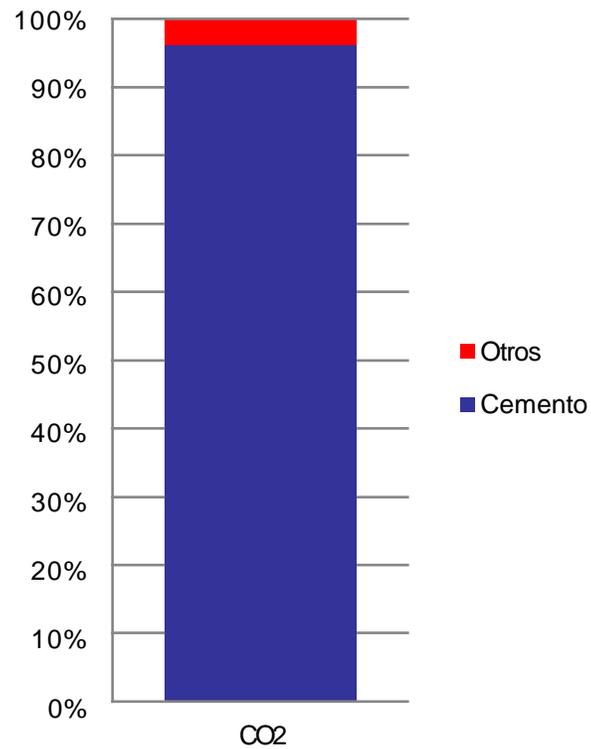
## ANTECEDENTES

---

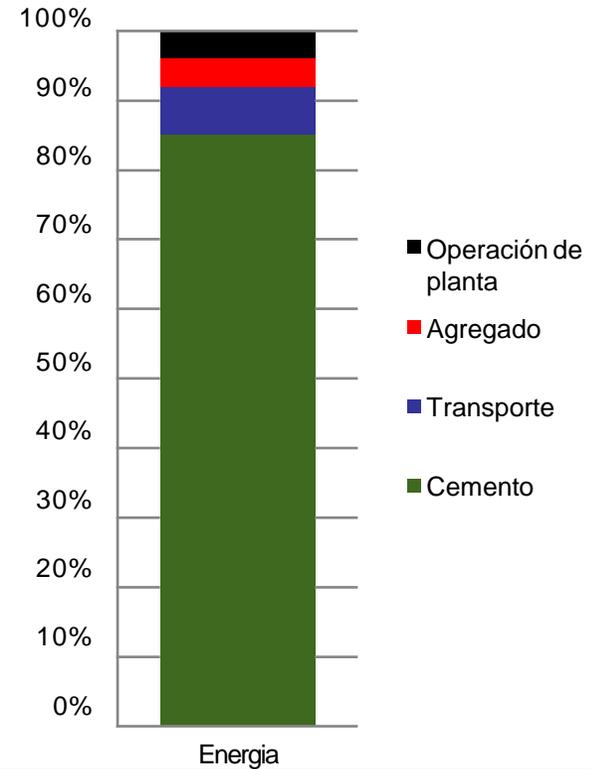
Los atributos positivos que el concreto ofrece (resistencia, durabilidad, versatilidad, economía) vienen acompañados de unos altos costos ambientales, según el World Business Council for Sustainable Development (2009), la industria del cemento contribuye a un poco más del 5 % de la cantidad de CO<sub>2</sub> producido a nivel mundial.

# ANTECEDENTES

### Contribución de CO2 por m<sup>3</sup> de concreto producido



### Energía asociada por m<sup>3</sup> de concreto producido





El uso de materiales cementantes suplementarios ayuda a reducir la huella de carbón en el concreto, por cada tonelada de cemento que se produce, una tonelada de CO2 es liberada en la atmósfera.

Como ejemplo podemos mencionar que en Estados Unidos de las 115 plantas de cemento que operan, 36 usan escoria y más de 50 usan ceniza volante.

## ANTECEDENTES



### Golfo de Persia

- El ejemplo más antiguo es el uso de una mezcla de cal y tierra diatomeas hace 6 mil años.



### Grecia

- Los griegos produjeron aglutinantes con cal y ceniza volcánica de la Isla de Santorini.



### Pozzuoli

- En 150 A.C. los Romanos heredaron la tecnología griega y usaban diferentes tipos de puzolanas, una de ellas era ceniza volcánica de Pozzuoli.



### Panteón de Agripa

- Fue construido con aglutinantes base cal-puzolana por el Emperador Adriano, en el año 120 D.C.



### Tajín

- Entre los años 600 y 1200 D.C. se construyeron pirámides con puzolanas naturales y el residuo líquido de mixtamalización del maíz, llamado Nejayote (Rivera, 1992)

## MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

Materiales **silíceos** o **siliceo-aluminosos**, que por si sólo poseen poco o nulo valor cementante, pero que **finamente molidos** y en presencia de **humedad**, reacciona con **hidróxido de calcio** (cal libre) a temperatura ambiente para formar productos **cementantes hidratados**.

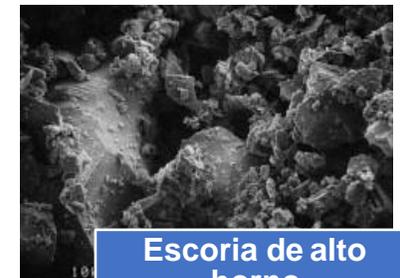


De izquierda a derecha : Ceniza volante (clase C), metacaolín (arcilla calcinada) , humo de sílice, ceniza volante (clase F), escoria, esquisto calcinado.

## MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

Son materiales que cuando son usados en conjunto con el cemento, contribuyen a mejorar las propiedades del concreto por medio de la reacción puzolánica.

Dependiendo de las propiedades de los materiales y de los efectos esperados en el concreto, se pueden utilizar como adición o como sustitución parcial del cemento utilizado,.



# MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

## Materiales Cementantes Suplementarios

### Naturales

Ceniza  
Volcánicas  
y  
**Puzolanas  
naturales**

Tierras  
diatomeas

Ceniza de  
cáscara de  
arroz

### Artificiales

**Ceniza  
Volante**

**Metacaolín**

Humo de  
sílice /  
**Microsílice**

**Escoria  
granulada  
de alto  
horno**

## MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS



### **Puzolana (1910-1912)**

- Su primer uso en construcción moderna fue en el acueducto de Los Ángeles.



### **Escoria de alto Horno (1889)**

- La primera construcción grande con escoria fue en el Metro de París.



### **Ceniza Volante (1948- 1952)**

- Se utilizó en la Presa Hungry House en Montana (EUA).



### **Humo de Sílice (1971)**

- Se utilizó por primera vez en Escandinavia.

## MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

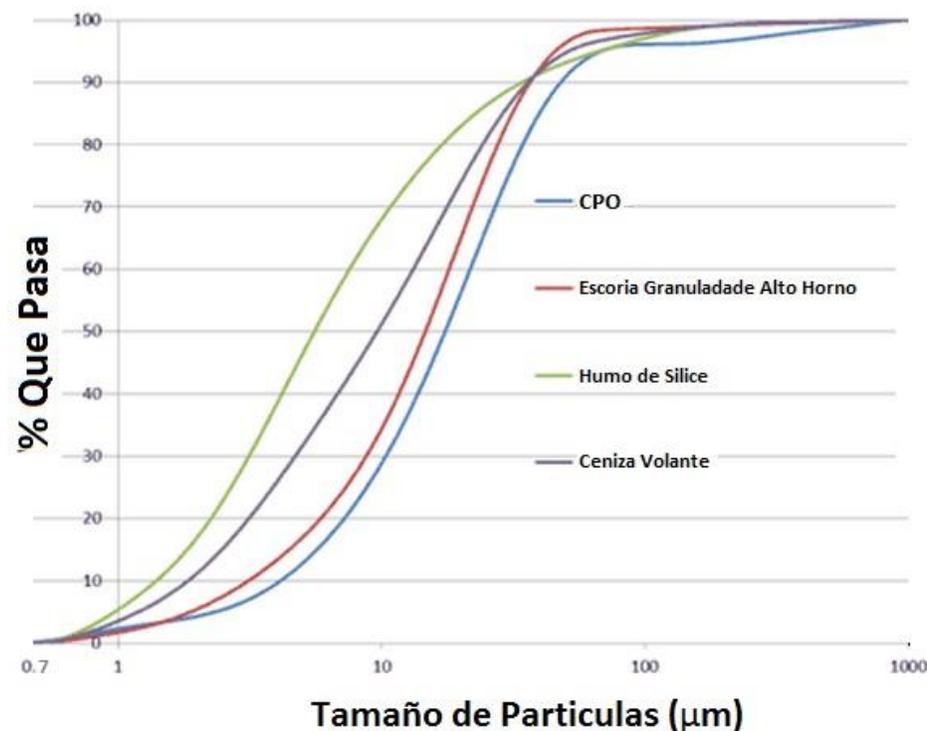
La mayoría de los materiales cementantes suplementarios tienen altos contenidos de sílice y alúmina.

Composición química en % por masa				
	Ceniza volante	Escoria	Puzolana natural	Cemento Portland
Na <sub>2</sub> O	0.60	0.34	3.75	0.22
MgO	0.67	2.07	0.64	1.90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>23.93</b>	<b>11.29</b>	<b>14.87</b>	<b>4.71</b>
SiO <sub>2</sub>	<b>60.71</b>	<b>18.72</b>	<b>65.24</b>	<b>20.20</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	1.00	0.16	0.15
SO <sub>3</sub>	0.02	8.38	0.03	3.52
K <sub>2</sub> O	0.91	0.42	3.69	0.89
CaO	<b>2.57</b>	<b>50.06</b>	<b>3.20</b>	<b>62.01</b>
TiO <sub>2</sub>	0.93	1.73	0.67	0.22
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0.02	0.12	0.08	0.05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.43	2.10	3.50	2.57
LOI	5.92	1.17	3.86	2.54

## MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

### Características:

La mayoría de los materiales tienen un tamaño de partícula menor que las partículas del cemento portland.



## MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

### Puzolanas



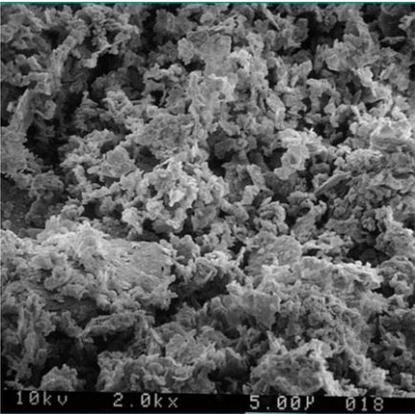
Es un material natural que también se puede calcinar y/o procesar e incluyen:

- Tierras diatomáceas
- Pedernal (sílex opalino) y esquistos
- Toba calcárea y cenizas volcánicas o pumitas (piedras pómez)
- Arcillas calcinadas, incluyendo metacaolinita, pizarra y esquisto calcinado

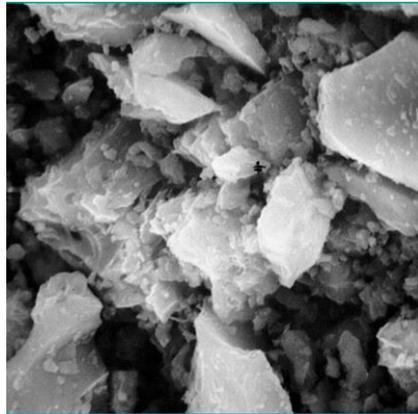
# MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

## Puzolanas

Esquisto calcinado



Arcilla calcinada



Las puzolanas más comunes son derivados de esquisto y arcillas calcinadas o calentadas a suficiente temperatura para transformar la estructura química en aluminosilicatos amorfos con propiedades puzolánicas.

Este proceso se llama activación térmica.

## MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

### Puzolana Natural : **Ceniza Volcánica**

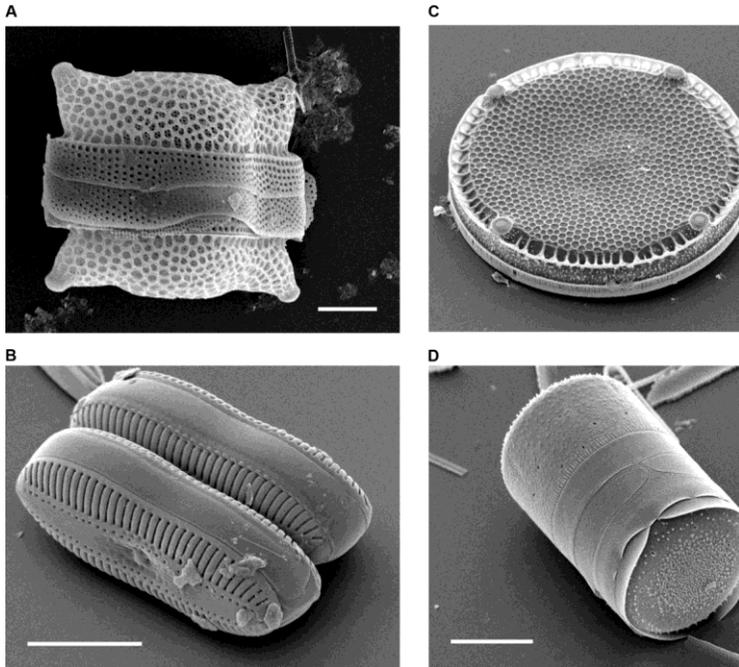


Esta compuesta por partículas con tamaños menores a 2 micras eexpulsadas durante una erupción volcánica por un viento volcánico. La pluma que se ve a menudo sobre un volcán en erupción está compuesta principalmente de cenizas y vapor.

La acumulación de cenizas tiende a cementarse hasta formar capas de una roca llamada toba volcánica

## MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

### Puzolana Natural: **Tierras diatomeas**



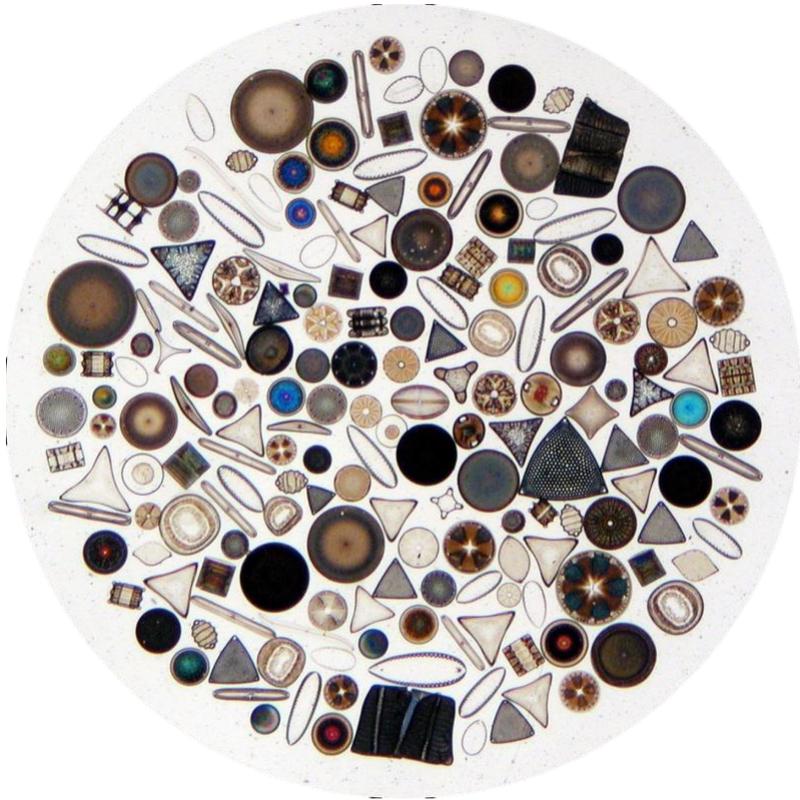
- A. *Biddullfia reticulata* (10  $\mu\text{m}$ )
- B. *Diploneis* (10  $\mu\text{m}$ )
- C. *Eupodiscus radiatus* (20  $\mu\text{m}$ )
- D. *Melosira varians* (10  $\mu\text{m}$ )

Es una roca sedimentaria silíceea formada por micro - fósiles de diatomeas, que son algas marinas unicelulares que secretan un esqueleto silíceo llamado frústula y pueden encontrarse tanto en aguas saladas como dulces.

Existen miles de diferentes diatomitas, todas con una concentración de sílice amorfa de  $\approx 90\%$ .

## MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

### Puzolana Natural: **Tierras diatomeas**



Debido a su alta demanda en diversas aplicaciones industriales, su uso no es frecuente como adición en sistemas base cemento portland, a pesar de que diversos estudios han demostrado que incrementan la resistencia a la compresión y la resistencia a la reacción álcali-sílice.

## MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

### Puzolana Natural: **Ceniza de cascarilla de arroz**



La cascarilla de arroz esta compuesta por aproximadamente 50 % de celulosa, 25 – 30 % de lignina y **15 – 20 % de sílice.**

Mediante un proceso de quemado se puede remover la celulosa y la lignina y el residuo es una ceniza principalmente constituida por sílice.

La ceniza de cascarilla de arroz tiene la siguiente composición; 80-90 % de  $\text{SiO}_2$  y 14 % de impurezas como  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , Ca, Mg, etc.

## MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

### Puzolana artificial: **Metacaolín**



Para obtener una activación térmica adecuada, el rango de temperatura para el tratamiento térmico oscila entre 600 a 750 °C.

El metacaolín es usado en con mucha frecuencia para mejorar la durabilidad del concreto, ya que reduce notablemente su permeabilidad. También es utilizado en cementación de pozos petroleros.

## MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

### Ceniza Volante (Fly Ash)



La ceniza volante es un subproducto de la combustión de carbón pulverizado en las plantas generadoras de electricidad.

Es el material cementante suplementario más utilizado en Estados Unidos.

## MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

### Escoria Granulada de Alto Horno



Se produce por el enfriamiento brusco de la escoria siderúrgica de alto horno.

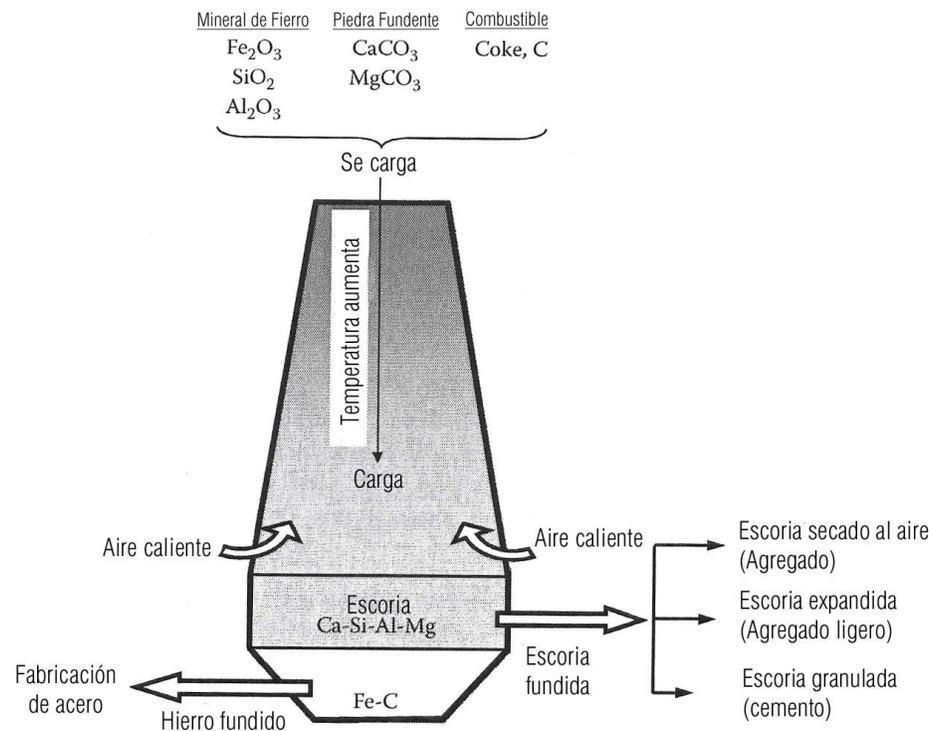
Es un subproducto industrial no metálico compuesto principalmente por silicatos y aluminosilicatos de calcio.

Requiere ser molida para poder aprovechar sus propiedades hidráulicas<sup>21</sup>

# MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

## Escoria Granulada de Alto Horno

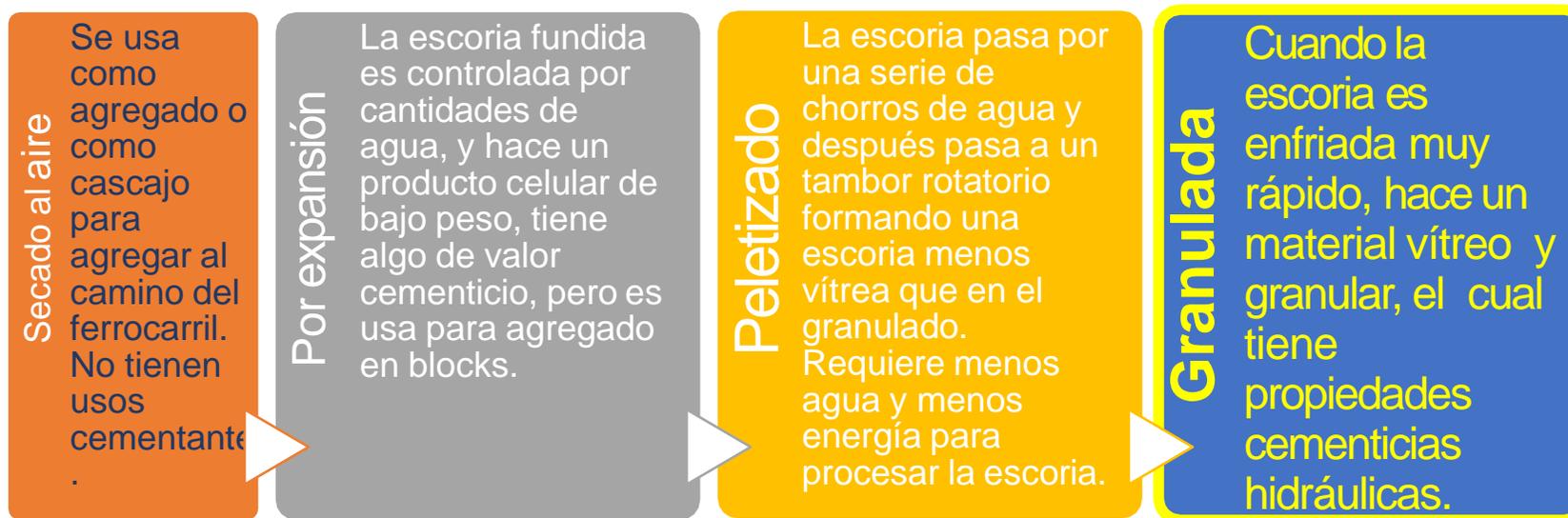
¿Cómo se produce la escoria de alto horno?



# MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

## Escoria Granulada de Alto Horno

Las propiedades físicas de la escoria dependen de como fue el enfriamiento, hay cuatro métodos:

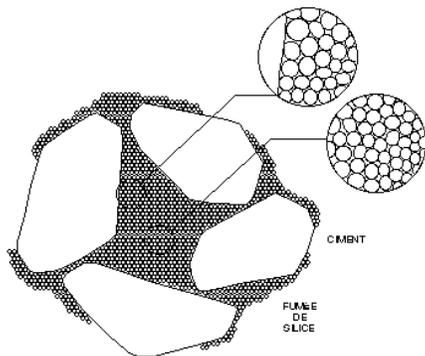
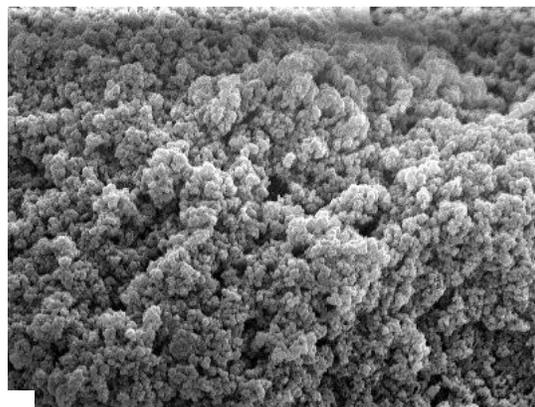
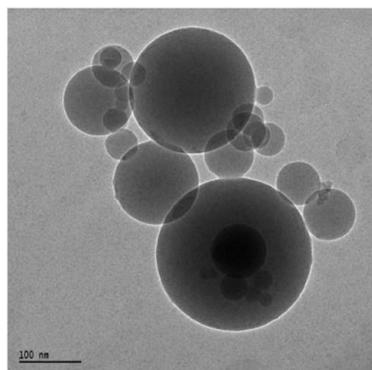


## MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

### Humo de sílice (Sílica Fume)

Es un subproducto que se origina en la reducción de cuarzo, de elevada pureza, con carbón en hornos de arco eléctricos para la producción de silicio y ferrosilicio.

Se utiliza como adición para concretos de alta resistencia y durabilidad.

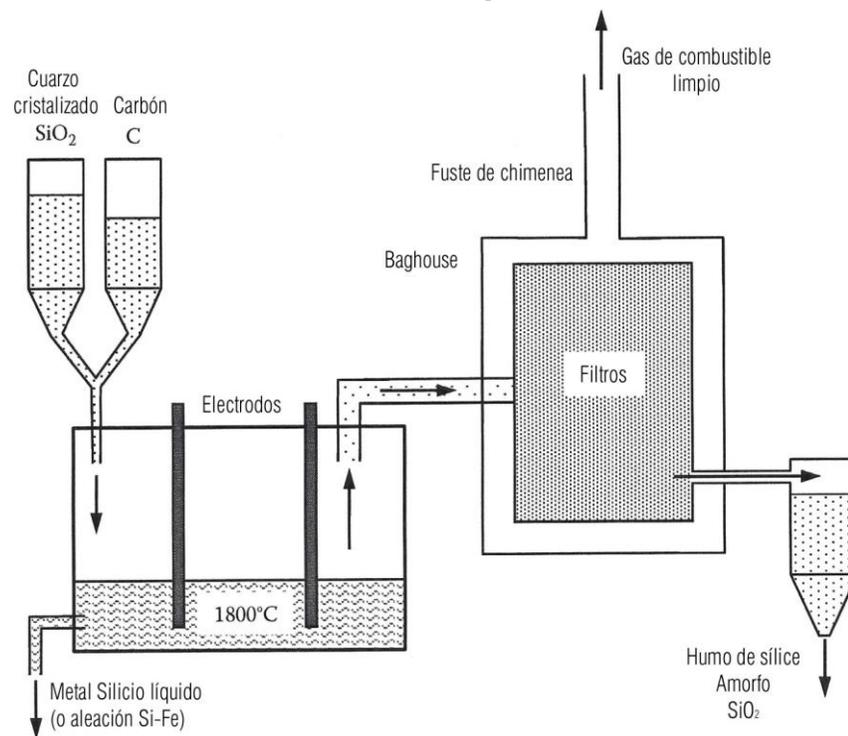


Michael Tomas, "Supplementary Cementing Materials in Concrete, Taylor & Francis 2013, 179 pp, ISBN: 978-1-4665-7298-0

# MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

## Humo de sílice (Sílica Fume)

¿Cómo se produce el humo de sílice?



Michael Tomas, "Supplementary Cementing Materials in Concrete, Taylor & Francis 2013, 179 pp, ISBN: 978-1-4665-7298-0

### Especificación ASTM

- Escoria granulada de Alto Horno **C - 989**
- Ceniza Volante y Puzolana Natural **C - 618**
- Humo de Sílice. **C - 1240**

# Ceniza Volante

## CENIZA VOLANTE

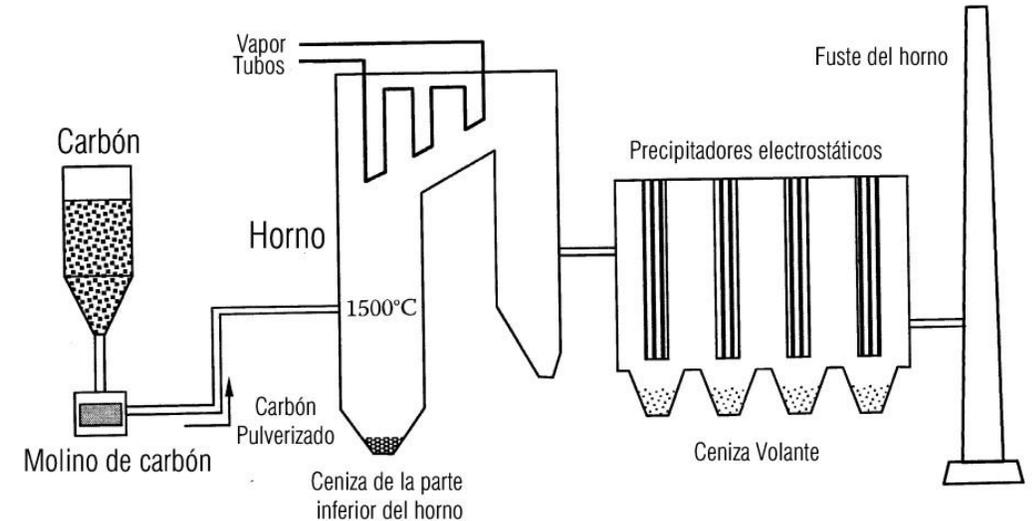
- Los materiales puzolánicos se han utilizado por más de 1000 años a través de cenizas volcánicas que tienen un comportamiento similar a las cenizas volantes.
- El primer gran uso de la ceniza volante en concreto se registró en 1942 por el U.S. Bureau of Reclamation para reparar un túnel en la presa Hoover.
- En 1980, la US EPA (Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos) publica las guías para el uso de la ceniza volante en concreto, fomentando con esto el mayor uso de la ceniza volante en la producción de concreto en los Estados Unidos.



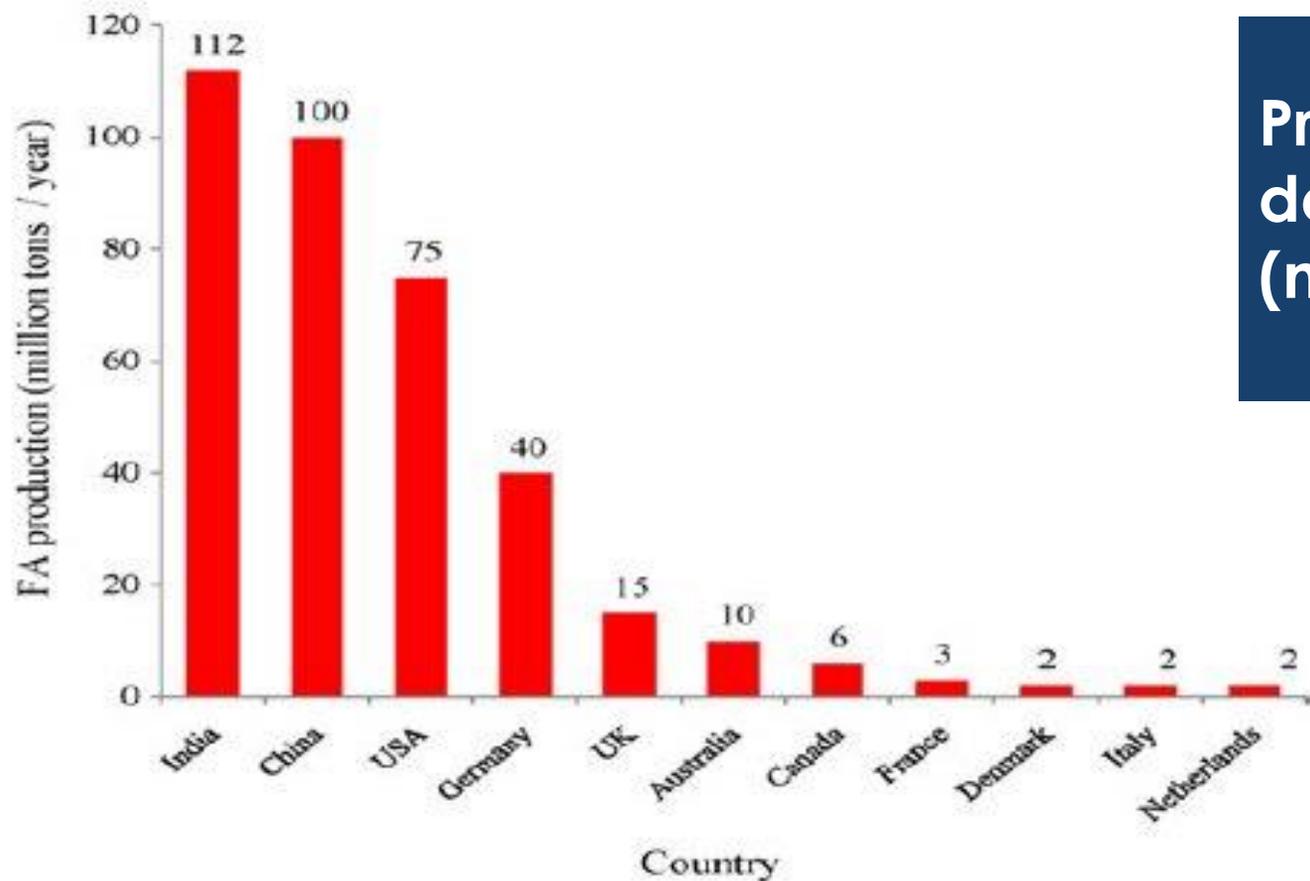
## CENIZA VOLANTE

¿Cómo se obtiene la ceniza volante?

Bajo la combustión en el horno, las impurezas minerales del carbón se funden en suspensión y se transportan hacia afuera de la cámara por los gases de escape. Luego, el material fundido se enfría y se solidifica como pequeñas esferas llamadas cenizas volante. Esta ceniza volante de los gases de escape se colecta mediante precipitadores electrostáticos o filtros de mangas.

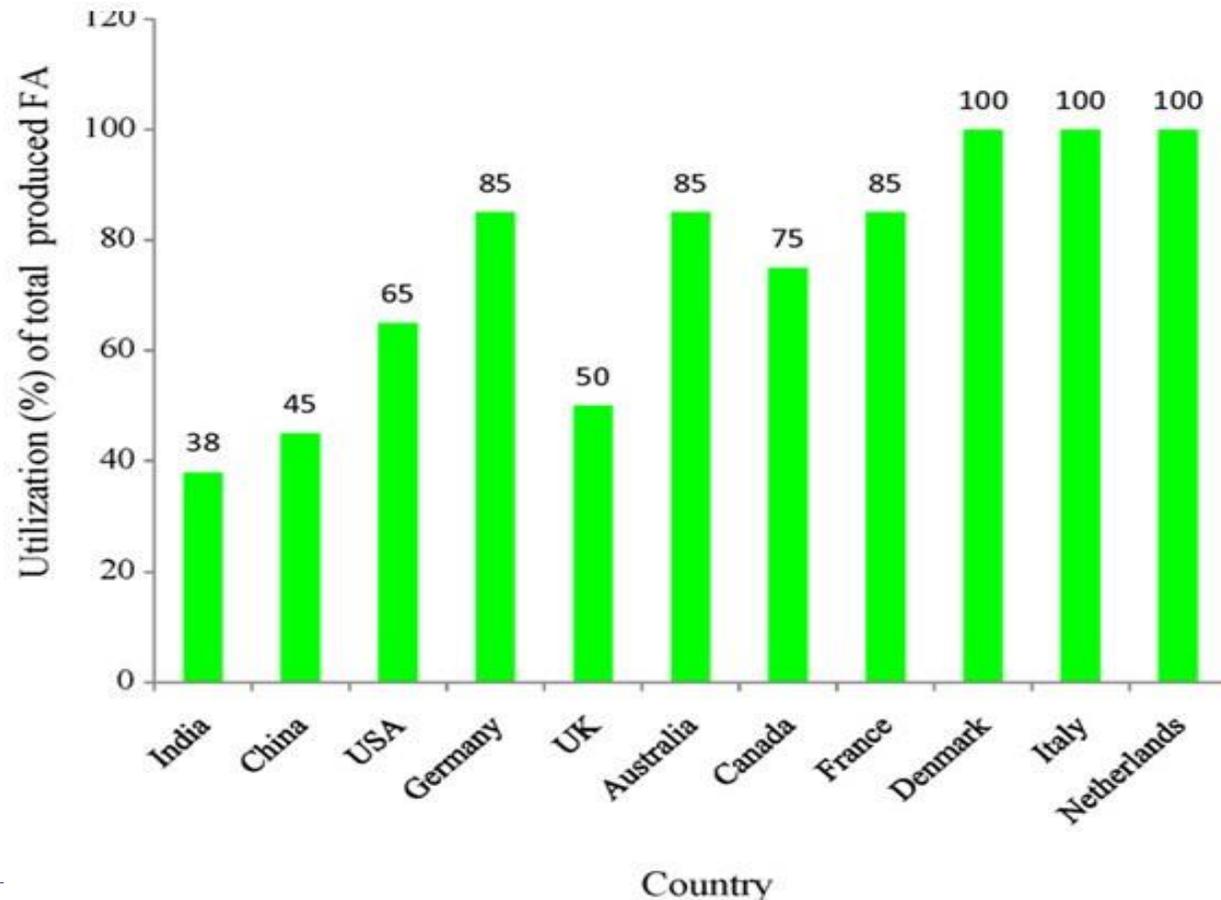


## CENIZA VOLANTE



Producción de ceniza volante de diferentes países (millones de toneladas / año)

## CENIZA VOLANTE

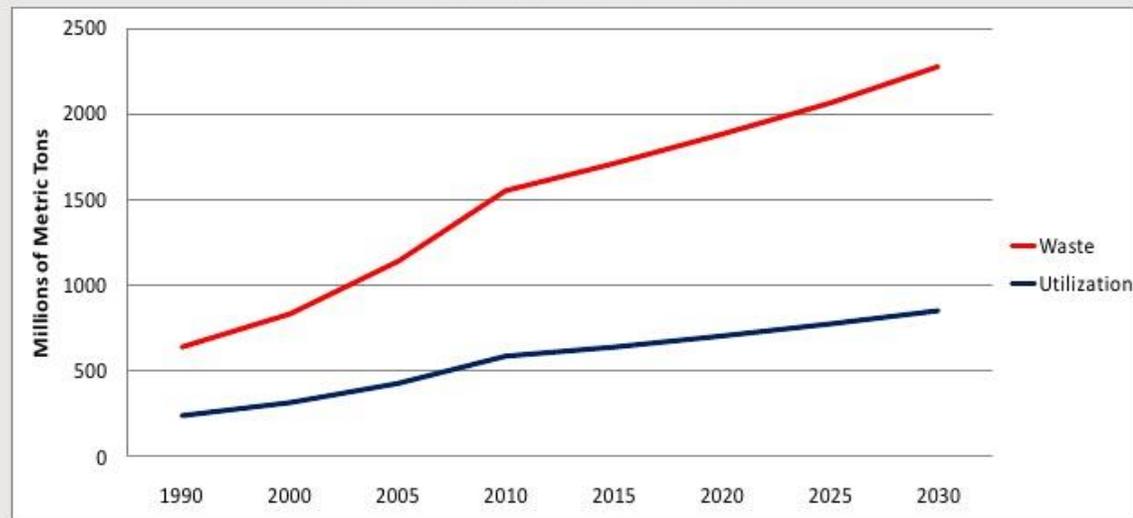


Utilización de ceniza volante de diferentes países  
(% del total producido / año)

# CENIZA VOLANTE

## Fly Ash Production vs Utilisation

Global Estimates: 1990 - 2030



- Fly ash is captured from flue gas.
- Trend towards higher enforcement of particulate emissions.
- Reduces air pollution but increase fly ash volume.

## CENIZA VOLANTE

La ceniza volante es un subproducto de las plantas de generación de energía eléctrica que usan carbón como combustible.

Existen dos tipos de ceniza volante:

### Clase F

- Tiene propiedades puzolánicas
- $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  debe ser igual o mayor a 70%
- Tiene un bajo contenido de carbono (menor a 2%)
- Dosificación de 15-25%
- Este tipo de ceniza es la que se tiene disponible en México

### Clase C

- Tiene propiedades puzolánicas y cementicias.
- Cuando se exponen al agua, se hidratan y se endurecen en menos de 45 minutos.
- $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  debe ser igual o mayor a 50%
- Dosificación 15-40%

# CENIZA VOLANTE

- La ceniza volante es ligeramente más fina que el cemento
- Es similar a la distribución de la matriz del cemento
- Contiene similares compuestos, pero en diferentes proporciones

## Propiedades físicas y químicas

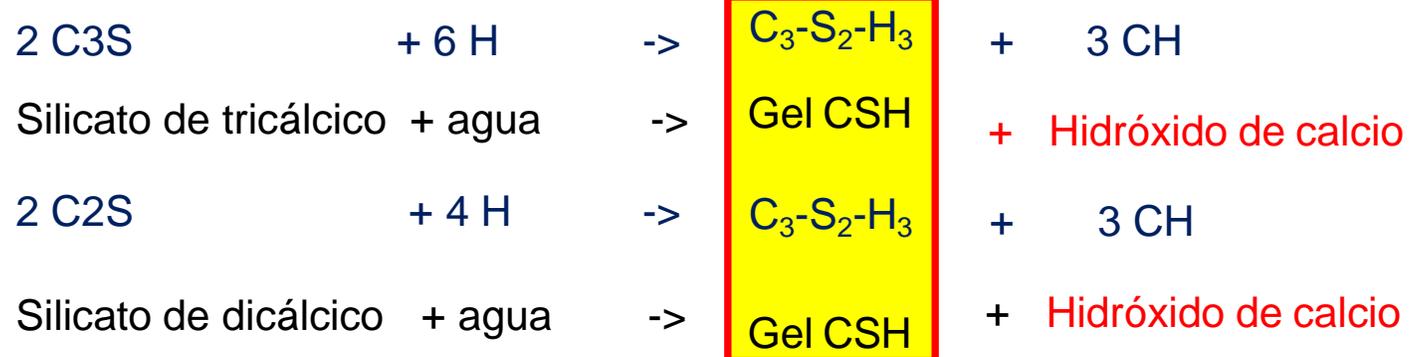
Elementos	Símbolo químico	Cemento %	Ceniza Volante clase F %	ASTM – 618 Requisitos para ceniza volante clase F
Dióxido de Silicio	SiO <sub>2</sub>	18.11	49.98	(SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) Mínimo 70 %
Oxido de Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.07	25.32	
Oxido de Hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.03	5.31	
Oxido de Calcio	CaO	65.88	5.92	-
Oxido de Magnesio	MgO	1.87	1.51	-
Trióxido de Azufre	SO <sub>3</sub>	3.37	0.62	Máx 5 %
Oxido de Sodio	Na <sub>2</sub> O	0.47	0.83	-
Oxido de Potasio	K <sub>2</sub> O	0.19	0.89	-

### DESEMPEÑO

Se ha demostrado que cuando se usa de manera adecuada, la ceniza volante puede mejorar las propiedades del concreto fresco y endurecido, además de los enormes beneficios ambientales asociados al utilizar estos subproductos industriales.

## CENIZA VOLANTE

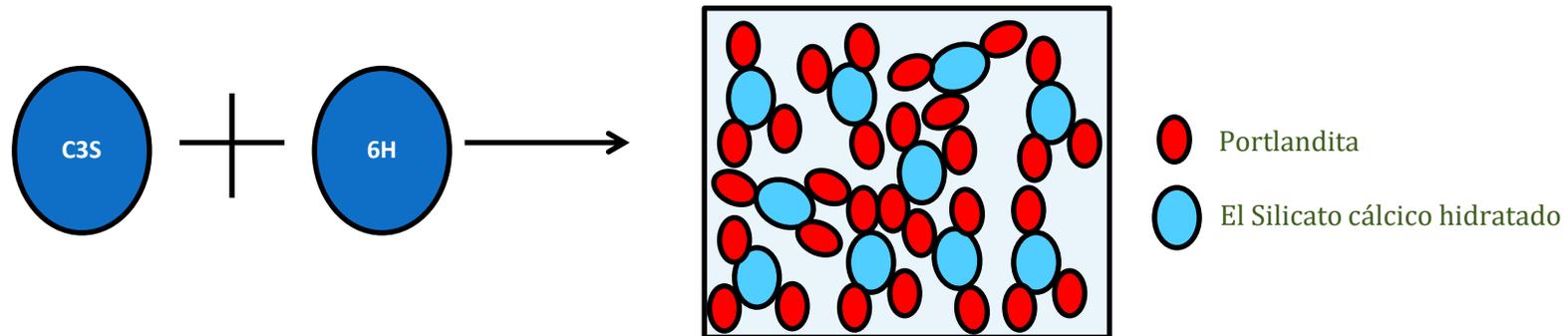
Cuando el C3S (Silicato tricálcico) y el C2S (Silicato dicálcico) reaccionan con el agua producen en la reacción de hidratación los siguientes productos: la Portlandita (CH) y un gel de silicato cálcico hidratado (C-S-H).



- El Silicato cálcico hidratado es un silicato cálcico que ha sufrido una reacción de hidratación (monohidratada) para convertirse en un gel cementoso, es el responsable de las propiedades resistentes del cemento.

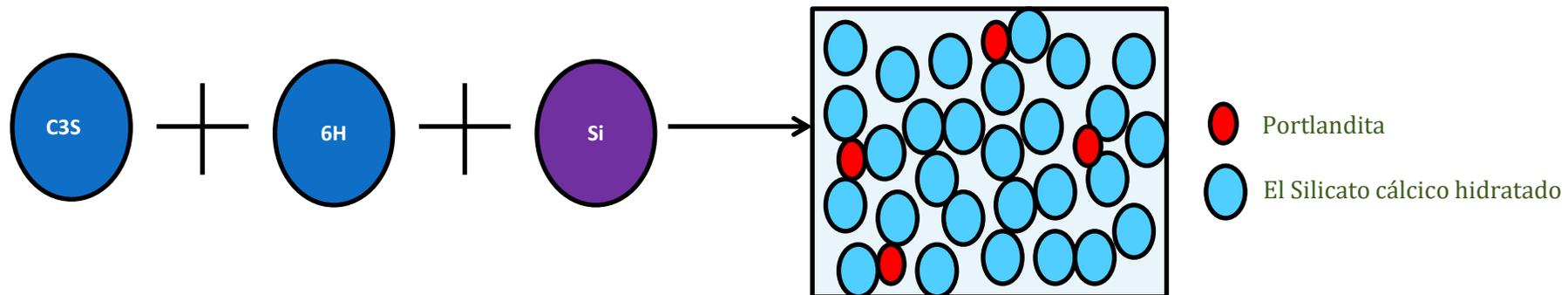
- La portlandita es un mineral de la clase de los minerales óxidos, de baja resistencia y que tiene a dejar porosidad en la matriz de concreto, haciéndolo más permeable.

## REACCIÓN DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO



## CENIZA VOLANTE

Al añadir ceniza volante con altos contenidos de sílice, las moléculas de CH reaccionan con la sílice, creando m-as compuestos de silicato cálcico hidratado, y por ende el concreto adquiere mayor resistencia después del proceso de hidratación inicial.



### DESEMPEÑO

- Incremento en la resistencia a la compresión (a largo plazo)
- Sangrado reducido.
- Reducción de temperatura durante el curado (calor de hidratación).
- Reducción en la permeabilidad.
- Mejor resistencia a la corrosión.
- Mitigación de la reacción álkali-sílice.
- Trabajabilidad mejorada

### **DESARROLLO DE RESISTENCIA: cemento vs ceniza volante**

- La ceniza volante incrementa el tiempo para la hidratación del cemento, lo que significa un más lento desarrollo de resistencias.
- La ceniza volante incrementa notablemente las resistencias finales.
- Las cenizas volantes desarrollan aproximadamente el 80 % de su resistencia a los 90 días.

# CENIZA VOLANTE



EVALUACIÓN DE CENIZA VOLANTE DE LA PLANTA  
TERMOELÉCTRICA UBICADA EN PETACALCO,  
GUERRERO PARAUSO COMO ADITIVO MINERAL  
EN CONCRETO HIDRÁULICO  
DICIEMBRE 2019

Material	Cantidad
Cemento Portland CPC 40 R, kg/m <sup>3</sup>	286
Arena de río, kg/m <sup>3</sup>	760
Grava caliza, kg/m <sup>3</sup>	925
Agua, l/m <sup>3</sup>	232
Característica	
Relación agua/cemento	0,81
Relación grava/arena	55/45

Característica	Resultado	
	Testigo	Prueba (25% de ceniza)
<b>En estado fresco</b>		
Revenimiento, cm	14	10
Masa unitaria, kg/m <sup>3</sup>	2203	2187
Contenido de aire, %	1,8	1,2
<b>En estado endurecido</b>		
Resistencia a compresión simple, kg/cm <sup>2</sup>		
A 28 días	288	247
A 56 días	319	285
A 90 días	330	317
Permeabilidad al ion cloruro, Coulomb	2355 (Moderada)	1475(Baja)
Permeabilidad al agua, mm	0,00	0,00
Contracción por secado (millonésimas)	388	333
<b>Efecto de la ceniza en la resistencia (Resistencia obtenida/kg de cemento)</b>		
A 28 días	1,01	1,15
A 56 días	1,12	1,33
A 90 días	1,15	1,47
<b>Efecto de la ceniza en la resistencia (Resistencia obtenida/kg de cemento+ceniza)</b>		
A 28 días	1,01	0,86
A 56 días	1,12	1,00
A 90 días	1,15	1,11

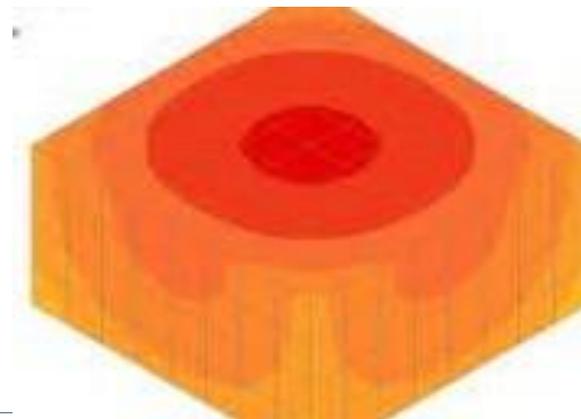
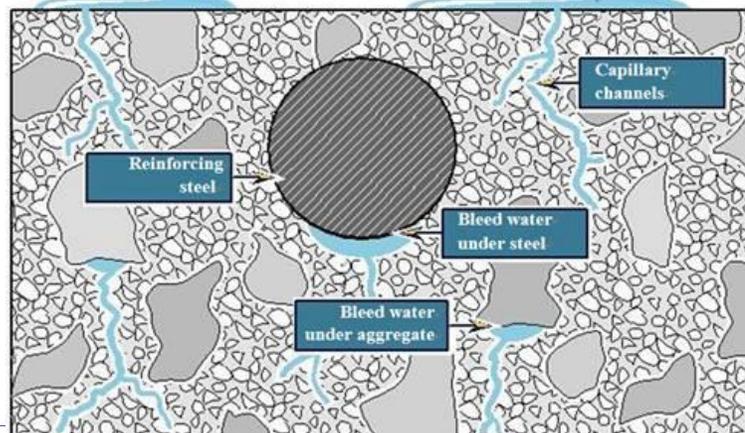
### DESEMPEÑO / REDUCCIÓN DE SANGRADO

El exceso de sangrado en el concreto puede llevar a la formación de canales de capilaridad que pueden incrementar la permeabilidad del concreto.

El uso de ceniza volante en la fabricación de concreto reduce el sangrado.

## DESEMPEÑO / REDUCCIÓN DE TEMPERATURA DURANTE EL CURADO

La ceniza volante puede reducir el calor de hidratación en el concreto debido al impacto en la reacción química de temprana edad y a la reducción de contenido de cemento en la mezcla, que es el principal contribuyente de calor en la reacción. Esto es particularmente útil en obras de concreto con grandes volúmenes, donde el control del calor de hidratación es crucial.



### DESEMPEÑO:

#### Reducción en la permeabilidad y resistencia a la corrosión

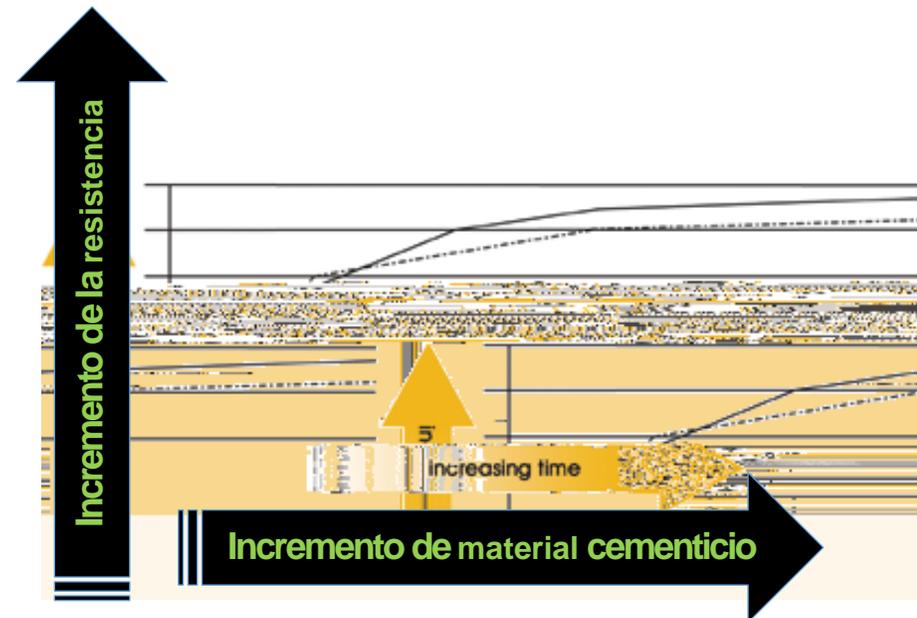
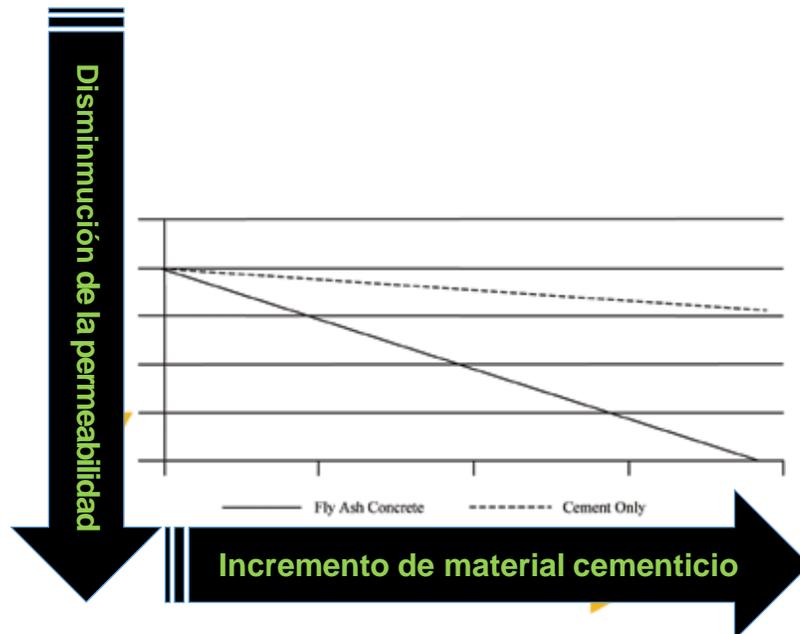
La ceniza volante reduce la permeabilidad del concreto porque reacciona con productos de la hidratación del cemento para reducir los poros capilares y por lo tanto reduce la permeabilidad del sistema de la pasta de concreto.

El tamaño de sus partículas, al ser mas finas que las del cemento, contribuyen a la reducción en la permeabilidad.

La reducción de la permeabilidad gracias a la ceniza volante se traduce en una mejor resistencia a la intrusión de sustancias químicas, como los sulfatos y ácidos que afectan tanto al concreto como al acero de refuerzo de las estructuras y por lo tanto su durabilidad.

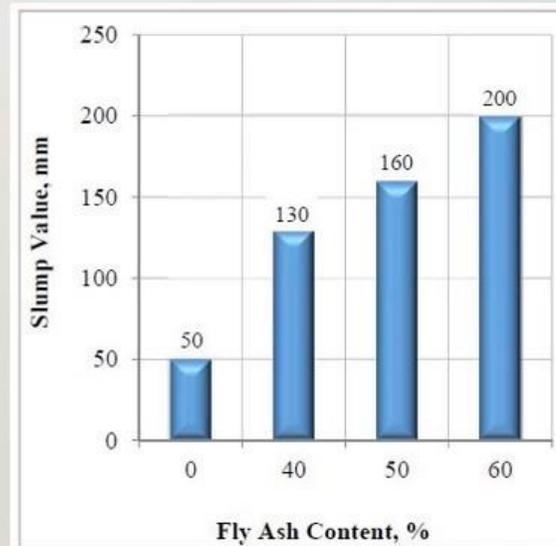
## DESEMPEÑO:

Reducción en la permeabilidad e incremento resistencia a la compresión



## DESEMPEÑO: MEJORA LA TRABAJABILIDAD

- La ceniza volante tiene una forma esférica
- La forma esférica le permite crear un efecto de balines
- Este efecto, incrementa la trabajabilidad del concreto



Effect of Fly ash on concrete workability (Balakrishnan &

### BENEFICIOS AMBIENTALES

(Por cada tonelada de ceniza volante que se reutiliza en concreto)

- 1.Reduce emisiones de CO2 al ambiente ( equivale a 2 meses de emisiones de un automóvil )
2. Ahorra energía eléctrica ( equivalente al consumo de un hogar promedio 24 días)
3. Reduce la sobre explotación de recursos naturales
- 4.Cumple con los lineamientos LEED en la categoría de materiales reciclados (LEED MR 4.1)
- 5.Reduce la contaminación atmosférica en los lugares que actualmente se destinan para su disposición final

### VENTAJAS:

- Incrementa notablemente las resistencia finales
- Mejora la trabajabilidad
- Menor demanda de agua
- Densifica la matriz cementante
- Disminuye el calor de hidratación
- Aumenta la resistencia a la penetración del ion cloro
- Mejora la resistencia a la reacción álcali-agregado
- Dependiendo del lugar de uso, es una alternativa de material cementante más económico que el cemento

### DESVENTAJAS:

- Menor resistencia inicial
- Eliminación del sangrado
- Incrementa el uso de aditivo inclusor de aire
- Para el productor de concreto premezclado, requiere de la instalación de un silo adicional para el uso de la ceniza volante de manera sistemática

### RECOMENDACIONES DE USO:

#### Quando usar ceniza volante

- Proyectos de concreto masivo
- Concreto en clima cálido
- Cuando las resistencias a largo plazo son importantes
- Cuando se requiere mejorar notablemente la durabilidad del concreto
- Cuando se pueden aprovechar los beneficios ecológicos
- Como una alternativa de un material cementante más económico

### RECOMENDACIONES DE USO:

#### Cuando no usar ceniza volante

- Concreto en clima frío
- Cuando las resistencias a corto plazo son importantes

METACAOLÍN

◀ **METAFORCE** ▶

# METACAOLÍN

Metaforce®



Metaforce®, es una puzolana artificial altamente reactiva que es el producto de la calcinación de una arcilla a una temperatura de alrededor de 750 a 800 °C y su posterior rápido enfriamiento.

Es utilizado en adición o sustitución de cemento portland en mezclas de mortero o concreto masivo o estructural, contribuye a:

- Mejorar la resistencia a la compresión desde los 7 días, y el módulo elástico desde los 28 días.
- Reducir la permeabilidad.
- Mejorar la resistencia a los sulfatos.
- Mitigar la eflorescencia.
- Mitigar la reacción álcali-agregado.

## Información técnica

Propiedad	Metaforce®
Color	Café claro
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.6 - 2.7
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) SO <sub>3</sub> (%)	>85.0
Álcalis como Na <sub>2</sub> O (%)	< 1.2
Pérdida por ignición (%)	<0.40
Demanda de agua (% del control)	<3.0
Índice de actividad puzolánica a 28 días , 20% sustitución (%del control)	103 – 108
Mitigación de la reacción álcali-agregado (20% sustitución, 16 días, %)	115 – 125
Categoría en la prueba de penetración de ion cloruro (6 meses)	>90
Categoría en la prueba de penetración de ion cloruro (12 meses)	Baja penetración (10%-15% en sustitución)
	Muy baja penetración (10%-15% en sustitución)

# METACAOLÍN



**Con muy altos  
contenidos de sales y  
pH ácidos**

**Metaforce®**



**METAFORCE**

## MICROSÍLICE

---

*micro*  *ilex*

# MICROSÍLICE

*Microsilix®*



- *Microsilix®* es una puzolana artificial con un alto contenido de sílice, utilizada para mejorar el desempeño mecánico y la durabilidad de mezclas de mortero y concreto de cemento Pórtland.
- Gracias a su color claro, *Microsilix®* no oscurece el color del concreto y es compatible con pigmentos.
- *Microsilix®* puede usarse en adición o sustitución de cemento en mezclas de mortero y concreto.

# MICROSÍLICE

*Microsilix®*



- *Microsilix®* mejora la resistencia a la compresión a 28 días, mejora la trabajabilidad de las mezclas, reduce la permeabilidad, mejora la resistencia al ataque de sulfatos, mitiga la reacción álcali-agregado e incrementa la resistencia a la abrasión del concreto.
- *Microsilix®* es también utilizado en la perforación de pozos petroleros.

# MICROSÍLICE

Microsillex®

## Información técnica ASTM C618

Compuesto	Especificación ASTM C618	Microsillex®
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70% mínimo	> 85%
$\text{SO}_3$	4.0% máximo	< 0.5%
Humedad	3.0% máximo	< 2.0%
Pérdidas por ignición	5% máximo	< 2.0%
Álcalis como $\text{Na}_2\text{O}$	1.5% máximo	< 0.5%

# MICROSÍLICE

Microsilix®



## Información técnica

Propiedad	Especificación/ Norma	Microsilix®
Finura malla 325 (%pasando)	76% mínimo ASTMC430	>95%
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	2.3g/cm <sup>3</sup>
Resistencia al ataque de sulfatos (20% sustitución, 6 meses)	0.05% máximo ASTMC1012	<0.03%
Reacción álcali-agregado (15% sustitución, 56 días)	0.06% máximo ASTMC227	<0.03%
Reacción álcali-agregado (15% sustitución, 14 días)	0.10% máximo ASTM C1260	<0.06%
Demanda de agua vs control	115% máximo ASTMC311	103% - 108%
Índice de actividad puzolánica (20% sustitución, 7 días)	75% mínimo ASTMC311	>105%
Índice de actividad puzolánica (20%, 28 días)	75% mínimo ASTMC311	>110%

# METACAOLÍN Y MICROSÍLICE

Metaforce®

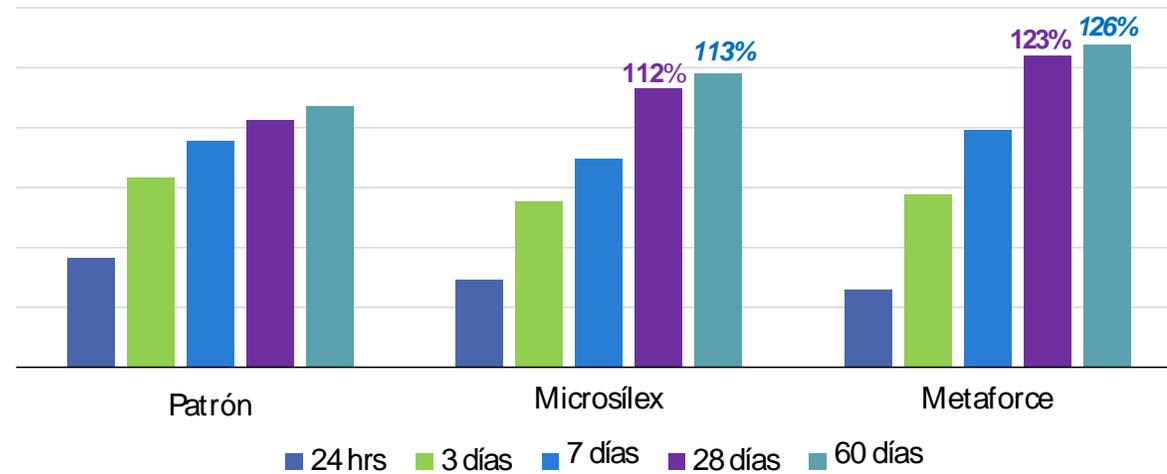
y

Microsillex®



Índice de actividad puzolánica(mortero)

ASTM C311



Muy baja demanda de agua para ambos materiales.

# METACAOLÍN Y MICROSÍLICE

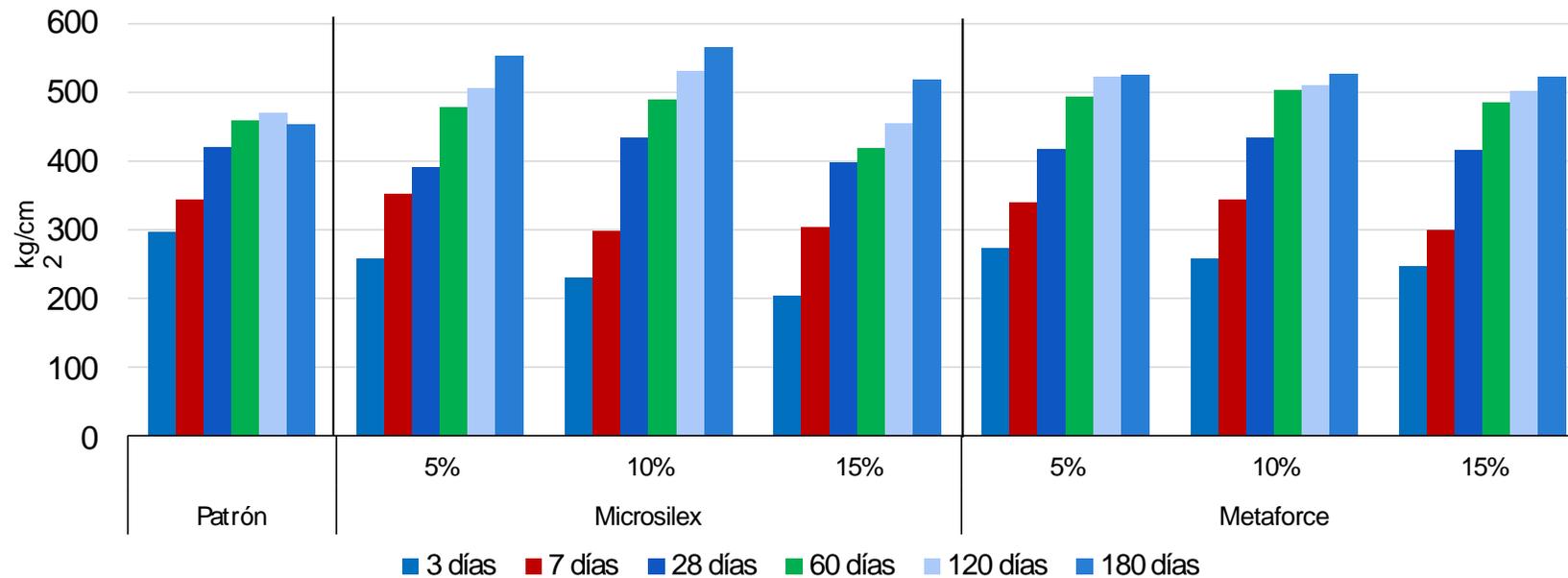
Metaforce®

y

Microsilix®



f'c en concreto 315 kg cemento/m<sup>3</sup> ASTM C39



44

La resistencia a la compresión a largo plazo es mejor en todas las mezclas con las puzolanas

# METACAOLÍN Y MICROSÍLICE

## Resistencia a la flexión en concreto ASTM C78

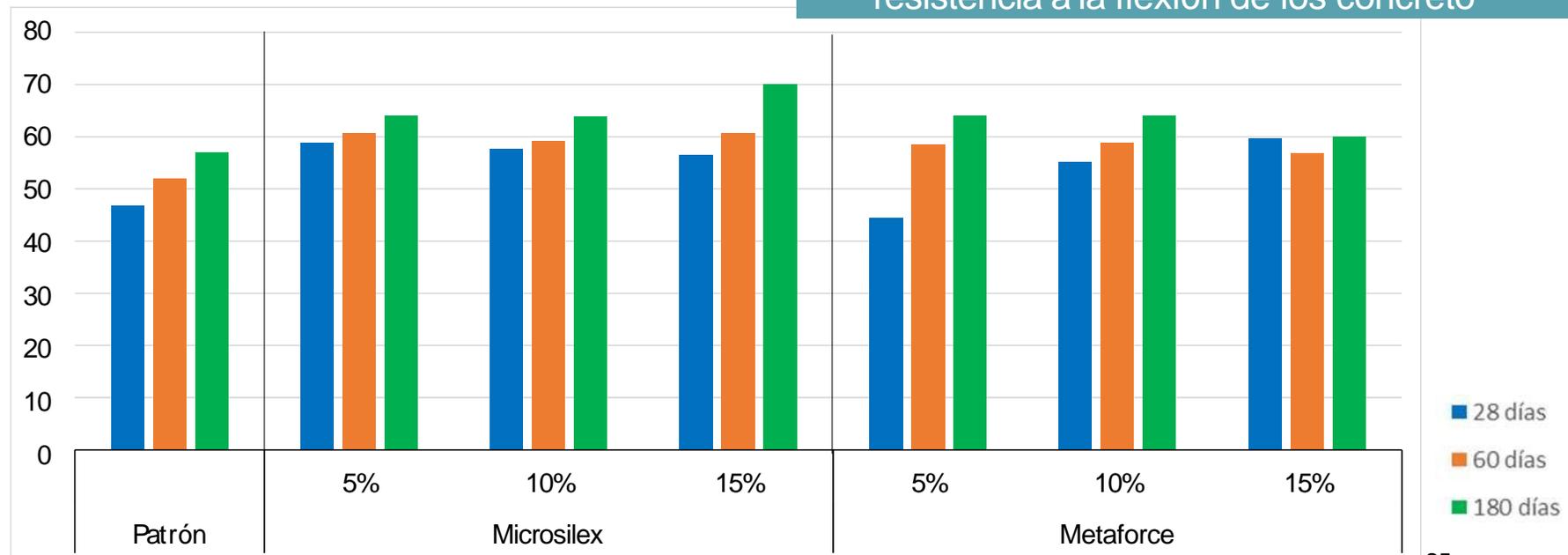
Metaforce®

y

Microsilix®



Las mezclas con puzolanas artificiales mejoran la resistencia a la flexión de los concreto



# METACAOLÍN Y MICROSÍLICE

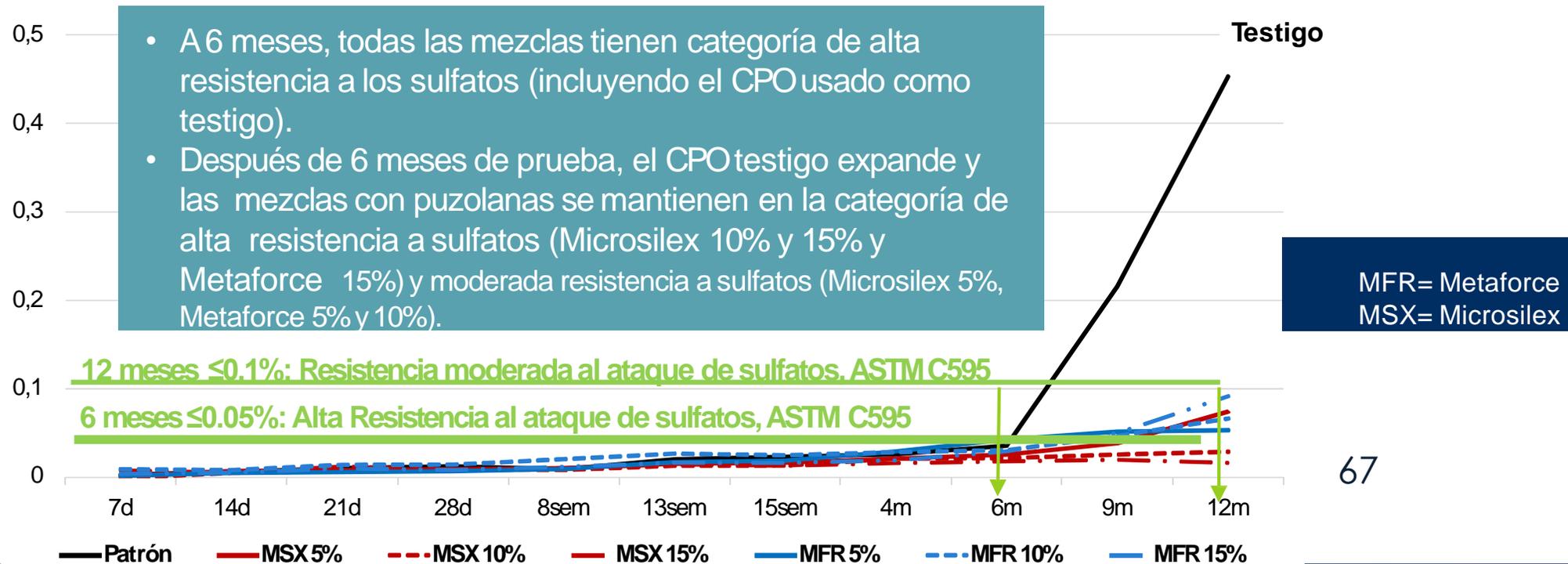
Metaforce®

y

Microsilix®



## Resistencia al ataque de sulfatos ASTM C1012



# METACAOLÍN Y MICROSÍLICE

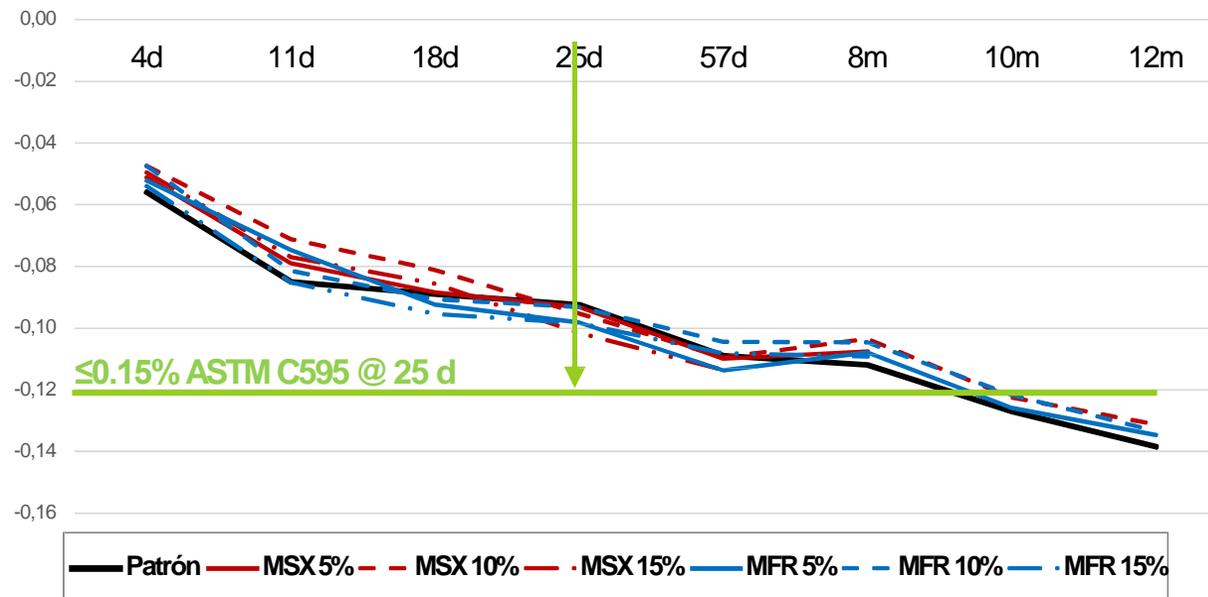
Metaforce®

y

Microsilix®



## Contracción por secado ASTM C596



- Todas las mezclas se comportan de manera similar al testigo y cumplen con la ASTM C595 a 25 días.

MFR= Metaforce  
MSX= Microsilix

# METACAOLÍN Y MICROSÍLICE

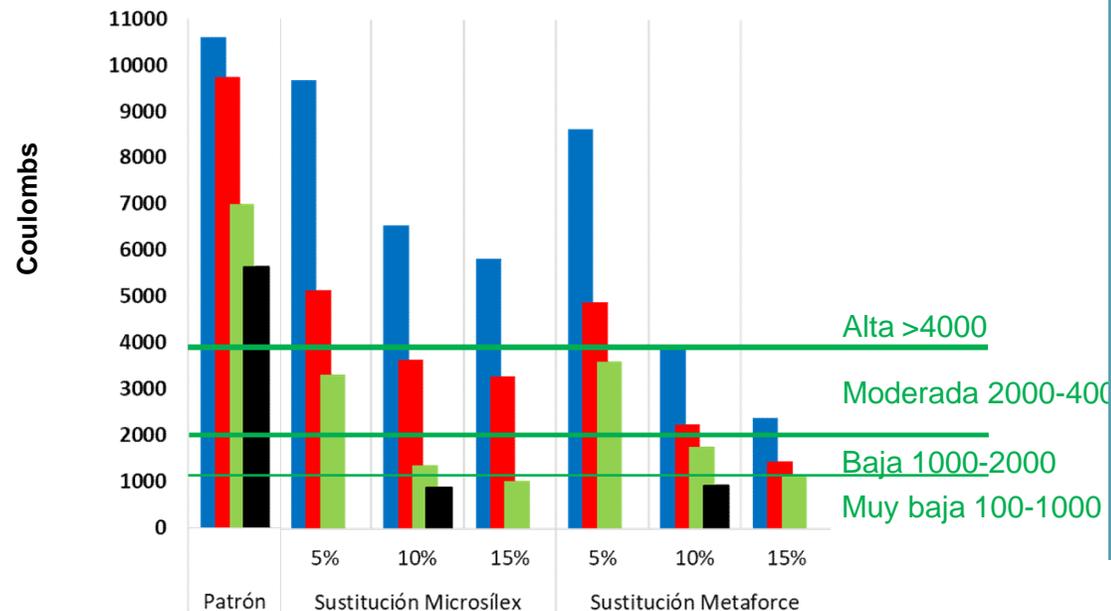
Metaforce®

y

Microsilix®



## Penetración del ion cloro sustitución 5-15% ASTM C1202



- Desde los 60 días, todas las mezclas superan al testigo.
- A un año, las mezclas con 10 y 15% de sustitución, tienen categoría de baja penetración de ion cloro.
- A un año y 10% de sustitución, las dos puzolanas llevan al concreto a categoría de muy baja penetración de ion cloro

# METACAOLÍN Y MICROSÍLICE

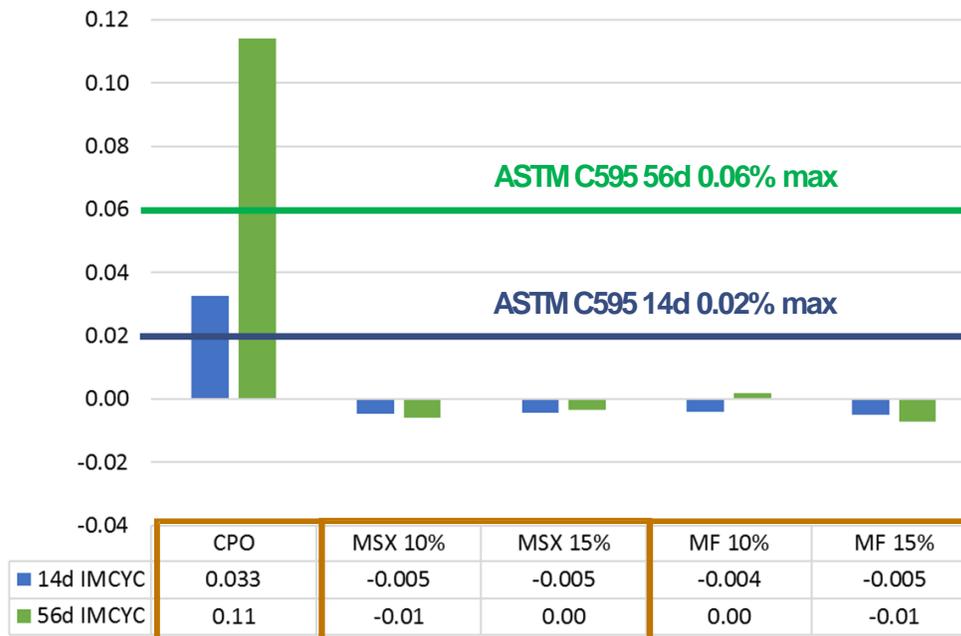
Metaforce®

y

Microsilix®



## Mitigación de la reacción álcali-agregado ASTM C227



MFR= Metaforce  
MSX= Microsilix

- Pruebas realizadas por el IMCYC.
- Las mezclas con puzolanas mitigan la reacción álcali-agregado desde 10% de sustitución.
- CPO (testigo).

# METACAOLÍN Y MICROSÍLICE

Metaforce®

y

Microsilix®



## Recomendaciones de uso

Aplicación	Materiales más recomendados
Resistencia al ataque de sulfatos	Microsilix®
Resistencia a la penetración del ion cloro	Metaforce®
Desempeño mecánico (resistencia a la compresión, flexión y módulo elástico)	Microsilix®
Mitigación de la reacción álcali-agregado	Metaforce®
Mitigación de la eflorescencia	Metaforce®

# METACAOLÍN Y MICROSÍLICE

Metaforces®

y

Microsilix®



## Colados Masivos



# METACAOLÍN Y MICROSÍLICE

Metaforce®

y

Microsilix®



## Otros Colados Masivos



# METACAOLÍN Y MICROSÍLICE

Metaforce®

y

Microsilix®



**Colados Masivos – Durabilidad – Alta Resistencia**



# METACAOLÍN Y MICROSÍLICE

Metaforce®

y

Microsilix®



**Durabilidad**

# METACAOLÍN Y MICROSÍLICE



Metaforce®

y

Microsilix®



**Durabilidad – Alta Resistencia**

# MATERIALES CEMENTANTES SUPLEMENTARIOS

## **Jorge Martínez**

Consultor en Tecnología de Materiales de Construcción

Proveedor de Materiales Cementantes Suplementarios

Ex-Presidente del **ACI** (American Concrete Institute) Capítulo Centro y Sur de México

## **Contacto:**

**[jorge.martinez@telmexmail.com](mailto:jorge.martinez@telmexmail.com)**