

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DURABLES DE CONCRETOS FABRICADOS CON MICROSILICE Y EXPUESTOS A CLIMAS EXTREMOS A EDADES TEMPRANAS.

1.º Jesús Manuel Bernal Camacho¹

jmbernalc@uas.edu.mx

2.º Javier Alonso Chavez Perez²

javierchavez@uas.edu.mx

ÁREA: PATOLOGÍA

Resumen:

Las propiedades mecánicas y durables del concreto están estrechamente ligadas con las condiciones medioambientales donde las estructuras son expuestas en edades tempranas. En diversos proyectos, es imposible aislar las estructuras de climas extremos por lo que sus propiedades se ven limitadas, esto se debe a que el proceso de hidratación de la matriz cementicia depende en gran medida de la cantidad de agua disponible y la temperatura ambiente. En climas extremos, estos parámetros se ven modificadas lo que influye de forma negativa en el desarrollo de sus propiedades, dando paso a la aparición de Patologías. La presente investigación muestra las ventajas del uso del microsilice como sustituto parcial del cemento en la fabricación de concreto expuestos a climas extremos. Para lo anterior, se diseñaron 3 mezclas de concreto, uno de referencia y dos más adicionados con 7% y 15% de microsilice, respectivamente. Asimismo, se establecieron 3 ambientes de exposición en los que los concretos fueron colocados a edades tempranas. El primero fue curado bajo norma (23°C + H.R 100%), los ambientes restantes atienden a condiciones de un clima cálido seco (40°C y 40% H.R) y un ambiente frío (1°C y H.R. 50%). Los resultados obtenidos muestran una mejora importante de las propiedades mecánicas y durables de las mezclas con microsilice, la resistencia a compresión mejoró y el coeficiente de migración de cloruros disminuyó significativamente.

Palabras clave: Durabilidad

Ambientes agresivos

Microsilice

Migración de cloruros

¹ PhD en Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales
Profesor Investigador de la Escuela de Ingeniería Mazatlán
Universidad Autónoma de Sinaloa

² M.I. en Ingeniería de la Construcción
Profesor Investigador de la Escuela de Ingeniería Mazatlán
Universidad Autónoma de Sinaloa

Introducción

Durante las últimas décadas las estructuras de concreto han tenido que mejorar su diseño de mezclas debido a los grandes cambios que ha demandado el área de la construcción. Es por ello, que hoy en día se utilizan materiales con mayor calidad y mejores características, con la finalidad de satisfacer las necesidades de diseño. Entre estos, se destacan las adiciones minerales de microsilice (microsilice), el cual tiene la capacidad de aumentar las propiedades mecánicas y durables del material debido a su tamaño de partícula y la actividad puzolánica que desarrolla con los componentes hidratados del cemento (IECA, 2016). Dichas propiedades están estrechamente ligadas con las condiciones medioambientales donde las estructuras son expuestas en edades tempranas.

En diversos proyectos, es imposible aislar las estructuras de climas extremos por lo que sus propiedades se ven limitadas, esto se debe a que el proceso de hidratación de la matriz cementicia depende en gran medida de la cantidad de agua disponible y la temperatura ambiente. En climas extremos, estos parámetros se ven modificadas lo que influye de forma negativa en el desarrollo de sus propiedades, dando paso a la aparición de Patologías. La presente investigación muestra las ventajas del uso del microsilice (microsilice) como sustituto parcial del cemento en la fabricación de concreto expuestos a climas extremos. Para lo anterior, se diseñaron 3 mezclas de concreto, uno de referencia y dos más adicionados con 7% y 15% de microsilice, respectivamente. Asimismo, se establecieron 3 ambientes de exposición en los que los concretos fueron colocados a edades tempranas. El primero fue curado bajo norma ($23^{\circ}\text{C} + \text{H.R. } 100\%$), los ambientes restantes atienden a condiciones de un clima cálido seco (40°C y $40\% \text{ H.R.}$) y un ambiente frío (1°C y $\text{H.R. } 50\%$).

Materiales y métodos empleados.

Materiales

Se diseñaron tres mezclas de concreto identificadas como C1, C2 y C3, con cemento CPC30-R RS que satisface la Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCCE, con sustitución parcial de microsilice y con una relación agua/cemento (a/c) de 0.62 para todas las muestras. La muestra C1 es considerada la mezcla patrón la cual empleo cemento portland unicamente como conglomerante, en cambio para las muestras C2 y C3 se usó HS como reemplazo parcial del cemento en porcentajes del 7% y 15%, respectivamente. La norma utilizada para el proceso de uso del HS es la ASTM C1240. La constitución química de los elementos cementicios se presentan en la Tabla 1 y 2. La Tabla 3 muestra las dosificaciones definidas para la elaboración de las mezclas. El concreto elaborado se hizo a base del procedimiento descrito en la norma NMX C -159-1985, con variaciones de temperatura ambiente de 27° a 33° . De igual forma se consideró la distribución adecuada de los componentes necesarios en el concreto para lograr una buena resistencia, manejabilidad apropiada para su vaciado y un bajo costo (Arthur H. Nilson, 1999). En la dosificación se tuvo en cuenta las correcciones apropiadas debido a la humedad de los áridos en el momento de su uso.

Tabla 1 Composición química del cemento

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	Suma
CPC	19.94	4.4	2.97	63.5	3.08	0.42	0.12		94.43

Tabla 2 Composición química del microsílíce

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	Suma
HS	95.22	0.08	2.37	0.26	0.11	0.56	0.3	0.24	99.14

Tabla 3 Dosificación de concretos 1m³

Material	Unidad	C1	C2	C3
Cemento Portland	Kg/m ³	339	315.27	288.15
Humo de sílice	Kg/m ³	0	23.73	50.85
Agua	Kg/m ³	210	210	210
Arena	Kg/m ³	750	750	750
Grava	Kg/m ³	1056	1056	1056
Gravilla	Kg/m ³	211.2	211.2	211.2
Agua/cementante	-----	0.62	.62	0.62

Métodos empleados

Posterior a la fabricación de las probetas, estas se mantuvieron en el molde durante 24 horas a temperatura ambiente. Una vez desmoldadas se sometieron a 3 ambientes de exposición diferentes, correspondiendo AE1: curado bajo norma (23°C + H.R 100%), AE2: clima cálido y seco (40°C y 40% H.R) y AE3: clima frío (1°C y H.R. 50%). Una vez transcurrido el tiempo establecido para cada prueba definida, se llevaron a cabo ensayos de caracterización de las muestras. Estos consistieron en medir la Resistencia a la compresión (NMX-C-109-2004), la Resistividad eléctrica (UNE 83988-1) para indicar el volumen de poros, el sistema de red de poros y grado de hidratación (Andrade y D'Andrèa, 2011) y el ensayo de Migración de cloruros (NT BUILD 492).

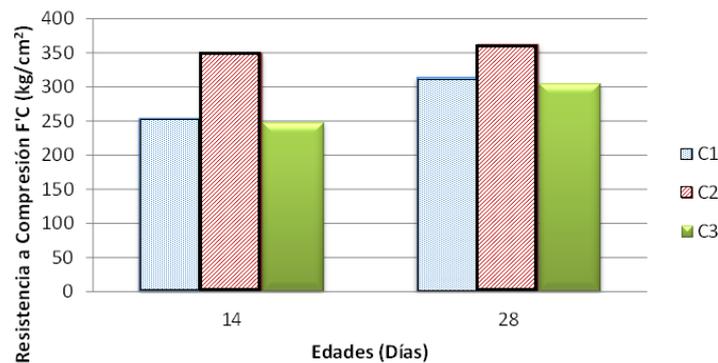
Resultados y discusión

Resistencia a compresion

Ambiente de exposicion AE1 (23°C + H.R 100%)

De acuerdo con la Figura 1 se observa que la muestra C2 presenta los mayores valores en ambas edades, en cambio las muestras C1 y C3 muestran una evolución parecida entre ellas. Se puede observar que el porcentaje de sustitución del cemento por humo de sílice del 7% es el idóneo. Haciendo referencia a las prestaciones mecánicas en muestras de concreto con humo de sílice debido a la formación de geles durante la actividad puzolánica de la adición con el hidróxido cálcico producido durante la hidratación del cemento, además de la mayor densificación del material debido al pequeño tamaño de la partícula de humo de sílice. En cambio, en dosificaciones que incorporan cantidades mayores al 10% la reserva de hidróxido cálcico no es suficiente debido a la reducción de la cantidad de cemento, lo que implica un déficit del compuesto hidratado ante la cantidad de humo de sílice incorporado en el concreto.

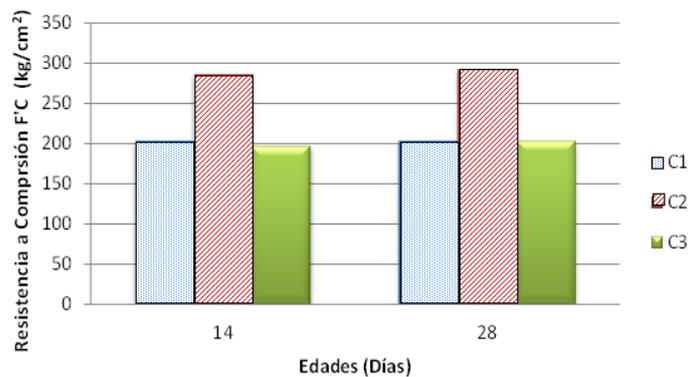
Figura 1 Resistencia a compresión curado bajo norma AE1



Ambiente de exposicion AE2 clima cálido y seco (40°C y 40% H.R)

De acuerdo a la Figura 2 se puede observar que al igual que el ambiente AE1, la muestra C2 presenta el mejor comportamiento mecánico y las otras dos muestras experimentan valores iguales. Esto puede atribuir a que no hubo una mayor hidratación de las mezclas ante la ausencia de agua producto del secado agresivo provocado por las altas temperaturas. También resulta importante destacar que el humo de sílice tiene una actividad puzolánica muy alta a edades tempranas por lo que su desarrollo de las prestaciones mecánicas fue mejor aprovechado antes de la evaporación del agua de la red porosa.

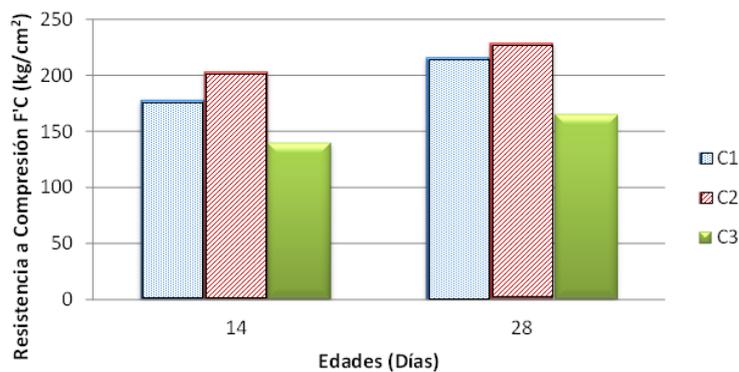
Figura 2 Resistencia a compresión en condición AE2



Ambiente de exposicion AE3 clima frio (1°C y H.R. 50%)

De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 3 se puede ver que el frío redujo considerablemente los valores de la resistencia a compresión obtenidos en las distintas mezclas a las distintas edades. Como en los casos anteriores, C2 vuelve hacer la que presenta los valores más elevados, pero no tan característica como en los curados anteriores. En este caso la reacción química se ralentiza por las bajas temperaturas. A resultado de esto se tiene que C2 no tiene hidróxido de calcio disponible para su actividad puzolánica lo que disminuye su desarrollo mecánico. Para el caso de C3 sucede lo mismo. C1 siendo una muestra sin adiciones, muestra un incremento importante en los valores de 14 a 28 días, esto debido a que la hidratación de la matriz cementicia fue lenta pero progresiva.

Figura 3 Resistencia a compresión en condición AE3

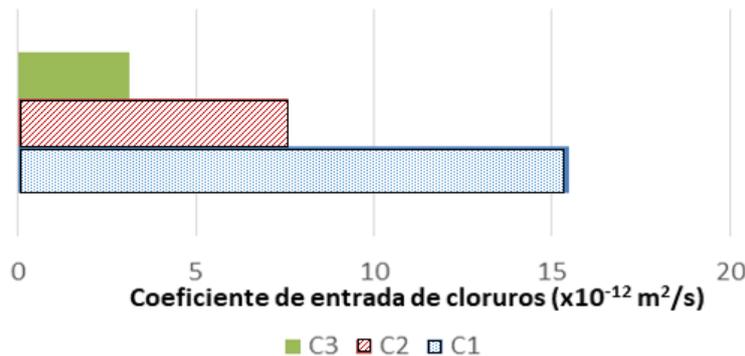


Ensayo de Migración de cloruros

Ambiente de exposición AE1 (23°C + H.R 100%)

En la Figura 4 se muestra el promedio de los coeficientes obtenidos de las mezclas C1, C2 y C3 individualmente. Como resultado se observa que C3 tiene el menor coeficiente de migración seguido de C2 y C1. Lo que no tiene relación con la resistencia a la compresión en el ambiente AE1. Esto se puede atribuir a la influencia de la microsilice como filler y no como adición puzolánica. Debido al mayor porcentaje de microsilice en la mezcla C3 esto generó que la red porosa experimentara un refinamiento del poro y una mayor densificación de la matriz cementicia. Dichas condiciones propician la disminución del valor del coeficiente de migración de cloruros. Asimismo, podemos observar que la mezcla C2 presenta una mejora ante C1, lo cual se puede atribuir a la influencia antes mencionada de la microsilice. Cabe destacar que el valor del coeficiente C1 es considerablemente mayor respecto al resto de mezclas, lo que viene a reforzar el argumento del beneficio de emplear microsilice como adición para la mejora de las propiedades durables.

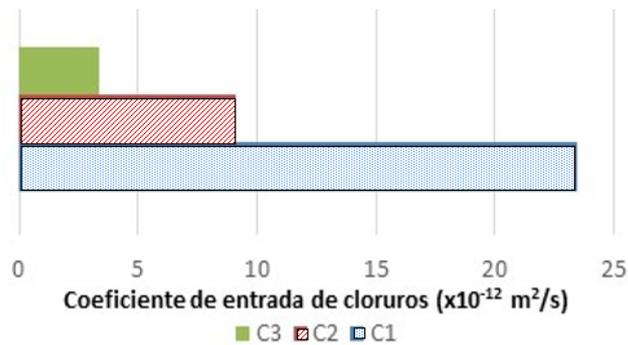
Figura 4 Coeficiente de migración de cloruros en AE1



Ambiente de exposición AE2 clima cálido y seco (40°C y 40% H.R)

La Figura 5 expone los resultados del coeficiente de migración de cloruros obtenidos en las muestras bajo condiciones AE2. La discriminación entre las mezclas se presenta bajo las mismas condiciones que en el ambiente AE1. Cabe destacar que los valores de las muestras C2 y C3 presentaron un aumento sensible en sus valores lo que abona de manera negativa a la durabilidad de las mezclas. En cambio, la mezcla C1 manifestó un aumento significativo, lo cual denota una mayor vulnerabilidad de la mezcla ante la presencia del ion cloruro. Con base en lo anterior, podemos argumentar que la incorporación de la microsilice en mezclas de concreto expuestas en ambientes secos coadyuva en la obtención de mejores parámetros de durabilidad.

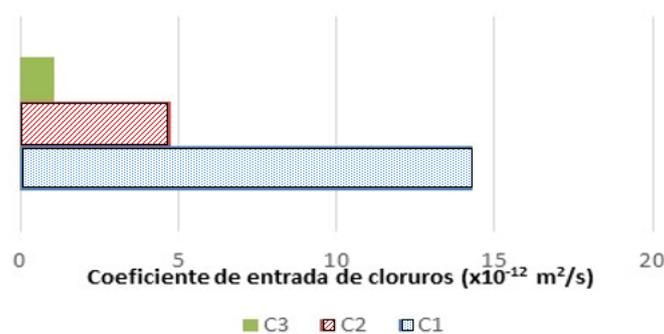
Figura 5 Coeficiente de migración de cloruros en AE2



Ambiente de exposicion AE3 clima frio (1°C y H.R. 50%)

La Figura 6 expone los resultados del coeficiente de migracion de cloruros obtenidos en las muestras bajo condiciones AE3. Se puede observar que los resultados presentan un descenso importante en todas las mezclas y respecto a las condiciones AE1 y AE2. De nueva cuenta las mezclas de concreto con los menores valores corresponden a las mezclas fabricadas con microsilice. Relacionando estos resultados con los valores de resistencia a compresion podemos definir que las bajas temperatura influyen de manera importante en los procesos de hidratacion de las mezclas de concreto, debido a la ralentización de los procesos quimicos. Partiendo del concepto anterior, podemos decir que los valores bajos de los coeficientes de difusion en las mezclas con microsilice se deben al efecto de esta como filler, ya que la cantidad de productos hidratados se vio limitada por la baja temperatura y no propicio condiciones para tener actividad puzolanica.

Figura 6 Coeficiente de migración de cloruros en AE3



CONCLUSIONES

La influencia de los parámetros ambientales (temperatura y humedad relativa) en climas extremos, limitan el desarrollo de las propiedades mecánicas y durables de las mezclas de concreto. Los climas cálidos con altas temperaturas y baja humedad relativa reducen la cantidad de agua disponible necesaria para hidratar la matriz cementicia de las mezclas de concreto. En cambio, los climas con temperaturas bajas y humedades relativas bajas ralentizan los procesos de hidratación de las mezclas, lo que se traduce en concretos con una mayor cantidad de granos de cementos anhidros y adiciones minerales sin actividad puzolánica.

El uso de microsilice como sustituto parcial del cemento influye de manera positiva en concretos expuestos a edades tempranas en climas extremos. Los valores de resistencia a compresión del concreto C2 (7% de microsilice) mejoran frente al concreto de referencia C1. El uso de microsilice en porcentaje del 15% (mezcla C2) afecta el desarrollo mecánico debido a que se pierde el balance entre la cantidad de adición mineral y el hidróxido cálcico que genera la actividad puzolánica. En cuanto a los valores de los coeficientes de migración se pudo observar para todas las condiciones de exposición una mejora considerable de las propiedades en las mezclas con microsilice. Lo anterior, se puede atribuir al doble efecto que presenta esta adición, por una parte manifiesta buena actividad puzolánica a edades tempranas lo que aporta mayores cantidades de Gel C-S-H y por otra, el tamaño de grano ayuda a la obtención de redes porosas con un mayor refinamiento y mezclas más densas.

Las propiedades mecánicas y durables no presentan una relación lineal en cuanto a sus valores y comportamiento presentado en los distintos ambientes de exposición. Lo anterior nos permite establecer que elevados valores de resistencia a compresión no garantizan óptimas propiedades durables.

Bibliografía

- Collins, M. (2016). Cold weather concreting. Concrete.org.uk. Retrieved 12 March 2016
- Guidelines for concreting in hot and cold weather conditions | Lagan Concrete. (2013).Laganconcrete.ie. Retrieved 12 March 2016
- Rómel Solís Carcaño y Eric I. Moreno. (11 de noviembre de 2005). Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido subhúmedo. Ingeniería UADY, 1, 17. Febrero 2016.
- NACU (1907), Report by the Committee on laws and ordinances. Journal Proceedings.
- ACI Standards and Reports (1991). ACI 305: Hot weather concreting.
- ACI Standards and Reports (2001). ACI 308: Guide to curing concrete.