

Evaluación de la carbonatación en estructuras de concreto ubicadas en la región Centro-Norte de Veracruz

RESUMEN: La presente investigación tiene por objeto evaluar el impacto de la carbonatación en estructuras de concreto en las zonas de Misantla, Martínez de la Torre y Vega de Alatorre. Con la finalidad de analizar la profundidad de carbonatación en dichas zonas, se elaboraron especímenes de concreto de acuerdo a la norma NMX-C-159-ONNCCE-2004. Las mezclas elaboradas se diseñaron por el método de ACI 211.1, antes se realizó la caracterización de los agregados, dicha caracterización y el proceso de curado de los especímenes elaborados de acuerdo a lo establecido en la normativa ONNCCE. Las mezclas elaboradas se diseñaron para un $f'c=300$ kg/cm², empleando un tipo de cemento CPC 30R. Después de la etapa de curado, los especímenes fueron colocados en puntos estratégicos de las zonas de estudio, para posteriormente ser evaluados por el método de vía húmeda de acuerdo al manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. Y posteriormente pruebas de SEM en las zonas carbonatadas y las no carbonatadas. Además se está utilizando una puzolana artificial como puede ser el humo de sílice (Microsilice), disminuyendo la cantidad de cemento, dando así una alternativa de construcción sustentable, mejorando la durabilidad y vida útil de la estructura.

PALABRAS CLAVE: Concreto, Carbonatación, Estructura, Sustentable, Microsilice.



Colaboración

Humberto Raymundo González Moreno, Instituto Tecnológico Superior de Misantla; Omar Farid Ojeda Farías, Universidad Autónoma de Nuevo León; Universidad Veracruzana, Miguel Ángel Baltazar Zamora; Amador Arroyo Córdova; William Barranco Ramos; Oscar García Arcos, Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

ABSTRACT: This research aims to assess the impact of carbonation in concrete structures in areas of Misantla, Martínez de la Torre and Vega de Alatorre. In order to analyze the depth of carbonation in these areas, concrete specimens according to the NMX-C-159-ONNCCE-2004 standard was developed. The prepared mixtures were designed by the method of ACI 211.1, before characterizing the aggregates, such characterization and curing of the specimens prepared in accordance with the provisions of the regulations ONNCCE was performed. The prepared mixtures were designed for $f_c = 300$ kg / cm² using a type of cement CPC 30R. After the curing step, the specimens were placed in strategic locations in the study areas, later to be evaluated by the wet method according to the manual inspection, evaluation and diagnosis of corrosion in reinforced concrete structures. And then SEM tests in carbonated and non-carbonated areas. Also used is an artificial pozzolan such as silica fume (microsilica), decreasing the amount of cement, thus giving an alternative sustainable building, improving durability and life of the structure.

KEYWORDS: Concrete, Carbonation, Structure, Sustainable, Microsilica.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se tienen distintos problemas en varios ámbitos, en el punto relacionado al ambiente, la contaminación ha sido un punto que se ha tratado en gran medida de disminuir, a la par de este tema se ha enfatizado el desarrollo sustentable con el uso de materiales reciclados y el aprovechamiento en sectores productivos como puede ser la industria de la construcción.

El avance del ser humano ha traído consigo muchas facilidades al igual que problemas que día a día van en aumento y uno de ellos son las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), provocado por los automóviles y fabricas que no solo afectan al ecosistema sino también a las estructuras de concreto reforzado.

Las principales fuerzas que fueron responsables de las transformaciones económicas y sociales en la actualidad son: crecimiento de la población, la industrialización y la urbanización, la globalización de la economía de mercado y el consumismo, aunado a la contaminación ambiental. Las fuerzas están interconectadas, su impacto combinado ha desencadenado otra fuerza conocida como cambio climático, que ha amenazado con causar graves daños a la civilización humana en la tierra. El cambio climático está trayendo gran influencia sobre el medio ambiente humano y se convierte en un problema importante al cual el mundo presta mucha atención. [1] No obstante el calentamiento global es el más importante tema de la sostenibilidad hoy en la mente del público. [2]

Es importante mencionar que las temperaturas excepcionalmente elevadas (1400-1500 ºC) que se requieren en la fabricación del cemento Portland son responsables de que se le atribuya el 40% del consumo de energía, penalizando el proceso con unos costos muy elevados. [3] La repercusión en el entorno ambiental resulta negativa, a consecuencia del consumo importante de materias primas y combustibles, y de la elevada emisión de gases de efecto invernadero, hasta el punto de que se atribuyen a la industria cementera un 6-7% del total de dichas emisiones. [4,5]

Además cabe resaltar que el incremento del número de infraestructura de concreto reforzado, presforzado o postensado que muestran signos de deterioro producto del ambiente en que están expuestos, han llamado la atención de las autoridades de gobierno,

Iniciativa privada y de la población en general y han planteado la necesidad de utilizar materiales que proporcionen a las estructuras de concreto mayor resistencia mecánica y disminuya su probabilidad de falla asociada a la degradación por sollicitaciones mecánicas y la exposición a agentes agresivos presentes en medios de exposición marinos, industriales y urbanos, donde se encuentren activos los iones cloruro (Cl⁻), ión sulfato (SO₄²⁻), dióxido de carbono (CO₂), etc. Muchos de los colapsos de estructuras en servicio reportados en países industrializados como los Estados Unidos, Japón y Europa se atribuyeron a la degradación de la resistencia de diseño de la estructura producida por agentes ambientales. Aunque son diversos los mecanismos de deterioro presentes, por ejemplo, ataque por sulfatos, reacción álcali-agregado, ciclos de hielo-deshielo, corrosión, etc. – el más común reportado es debido a la corrosión de la armadura (armadura = acero de refuerzo + presfuerzo o postensionado).

Con respecto al problema de carbonatación, las investigaciones que generalmente se han realizado en los últimos años, después de identificar el agente que lo genera y la forma en cómo se produce el mecanismo, se han enfocado a la búsqueda de métodos de prevención y protección.

En México existe una diversidad muy grande de climas/microclimas que permitirán, con esta investigación, definir más acertadamente estos niveles de la carbonatación que causa la corrosión de la armadura. Esto en conjunto con los modelos que se definirán en el proyecto y los resultados de la evaluación físico-química de las diferentes probetas expuestas, permitirán definir una mejor forma de diseñar obras en concreto durables y reparar adecuadamente las ya existentes que presentan este problema. La zona de estudio puede tener diferentes características en base a temperatura y humedad relativa, además el uso diferentes mezclas de concretos sustentables puede determinar la mejor opción por cada zona. El desarrollo del proyecto analizara los daños que impactan a las estructuras de concreto debido al cambio climático y/o contaminantes de gases invernadero y la durabilidad que pueden llegar a tener usando diferentes tipos de concretos.

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron especímenes con un f'c=300 kg/cm², los cuales se colocaron en zonas donde las emisiones de CO₂ y la presencia de Cl es evidente, además de considerar los tipos de clima en las zonas de estudio:

a) Realización de la Matriz de Experimentación.

La matriz de experimentación se realizó en base a las variables del proyecto, como son; F'c del concreto, Zonas de exposición y mezclas de control, además de la sustitución del CPO 30R.

Las características se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 2.1. Matriz Experimental

| Concreto f'c | Mezclas | Zonas de Exposición | No. Esp. |
|------------------------|---|----------------------|-----------|
| 300 kg/cm ² | CONTROL CPC 30R | Misantla | 20 |
| | MICRO 20% CPC 30R (80%) y Humo de Sílice 20% | Martínez de la Torre | 20 |
| | | Vega de Alatorre | 20 |
| 1 | 2 | 3 | 60 |

Los materiales se caracterizaron en el ITSM, con el fin de conocer las propiedades físicas de los agregados a utilizar, con base a la Normativa ONNCCE, posteriormente con el método del ACI 211.1 se hace el proporcionamiento para determinar la cantidad de material necesario para elaborar una probeta en la mezcla de control y la Mezcla de Microsilice sustituyendo al cemento al 20%; en la siguiente tabla se muestra las cantidades empleadas.

Figura 9. Conexión del Módulo PLC SR3 B101FU

| Contenido (Kg/m ³) | Concreto f'c= 300 Kg/m ³ | Micro 20% f'c= 300 Kg/cm ² |
|--------------------------------|---|---|
| Cemento | 0.72 kg | 0.61 kg |
| Agua | 0.37 kg | 0.37 kg |
| Grava | 1.83 kg | 1.83 kg |
| Arena | 1.74 kg | 1.74 kg |
| Microsilice | - | 0.11Kg |

b) Elaboración de probetas de estudio.

Las probetas de estudio se realizaron en el ITSM, con las siguientes dimensiones:
Elaboración de los moldes.

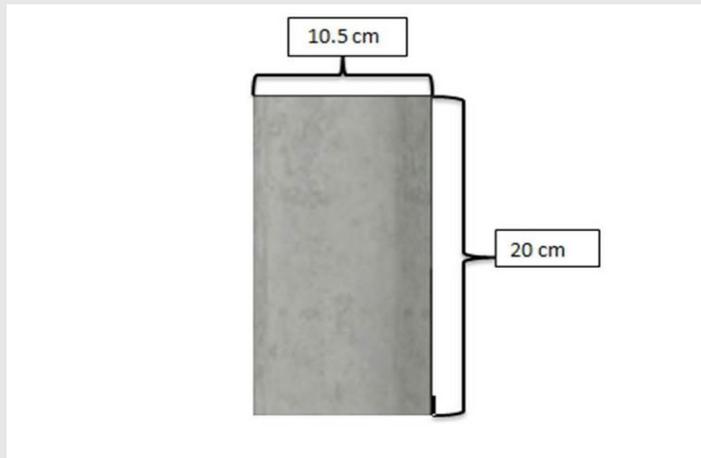


Imagen 2.1. Dimensiones de las probetas del estudio.

Se elaboraron con material de PVC, en base a un de 2" como se mencionó en las dimensiones, y se anclaron la paredes de la abertura con cintillas metálicas y cinchos de plástico para evitar el derramamiento del concreto en esa zona, además de que se realizaron cortes al tubo de 90° para no permitir la salida de agua por la parte inferior de las probetas. En la elaboración de las mezclas de concreto se rea-



Imagen 2.2. Moldes de PVC de 2".

lizaron las respectivas pruebas establecidas en la normativa ONNCCE; en este caso se realizó la prueba de temperatura la cual indico un parámetro de 24°C, además un revenimiento que se consideró en el diseño de la dosificación de 5 cm, el cual se cumplió en la elaboración de las mezclas mencionadas. También se consideró la respectiva normativa para el varillado y golpeo en las probetas de estudio.



Imagen 2.3. Revenimiento de mezclas de concreto.

24 horas posteriores al colado de los cilindros, se realizó el descimbrado de las probetas de los moldes establecidos, donde se colocaron en recipientes para su respectiva etapa de curado en 28 días.

c) Ubicación de las zonas de estudio.

Las zonas de estudio se evaluaron de acuerdo a características de diferencia de clima, así como la influencia de la incorporación de CO2 por medio del tráfico vehicular y algunas industrias cercanas.

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como lo evidencian un número significativo de cambios observados y sus respuestas que están siendo investigados tanto para los sistemas naturales como para los manejados. [4,5]



Imagen 2.4. Proceso de curado durante 28 días.



Imagen 2.5. Ubicación de las zonas de estudio en el estado de Veracruz.

Los municipios pertenecen a la región Centro – Norte del estado de Veracruz, donde prácticamente se constituyen distintos entornos, en Misantla se sitúa en una zona montañosa, Martínez de la Torre por su parte se encuentra en una zona de baja altitud, sin embargo, la actividad agrícola y la transportación de vehículos de carga de la misma materia prima son importantes para considerar la zona para el estudio. Por último se realizó la selección en Vega de Alatorre, en donde se enfatiza la baja altitud y cercanía del mar al municipio mencionado.

Incorporación de probetas en los municipios de estudio:

Tabla 2.3. Tipos de clima en la zona de estudio

| Misantla | Martínez de la Torre | Vega de Alatorre |
|---|---|--|
| Clima es cálido-húmedo, con una temperatura de 22,7 °C. | Su clima es cálido-húmedo-regular con una temperatura promedio de 23.7°C. | Su clima es cálido-húmedo (húmedo tropical), con una temperatura media anual de 24 °C. |



a) Imagen 2.7. Misantla, Veracruz.

Es de suma importancia analizar la combinación de los agentes que provocan la carbonatación:

Misantla es cálido-húmedo, con una temperatura de 22,7 °C. Su clima es cálido-húmedo-regular con una temperatura promedio de 23.7°C. Martínez de la Torre Su clima es cálido-húmedo (húmedo tropical), con una temperatura media anual de 24 °C. Vega de Alatorre



b) Imagen 2.8. Martínez de la Torre, Veracruz.

d) Colocación de probetas.

Se colocaron las probetas en puntos estratégicos de los 3 Municipios de estudio, en la figura 2.7, 2.8 y 2.9 se observa la colocación de los especímenes de estudio mencionados anteriormente.



c) Imagen 2.9. Vega de Alatorre, Veracruz.

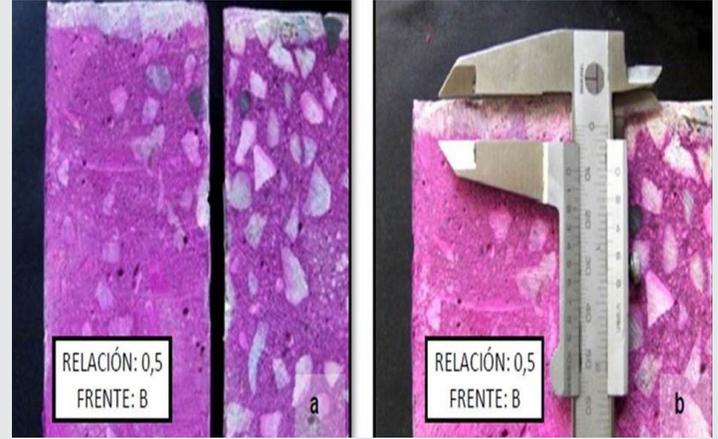


Imagen 2.10. Ejemplo de la prueba de Fenolftaleína por vía húmeda. [7]

e) Determinación de la Carbonatación por el método de vía húmeda con solución de indicador acido-base.

Una vez que las probetas cumplan los 30 días de exposición de forma ordenada se retiraran de las zonas de estudio en pares; es decir, un espécimen Ctrl y Micro 20%, de las zonas estudiadas, para realizar técnicas de Fenolftaleína para la determinación de la profundidad de carbonatación y velocidad de carbonación que se describen a continuación.

Profundidad de Carbonatación

Se determinara el avance de la carbonatación en el concreto por el método de vía húmeda con solución de indicador acido-base.

La carbonatación es la reducción de la alcalinidad normal (pH entre 12-14) del concreto por efecto del CO₂ que difunde desde el ambiente que lo rodea. En presencia de humedad, el CO₂ reacciona con los álcalis (usualmente hidróxidos de calcio, sodio y potasio), neutralizándolos para formar carbonatos disminuyendo el pH por debajo de 10. [6]

La prueba se realizara en el laboratorio de Química del ITSM, una vez seleccionada la probeta y estando la superficie libre de polvo, se aplicara por atomización el indicador acido-base en forma uniforme.

Luego de la aplicación, antes de trascurrir 5 minutos, se efectuara la medición de la longitud (profundidad) de la zona incolora desde la superficie, determinándose con precisión los valores máximos/mínimos del frente incoloro y media aritmética, de un mínimo de medición, en función del tamaño de la probeta

Nivel de pH. En función del indicador acido-base seleccionado se establecerá el pH del enfrente incoloro en la muestra.

La fenolftaleína es el indicador más comúnmente utilizado y su rango de viraje está entre pH 8,2 y pH 9,8. Varía su tonalidad de incoloro a violeta rojizo.

f) Velocidad de carbonatación.

Uno de los modelos más sencillos que permite predecir la velocidad de la carbonatación del concreto armado es la que relaciona profundidad de carbonatación con la raíz cuadrada del tiempo de exposición.

$$X_{CO_2} = K_{CO_2} \sqrt{t}$$

X_{CO_2} = Profundidad de la carbonatación, mm
 K_{CO_2} = Constante de carbonatación, mm.año⁻⁰⁵
 t = tiempo en meses

$$K_{CO_2} = \quad ; t = \left(\frac{e_c}{K_{CO_2}}\right)^2$$

Con los resultados de una determinación de profundidad de carbonatación es posible predecir la progresión de la misma y el tiempo en el cual la carbonatación alcanzara el refuerzo o centro de la estructura de concreto si se conoce la profundidad de esta.

Se calculara la constante K_{CO_2} de la primera determinación y el tiempo en que ocurrió la carbonatación.



Imagen 2.11. Corte de los especímenes de estudio.



Imagen 2.12. Materiales y químicos usados en laboratorio.

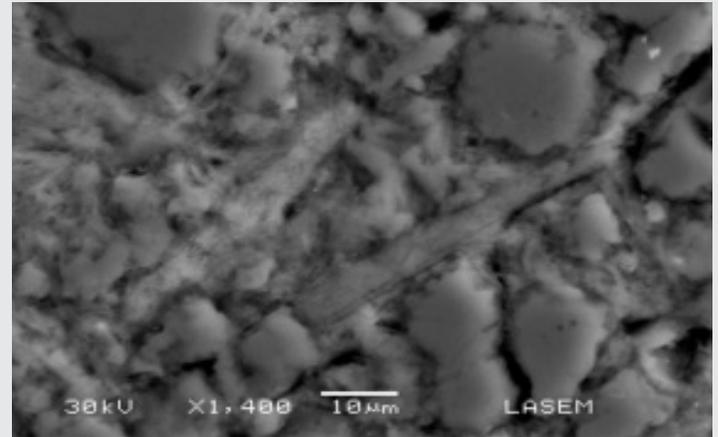


Imagen 2.14. Ejemplo de Fotomicrografía SEM en el concreto superficial de viga afectada por el fuego. . [9]

Posterior a los cortes se llevaron los especímenes del proyecto al laboratorio para poder realizar el procedimiento de vía húmeda.

Una vez que se conoce el volumen del recipiente con aspersión para mezclar el agua 50%, alcohol etílico 49% y Fenolftaleína 1%, se pesan en basculas de precisión, por último se revuelven con un agitador para que la sustancia sea homogénea y de esta forma se rocía sobre las muestras.



Imagen 2.13. Colocación de la solución de Fenolftaleína siendo rociada con aspersor.

Por último se realiza la medición con vernier digital y se llena la bitácora de las muestras para poder resultados y trabajarlos de forma matemática.

Una vez realizada las pruebas en el laboratorio de Química del ITSM, se almacenaran muestras de zonas carbonatadas y no carbonatadas en bolsas herméticas para que puedan ser trasladadas al laboratorio de materiales, de la FIC de la UANL, donde se les efectuara un procedimiento de Microscopia de Barrido Electrónica (SEM), y así evaluar el efecto de la reacción de la porlandita con el dióxido de carbono en la estructura de concreto. [8]

RESULTADOS

Hasta el momento se cuenta con el cuarto ensaye y los resultados obtenidos son los siguientes:

Grafica. 3.1 Profundidad de carbonatación en concreto convencional.

RESULTADOS PROMEDIO CONTROL

| CONTROL N° DE ENSAYE | PROFUNDIDAD DE CARBONATACION PH<8 (MM) | |
|----------------------------|---|---|
| MIS- PROMEDIO | 0.985 | |
| MTZ- PROMEDIO | 1.738 | PH DEL RESTO DEL NUCLEO DE ACUERDO A LA COLORACION |
| VEGA- PROMEDIO | 2.423 | |

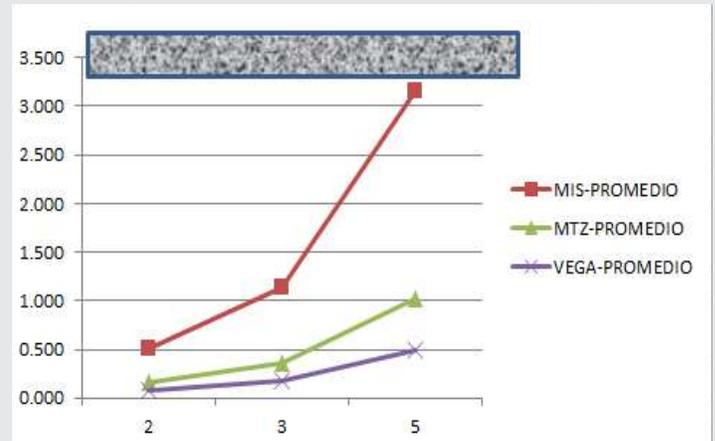
Los datos de las probetas localizadas en Vega de Alatorre cuentan con una profundidad de carbonatación pronunciada respecto a las de Misantla, las probetas son de control y manifiesta la influencia del NaCl en el proceso de la carbonatación.

Los pronósticos de años respecto a los cm. De recubrimiento están basados en la ley de la construcción del Distrito Federal.

Se observó una probabilidad muy baja de carbonatación en recubrimiento de las muestras de 2 cm. De Misantla, Veracruz. Ya que en aproximadamente media año podría existir disminuciones de pH a esa altura del recubrimiento.

Grafica. 3.2 Profundidad de carbonatacion en concreto con micro silice.

| IDENTIFICACION | | | |
|-----------------------------------|--------------|--------------|---------------|
| ENSAYE: | | | |
| MUESTRA No. | MIS-PROMEDIO | MTZ-PROMEDIO | VEGA-PROMEDIO |
| DATOS DEL ESPECIMEN | | | |
| DIAMETRO (Cm) | 10.5 | 10.5 | 10.5 |
| EDAD "t" (años) | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| DATOS DEL ENSAYE | | | |
| \sqrt{t} | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| PROF. DE CARBONATACION (mm) | 1.0 | 1.7 | 2.5 |
| PRONOSTICO DE CARBONATACION EN CM | | | |
| | 2 | 3 | 5 |
| | 0.505 | 1.136 | 3.156 |
| | 0.162 | 0.365 | 1.014 |
| | 0.078 | 0.176 | 0.490 |

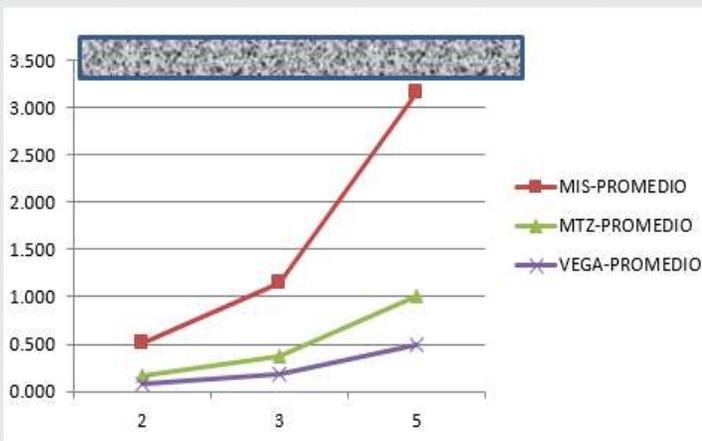


Grafica. 3.2 Profundidad de carbonatacion en concreto con micro silice.

La línea muestra el promedio que tiene las mediciones de la carbonatación de acuerdo a la predicción de número de años y en datos a 2,3 y 5 cm de acuerdo a los recubrimientos que recomiendo la ley de la construcción del Distrito Federal.

Se nota la predicción de los cilindros de mezclas de concreto control en el frente A, el cual está en dirección contraria a la costa.

Existe una gran diferencia del uso del aditivo al del control, hasta el momento representa un incremento aproximado de 10 años de diferencia, esta tendencia no se puede generalizar para los meses restantes del proyecto. De esta forma se podrá deducir si la mezcla en la cual se implementó la puzolana artificial, influye en la disminución del impacto de la carbonatación, y mejora la vida útil de la estructura logrando una mejor durabilidad en la misma.



Grafica. 3.1 Profundidad de carbonatacion en concreto convencional.

Las grafica 3.1 muestra la tendencia de los especimenes de concreto convencional de Vega de Alatorre con una tendencia de carbonatarse en menor tiempo en recubrimientos de 2,3 y 5 respectivamente.



Imagen 3.1. Coloración de carbonatación en mezcla de control de Misantla mes de enero 2016.

En la imagen 3.1 se puede apreciar la medición con ayuda del vernier digital, se nota una disminución de pH en una de las paredes.



Imagen 3.2. Resultados de pruebas de carbonatación en mezcla control de Martínez de la Torre



Imagen 3.4. Prueba de carbonatación en mezcla con Microsilice de Misantla mes de enero.



Imagen 3.3. Pruebas de carbonatación en mezcla de control de Vega de Alatorre mes de enero.

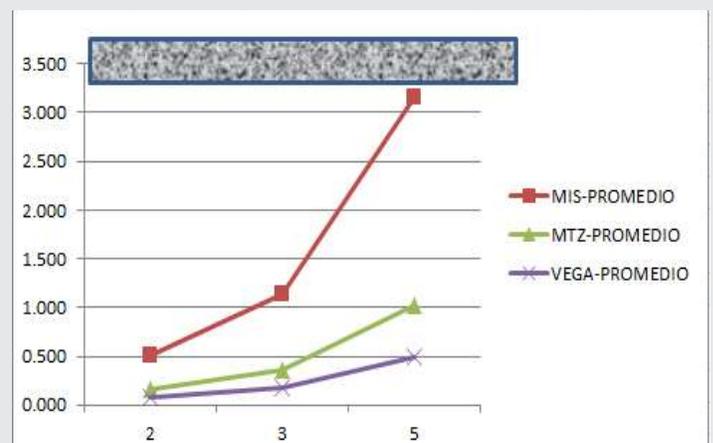
En las imágenes 3.2 y 3.3 se puede distinguir las mediciones realizadas en laboratorio por las pruebas de Fenolftaleína, además se destaca las profundidades de carbonatación en las vigas de Martínez de la Torre. Por su parte se desarrolló la metodología para las muestras que contienen Humo de Silice (Microsilice) en sustitución al cemento, y hasta el momento se han obtenido resultados distintos a los esperados, sin embargo, hay datos de aumento de pH en algunos sitios.

Ejemplo de ello son los siguientes datos:

Tabla 2.3. Tipos de clima en la zona de estudio

| Misantla | Martínez de la Torre | Vega de Alatorre |
|---|---|--|
| Clima es cálido-húmedo, con una temperatura de 22,7 °C. | Su clima es cálido-húmedo-regular con una temperatura promedio de 23.7°C. | Su clima es cálido-húmedo (húmedo tropical), con una temperatura media anual de 24 °C. |

El uso de la puzolana artificial no ha causado el impacto esperado en la zona de Martínez de la Torre de acuerdo al promedio de carbonatación, dato que se aproxima a los 3.255 mm.



Gráfica. 3.3 Profundidad de carbonatación en concreto con microsilice en Misantla.

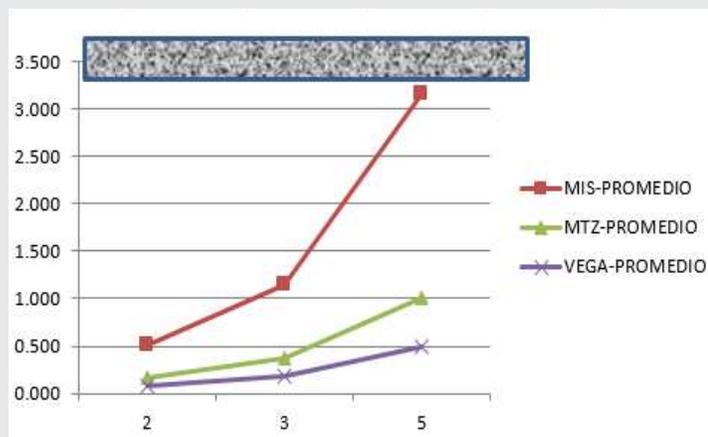
La tendencia es similar en los 3 medios, la muestra número 4 incrementa el pH con respecto a las primeras 2.

Las muestras de concreto con Microsilice en la mayoría de los casos presentan índices de carbonatación, además de que en el proceso de la aplicación de la Fenolftaleína tardan más que las de control en colorearse para su estudio.

En la gráfica 3. Se puede distinguir un caso de reactivación del pH en el tercer mes, lo cual hasta el momento ha sido el dato de mayor relevancia, puesto que se encuentran en una zona donde los Cloruros se integran a la matriz del concreto en grandes cantidades.

Hasta el cuarto mes con relación a los concretos modificados con Microsilice en Martínez de la Torre se observa una tendencia de aceleración en la carbo-

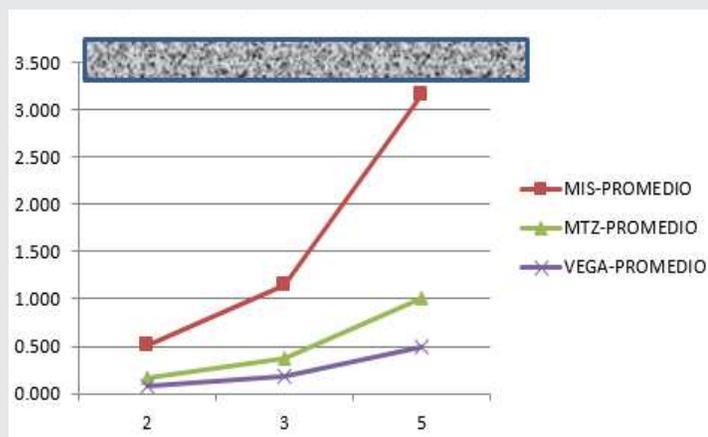
natación, en donde de acuerdo a la tendencia de la gráfica es poco probable que se reactiven los índices de pH.



Gráfica 3.4 Profundidad de carbonatación en concreto con microsilice en Vega de Alatorre.



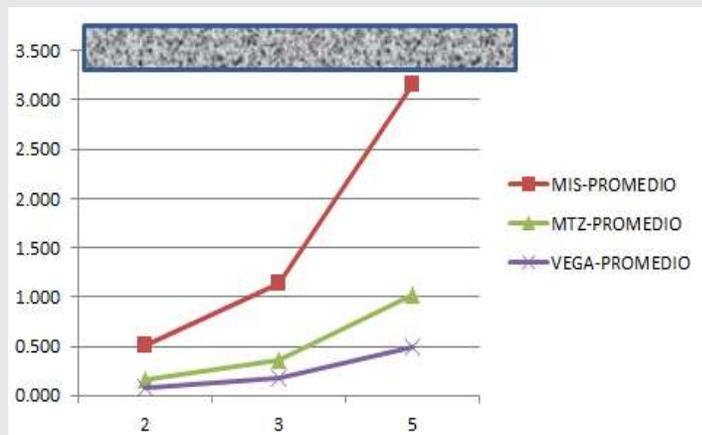
Imagen 3.5. Pruebas de carbonatación en mezcla con Microsilice de Vega de Alatorre mes de enero.



Gráfica 3.5 Profundidad de carbonatación en concret con microsilice en Martínez de la Torre.



Imagen 3.6. Prueba de carbonatación en mezcla con Microsilice de Martínez de la Torre mes de enero. edio Control Vs Microsilice.



Gráfica 3.6 Resultados promedio Control Vs Microsilice.

CONCLUSIONES

Hasta el momento la investigación se encuentra cerca del 50% de su estudio, la presencia de carbonatación es notoria sobre todo para la zona de Vega de Alatorre, donde los índices son elevados, tanto en mezclas de control, así como en las mezclas sustituidas con Microsilice en 20%.

No obstante de acuerdo a los promedios de profundidad de carbonatación Martínez de la Torre concentra más sus índices y son más elevados, la cantidad de tráfico vehicular puede ser un aspecto significativo para este dato.

En las mediciones del quinto mes se podrán sustentar aún más dichas evidencias, ya que con la ayuda de una Microscopía electrónica de Barrido (SEM) se podrá distinguir las partículas de la matriz y la comparación de los elementos carbonatados a los no carbonatados.

La gráfica 3. Enfatiza la mezcla que hasta el momento poco ha cambiado en base a su pH, tratándose de un concreto convencional de la ciudad de Misantla, los aspectos son múltiples, pero la casi nula existencia de Cloruros y climas de altas temperaturas pueden ayudar a concretos del tipo ordinario. Cabe resaltar que los resultados no son definitivos. Por último se puede notar que el uso de la microsilice en concretos ubicados en la ciudad de Martínez de la Torre, hasta el momento no repercuten de forma positiva.

En la presente investigación se espera aun que la puzolana actue de forma positiva en las muestras faltantes, sin embargo, el aporte a dichas ciudades de total relevancia ya que jamas se habia desarrollado un estudio de Fenolftaleina en estructuras de la zona, y de esta forma se contribuye tanto a la investigación científica, asi como a la industria de la construcción que ya puede tener un panorama real en la proyección de sus estructuras de concreto.

REFERENCIAS

1. - Guo Huadong. *Space observation and cognition of global change sensitive factors. Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2010, 25(2):167-169 (in Chinese).

2. - Mehta, P. K. (2010). "Sustainable Cements and Concrete for the Climate Change Era – A Review". *Proc. 2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. Ancona, Italy, June 28-30.

3.- Adamec1 K., Palmer,R. N., Polebitski A. et al. *Climate Change Evaluation of Climate Change Impacts to Reservoir Operations within the Connecticut River Basin[C]*. *World Environmental and Water Resources Congress 2010: Challenges of Change*: 92-100.

4. A. Fernández-Jiménez, A. Palomo, C. López-Hombrados "Precast Elements Made of Alkali-Activated Fly Ash. Concrete" *ACI Mater. Journal* 103 No. 2 (2006) p.p. 106-112.

5. A. Fernández-Jiménez, A. Palomo "Factors affecting early compressive strength of alkali activated fly ash (OPC-free) concrete" *Materiales de Construcción* 57 No. 287 (2007) p.p. 7-22

6. Programa Ibeoramericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, *Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado*, pag. 208, editorial, lugar de impresión, (año de publicación).

7. Balaguera Reina, Diego Armando; Porras Arevalo, Blanca Elizabteh, *Evaluación del efecto de la carbonación sobre el coeficiente de difusión del ion cloruro en el concreto*; Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisico-Químicas, Bucaramanga, 2009.

8. Stanish, K.D; Hooton, R.D.; Thomas, M.D.A. *Thesting the Chloride Penetration Resistance of Concret: a Literature Rewiew*. Department of Civil Engineering, University of Toronto, 2000.

9. S. B. Gea; P. D. Chacón, *Evaluación de la acción del fuego en una estructura de hormigón armado mediante XRD, SEM y Espectroscopía infrarroja*, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta. Av. Bolivia 5150, Salta, Argentina, 2013.



Tierra,
Medio Ambiente
y Energía

Ingeniantes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla