

ESTUDIO FÍSICO MECÁNICO DE CONCRETOS SUSTITUIDOS CON POLVO DE SÍLICE EXPUESTOS EN AMBIENTE AGRESIVO SIMULADO

MECHANICAL PHYSICAL STUDY OF CONCRETE SUBSTITUTES WITH SILICA POWDER EXPOSED IN SIMULATED AGGRESSIVE ENVIRONMENT

Alejandro Giménez¹, María Alice Olavarrieta², Luisana Silva³, Hernán Gallegos⁴

Recibido 14/02/2018; Aprobado: 23/05/2018

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como propósito ensayar probetas cilíndricas normalizadas, para evaluar sus propiedades en un ambiente de exposición simulado por inmersión en solución de NaCl al 3%. Se realizó la evaluación física y mecánica en probetas cilíndricas armadas de 30 cm de alto y 15 cm de diámetro, de concretos elaborados con sustitución parcial del cemento por dosis sílice en 10% y 15% relaciones agua cemento de 0,45 y 0,65 y resistencia de diseño de 250 Kgf/cm². En un período de 5 meses se analizó la influencia de las sustituciones de polvo sílice en las mezclas de concreto con respecto a las mezclas patrón, obteniendo un aumento en la resistencia mecánica con respecto a la de diseño, en la relación a/c 0,45, para la relación a/c 0,65 alcanzó valores aceptables en cuanto a las mezclas sustituidas con respecto a la resistencia mecánica comparada con la de diseño, en cuanto a los ensayos de porosidad y absorción capilar no fueron satisfactorios para ninguna relación a/c probablemente por la falta de curado previo a la exposición.

Palabras clave: ambiente agresivo; concreto sustituido; polvo de sílice; resistencia a la compresión

¹Alejandro Giménez: Docente Investigador en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela. Ingeniero Civil. Correo: agimenez@ucla.edu.ve

²María Alice Olavarrieta: Docente Investigadora en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela. Ingeniero Civil. Correo: mariaalice@ucla.edu.ve

³Luisana Silva: Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela. Ingeniero Civil. Correo: luicrys@gmail.com

⁴Hernán Gallegos: Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela. Ingeniero Civil. Correo: hergal.89@gmail.com

ABSTRACT

The present research resulted in a standardized laboratory test for the evaluation of properties in a simulated exposure environment by immersion in 3% NaCl solution. The physical and mechanical evaluation was performed on reinforced cylindrical specimens of 30 cm high and 15 cm in diameter, made of concrete with partial replacement of the cement by dose silica in 10% and 15% water cement ratio of 0,45 and 0,65 and design strength of 250 Kgf/cm². Settlement tests, porosity, capillary absorption and mechanical resistance were performed. In a period of 5 months, the influence of the substitutions of silica dust in the concrete mixtures with respect to the standard mixtures was analyzed, obtaining an increase in the mechanical resistance with respect to the design, in the ratio a/c 0,45, for the a/c ratio 0,65 reached acceptable values for the substituted mixtures with respect to the mechanical strength compared with the design, as for the porosity and capillary absorption tests were not satisfactory for any relation to a/c probably due to lack of curing prior to exposure.

Keywords: *aggressive environment; substituted concrete; silica powder; compression resistance*

1. INTRODUCCIÓN

La sustentabilidad de las obras civiles persigue equilibrar el ámbito ecológico, económico y social para promover el desarrollo de la sociedad. Así como, la calidad de las construcciones está ligada íntimamente con el buen uso de los recursos y una buena dirección técnica en todas las etapas de la construcción, esta circunstancia ha traído como consecuencia la búsqueda del mejoramiento tanto de los procesos constructivos, como de las propiedades de los materiales utilizados en las estructuras, para de esta manera mejorar la vida útil de las obras, garantizando así un desempeño óptimo. Por tanto, esta búsqueda de conocimientos persigue investigar a fondo las causas, mecanismos y origen del deterioro de las construcciones contemporáneas para prevenir las fallas existentes que podrían presentarse bien sea en las etapas de proyecto, en el proceso de construcción, o en la de uso y mantenimiento de las mismas.

Es por esta razón que el estudio de materiales alternativos que ofrezcan optimizar el concreto como material principal de las obras, se ha estado desarrollando en el Decanato de Ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) desde hace más de 15 años, enmarcados en la línea de investigación registrada en el CDCHT de la UCLA, 004-IC-2015 [1]. Se han venido llevando a cabo diversas investigaciones acerca de la dosis óptima de sustitución de sílice en polvo o en arena, toda vez que éste es un material de desecho industrial en Barquisimeto, y del cual se conoce el mejoramiento en las propiedades físicas y mecánicas para el concreto. Partiendo de ello, se incorporó adicionalmente la variable ambiente de manera acelerada y agresiva, para establecer si dicho material es conveniente en obras ubicadas en ambientes naturales con altos contenidos de cloruros, lo cual se logró en un

trabajo especial de grado [2].

2. DESARROLLO

Una manera de hacer aportes a la tecnología de materiales, es ensayar dosis de compuestos alternativos obtenidos de procesos de desechos en sub-procesos industriales, para incorporarlos en la mezcla de concreto, sometiéndolos a condiciones ambientales aceleradas de forma que, sea posible lograr el uso de materiales no tradicionales y que sean durables en el tiempo. En el caso de ambientes agresivos por cloruros, el efecto más notable es el de la corrosión, que es una reacción electroquímica destructiva del acero de refuerzo, desarrollada en edificaciones que, debido a su ubicación, están expuestas a los efectos de ambientes marinos.

El impacto de la corrosión en épocas pasadas no era muy considerado al momento del diseño de las estructuras, hasta que surgió en el caso de Venezuela la Norma Técnica Fondonorma NTF 4015-2012 Concreto Durabilidad [3], por ello se hace cada vez más necesario indagar sobre los problemas causados por la corrosión que puedan presentar éstas estructuras hoy en día y como se pueden mitigar. Por lo que el objetivo de esta investigación se enfocó en dos parámetros, uno físico y otro mecánico, que son fundamentales para garantizar que la mezcla de concreto sea durable tomando como base lo determinado en investigaciones desarrolladas por los autores [4], y lo que enmarcado por la norma citada.

El polvo de sílice es un sub producto industrial, que proviene del desecho de las arenas silíceas del silíceo metálico o ferro silicio en hornos de arco eléctrico. Luego de ser tamizadas en diferentes tamaños para ser comercializadas, quedan residuos en forma de polvo que no tiene ningún reuso en el proceso industrial. Según El Instituto Americano del Concreto (ACI) [5] este polvo de color gris claro a oscuro o en ocasiones gris azulado-verdoso, proviene también la reducción de cuarzo muy puro con carbón mineral en un horno de arco eléctrico durante la manufactura del silicio o de aleaciones de ferro.

La sílice asciende como vapor oxidado de los hornos a 2000°C, se enfría, condensa y recolecta en enormes bolsas de tela, se procesa para retirarle las impurezas y controlar su tamaño de las cuales más del 95% son menores a 1 μm . La micro sílice es un aditivo que reacciona en un ambiente húmedo con el hidróxido de calcio resultado de la hidratación del cemento, este se encarga de llenar los espacios vacíos entre el agregado grueso y entre las partículas de cemento. Este fenómeno es conocido como microfilling o microllenado. Así mismo, contribuye químicamente a causa del gran contenido de dióxido de silicio, es un

material puzolánico muy reactivo en el concreto [2]

El ambiente agresivo genera la disminución de la durabilidad del concreto armado. Es el tipo de ambiente urbano, marino o industrial, al que se exponen los elementos estructurales que definen por acciones físicas, mecánicas y químicas, lo que puede llegar a provocar su degradación como resultado de comportamientos estructurales distintos a los considerados dentro del análisis estructural [3]. Para definir las condiciones en las que se llevó a cabo la presente investigación, se consideró el ambiente marino simulado a través de la exposición semi-sumergida de probetas cilíndricas en solución salina, con lo cual se garantiza aireación y humectación que acelera el proceso de desarrollo de alguna propiedad del material.

En un informe técnico presentado por [6], se reflejó el estudio del comportamiento debido a la corrosión, en la norma ASTM Tipo-I (ordinario cemento portland, OPC), y ASTM Tipo-V (cemento resistente al sulfato, SRC), evaluando el desempeño protector del concreto al sustituir 10% del cemento por microsílíce y exponiendo las muestras a 5% de solución de NaCl y agua de mar en forma de neblina, así como también por inmersión. Éstas pruebas de neblina fueron monitoreadas visualmente apreciándose las condiciones de las barras de refuerzo después de 3, 9, 18 y 24 meses de exposición y observando que la adición de microsílíce parecía ser eficaz en la reducción de la corrosión en las barras de refuerzo, ya que provoca una disminución drástica en la permeabilidad de ion cloruro en OPC, como en mezclas de concretos que contienen SRC.

Por otra parte, se observó que el acero para el cemento OPC mezclado con microsílíce se encontró más corroído en el ensayo de inmersión en comparación con el 5% en solución de NaCl al medio ambiente. Así mismo, se pudo concluir que la mezcla aumenta la resistencia a la compresión un 10% más en las probetas con cemento SRC en comparación al concreto que contiene cemento OPC [6]. Es conocido que para construir estructuras de concreto duraderas en ambientes marinos, es necesario que la permeabilidad sea muy baja, en [8] se exponen los efectos de la sustitución del cemento con cenizas volantes o escoria con y sin humo de sílice.

En las propiedades resistencia del concreto se observó que la sustitución ayudó a soportar la fuerza de compresión en todas las edades, en ensayos de concretos endurecido de hasta la edad de 90 días. Por lo tanto, cuando se utilizaron las combinaciones, se detectó el comportamiento de las mezclas en las diversas edades, llegando a la conclusión que al reemplazar 40% de escoria por el humo de sílice dio como resultado aumentos en la resistencia a la compresión, aunque ésta a largo plazo estuvo marginalmente por debajo de la resistencia del concreto patrón. Por otro lado, se muestra que al sustituir el 40% de cenizas

volantes por el humo de sílice después de 7 días, superó la resistencia de la mezcla del concreto patrón en ensayos tanto a compresión como a tracción [6].

De igual manera, en [9] se estudió el rendimiento de mezclas de cemento Portland que contienen humo de sílice mezclado con agua-cal, el cual incluyó tres mezclas: pasta de cemento, morteros de cemento y mezcla de concreto. En el que observaron el desarrollo de la resistencia a la compresión, la actividad del humo de sílice en ocho mezclas con porcentajes de 0%, 10%, 20% y 30% de sustitución por cemento, así como el tiempo en que la barra de acero llega a corroerse.

Por consiguiente, la investigación dio como resultado que la resistencia a compresión estudiando dos grupos, el primero con agua y el segundo agua con cal, ambos grupos conteniendo el mismo porcentaje de sílice, observaron cómo se redujeron los valores de resistencia a la compresión en las mezclas del primer grupo en comparación con las del segundo, donde registraron un 33,2% de aumento para la mezcla con agua de cal con un 30% de sustitución de humo de sílice por cemento a los 60 días de estudio sobre la muestra de control. Así mismo, demostraron que la combinación de humo de sílice y agua de cal hacen que la microestructura se vuelva más densa y permeable, en consecuencia registraron significativas demoras en la aparición de la primera grieta, produciendo una mejora en la resistencia a la corrosión y una baja pérdida de masa en la barra de acero [9].

En otra investigación realizada, se tenía como objetivo evaluar la durabilidad de un conjunto de muestras, constituida por 24 especímenes (cuatro por cada tipo de mezcla) elaborados bajo una relación a/c de 0,45 y 0,65 con porcentajes de sustitución del 0%, 10% y 15% para cada relación a/c y siguiendo los lineamientos establecidos en el Proyecto Duracon [10]. El tiempo de exposición y rociado de las mismas fue de 105 días, realizando durante ese lapso mediciones periódicas de potenciales de corrosión para los diferentes espesores de recubrimiento, con la finalidad de determinar el estado del acero de refuerzo, resistividad eléctrica y velocidad de corrosión.

También evaluaron las propiedades físico-mecánica de cada mezcla de concreto elaboradas en estado endurecido por medio de los ensayos de resistencia a la compresión, porosidad y absorción capilar. Una vez analizado los resultados determinaron que las mezclas elaboradas con 10% y 15% de sustitución para ambas relaciones a/c resultan de durabilidad inadecuada, recomendando realizar estudios posteriores a mezclas elaboradas con relaciones a/c inferiores a 0,45 bajo los mismos porcentajes de sustitución por ser esa misma la que mostro un mejor desempeño al ser expuesta a este tipo de ambiente [10].

Otro aporte, cuya finalidad era la evaluación física, mecánica y electroquímica de concretos elaborados con sustitución parcial de cemento por dosis de polvo de sílice en un 10 y 15% con relación agua cemento de 0,45 y 0,65, para una resistencia de diseño de 250 Kgf/ cm², se llevó a cabo en un ambiente marino simulado con una solución de NaCl al 3%, donde las probetas estudiadas fueron semi-sumergidas en dicha solución. Esto con el objeto de estudiar la durabilidad de las probetas [2].

Con los resultados obtenidos, determinaron que el polvo de sílice fue eficiente en cuanto a la disminución de la velocidad de corrosión y el potencial eléctrico. Por otra parte se obtuvo un aumento de la resistencia en las mezclas con relación agua cemento de 0,45. Para las mezclas con relación agua cemento de 0,65 se encontraron valores favorables en lo que refiere a las resistencias, sin embargo, no tuvo ningún efecto beneficioso en cuanto a la velocidad de corrosión. En ninguna de las mezclas con sílice estudiadas en su trabajo, proporcionó resultados satisfactorios en cuanto a los ensayos físicos evaluados de porosidad y absorción

3. METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación tuvo como propósito ensayar probetas cilíndricas normalizadas, para evaluar sus propiedades físicas y mecánicas en un ambiente de exposición simulado por inmersión en solución de NaCl al 3%. En referencia al tipo de investigación en el presente trabajo es experimental, descriptiva y de campo [11], ya que se realizó una recolección de muestras de agregados finos y gruesos para de esta manera determinar sus características, y entender su naturaleza.

Considerando la necesidad del presente estudio, la población representativa seleccionada fue de mezclas de concreto con sustitución parcial de cemento por polvo de sílice, sometiéndola a diferentes ensayos en laboratorio, para ser empleada como material alternativo en la construcción. Para la muestra se tomó una cantidad de probetas representando el 100% del estudio, con una relación agua/cemento determinada; posteriormente fueron sometidas a ensayos de laboratorio, distribuyéndose como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Cantidad de probetas patrón y probetas con sustitución para distintas relaciones a/c

Mezclas	Patrón	Sustitución 10%	Sustitución 15%	Ensayo de Resistencia
0,45	4	4	4	9
0,65	4	4	4	9
Total de probetas	8	8	8	18

Al realizar el diseño de mezcla en función de la humedad de los agregados y las sustituciones

de la arena sílice, la distribución de las partes quedó como se aprecia en la Tabla 2, en la que la mezcla patrón fue la de concreto sin adiciones de polvo de sílice como sustituto del cemento, es decir la pasta convencional de concreto: agua, arena, piedra, y cemento.

Tabla 2. Dosificación de mezclas

Elemento	250Kgf/cm ²	250Kgf/cm ²	250Kgf/cm ²	250Kgf/cm ²	250Kgf/cm ²	250Kgf/cm ²
	Patrón a/c 0,45	a/c 0,45 Sust 10%	a/c 0,45 Sust 15%	Patrón a/c 0,65	a/c 0,65 Sust 10%	a/c 0,65 Sust 15%
Cemento (Kgf)	26,85	24,17	22,82	19,6	17,64	16,66
Agua (Kgf)	12,08	12,08	12,08	12,74	12,74	12,74
Agr, fino (Kgf)	46,98	46,98	46,98	49,42	49,42	49,42
Agr, grueso (Kgf)	46,98	46,98	46,98	49,42	49,42	49,42
Aditivo(ml)	-	282	282	-	-	-
Sílice (Kgf)	-	2,68	4,03	-	1,96	2,94

3.1. Elaboración de Probetas

Se elaboraron probetas cilíndricas normalizadas de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto, y cilíndricas de 4" de diámetro por 2" de alto. En la tabla 3 se aprecia la distribución de la muestra por ensayo y por tipo de mezcla.

Tabla 3. Distribución de la muestra elaborada para ensayos físicos y mecánicos

Tipo de probeta	Relación a/c 0,45		Tipo de ensayo
Cilíndrica 30x15 cm	Mezcla Patrón	Sustitución de 10% de polvo de sílice	Resistencia a la compresión a
	3	3	
Cilíndrica de 4"x2"	4	4	Porosidad Efectiva y aparente
	Relación a/c 0,65		
Cilíndrica 30x15 cm	Mezcla Patrón	Sustitución de 10% de polvo de sílice	Resistencia a la compresión
	3	3	
Cilíndrica de 4"x2"	4	4	Porosidad Efectiva y aparente

3.2. Ensayos Realizados

Los ensayos físicos mecánicos realizados fueron: a) asentamiento, b) resistencia a los 90 días, c) porosidad aparente y d) porosidad efectiva.

Método de ensayo para determinar la porosidad de concretos como medida de su compactación

La realización del ensayo de porosidad aparente proporcionó a la investigación el porcentaje de espacios vacíos dentro de una mezcla de concreto endurecida [12]. Para esto, se elaboraron probetas cilíndricas de dimensiones 4" de diámetro y 2" de altura, considerándose el peso de

las probetas saturada con superficie seca y de las probetas sumergidas, registrándose mediante una balanza hidrostática. Luego, las muestras se secaron en el horno a una temperatura de 105°C hasta obtener peso constante y se registraron los mismos. La porosidad se expresó de manera porcentual calculándose a partir de la siguiente expresión matemática:

$$\% \text{ de Porosidad} = \frac{W_{\text{saturado}} - W_{105^{\circ}\text{C}}}{W_{\text{saturado}} - W_{\text{sumergido}}} * 100 \quad (1)$$

Criterios de evaluación según el “Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado” [13]:

- Porosidades $\leq 10\%$, indican un concreto de buena calidad y compacto.
- Porosidades entre 10 y 15 % indican un concreto de moderada calidad, pero permeable y no adecuado para ambientes agresivos.
- Porosidades $> 15\%$ indican un concreto de mala calidad, muy permeable e inadecuado para proteger a la armadura.

Método de ensayo para determinar la porosidad efectiva según la absorción capilar

El objetivo general de este ensayo es determinar la capacidad de absorción de agua del concreto por acción de la capilaridad de sus poros, como lo establece la ASTM C642 [13], realizándose con los mismos elementos utilizados en el anterior de porosidad. Luego de secarlos en el horno a una temperatura de 105°C hasta obtener peso constante se enfriaron por desecación. Se prepararon las probetas, colocándoles una fina capa de parafina sobre su perímetro, para evitar la absorción de agua por sus laterales; se registró el peso inicial, y luego se colocaron sobre una esponja húmeda en el interior de una cubeta con fondo plano teniendo cuidado de que el agua en el interior de la cubeta llegase hasta 3,00 mm por encima de la parte inferior de la probeta de ensayo, cerrándose el recipiente para evitar posible evaporación.

El registro de los pesos se realizó según el “Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado” [13] en intervalos de tiempos 1/12, 1/6, 1/4, 1/2, 1, 2, 3, 4, 6, 24, 48 horas y así sucesivamente hasta llegar al peso constante. Desde allí se podrán determinar los demás parámetros para obtener la absorción capilar.

Los coeficientes se calcularon en base a las siguientes ecuaciones:

$$m = \frac{t}{z^2} \left(\frac{s}{m^2} \right) \quad (2)$$

Donde z representa la profundidad de penetración del agua al tiempo t.

$$k = \frac{(Wt - Wo)/A}{\sqrt{t}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}^{\frac{1}{2}}} \right) \quad \varepsilon e = \frac{k\sqrt{t}}{1000} (\%) \quad (3)$$

El coeficiente puede ser evaluado como la pendiente de la región lineal del gráfico $(Wt - Wo)/A$ en función de \sqrt{t} . El coeficiente m puede ser determinado calculando el tiempo requerido para que el agua ascienda a la cara superior de la probeta, es decir, cuando $Z=H$

$$S = \frac{1}{\sqrt{t}} \left(\frac{\text{mm}}{\text{h}^{\frac{1}{2}}} \right) \text{ o } (\text{m/s}^{1/2}) \quad (4)$$

3.3. Ensayos Realizados

Los criterios de evaluación según el Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado [12] son:

Para espesores de recubrimientos de 30 mm en ambientes severos se recomiendan concretos con absorción capilar $S \leq 3 \text{ mm/h}^{\frac{1}{2}}$ ($5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^{1/2}$); En medios menos severos puede ser hasta de $6 \text{ mm/h}^{\frac{1}{2}}$ ($10^{-4} \text{ m/s}^{1/2}$); si el espesor de la cubierta se incrementa, la absorción capilar puede modificarse proporcionalmente.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Asentamiento

El ensayo de trabajabilidad establecido por la norma Covenin 339:1994 [14], se puede visualizar en los resultados de la Figura 1. Para la relación a/c 0,65 las mezclas con sustitución parcial del cemento por polvo de sílice del 15%, tuvieron un asentamiento menor en comparación con las mezclas de sustitución 10%.

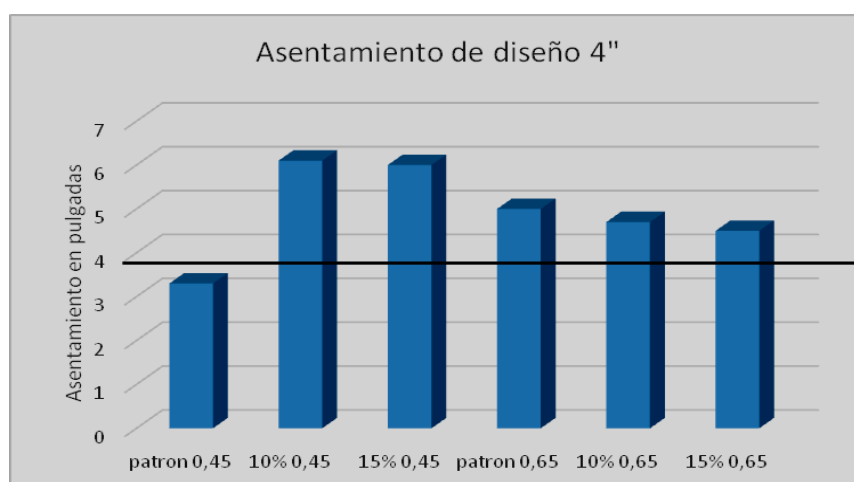


Figura 1. Asentamiento promedio de las probetas patrón y sustituidas con ambas relaciones a/c expresado en pulgadas (Kg/cm^2)

De igual manera, en los especímenes de la relación a/c 0,45 se mantuvo la misma tendencia, es decir, que a medida que aumenta el porcentaje de polvo la trabajabilidad disminuye; esto se debe a la absorción por parte de la sílice. Aunado a esto, se tuvo un módulo de finura de 3,30 lo que indica que se trata de una arena ligeramente gruesa, lo que contribuye a que la mezcla tenga una baja plasticidad y manejabilidad, por tal motivo se decidió utilizar un aditivo súper-plastificante para mejorar la trabajabilidad de aquellas mezclas con relación a/c 0,45 y sustitución parcial de cemento por polvo de sílice.

El súper-plastificante contribuyó a que la mezcla sea mucho más fluida dando como resultado asentamientos mayores a los 4" en las probetas con sustitución del 10% y 15%, cabe destacar que el porcentaje de aditivo agregado fue del 1,05% del peso del cemento en cada mezcla, según la carta técnica del mismo la cual sugiere un porcentaje de sustitución comprendido 0,6-1,5% del peso del aglomerante. Así mismo, la adición de éste súper-plastificante añadió un costo adicional considerable que debe ser tomado en cuenta.

4.2. Resistencia a la compresión

La determinación de la resistencia a compresión del concreto se efectuó mediante la utilización de una prensa universal hidráulica, mediante la aplicación de una carga axial la cual produjo la ruptura de las probetas. Con referencia a los ensayos a compresión, estos fueron realizados a los 90 días de curado, permitiendo así, que la sílice desarrollara su capacidad portante. A continuación, en la Figura 2 se muestran los resultados promediados de los ensayos para una resistencia de diseño 250 Kgf/cm² a los 90 días, para todos los casos de sustitución y mezclas patrones.

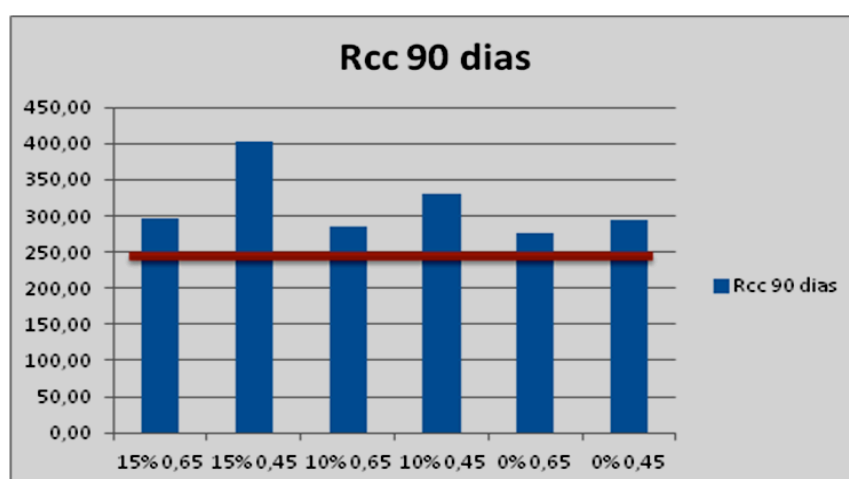


Figura 2. Resistencia a la compresión promedio de probetas patrón y sustituidas, con relaciones a/c (Kgf/cm²)

Los resultados obtenidos de la resistencia a compresión de las mezclas patrón con relación a/c 0,45 superan en un 17,9% a la resistencia de diseño la cual se estableció en 250 Kgf/cm². De

la misma manera, las mezclas patrón con a/c 0,65 superaron en un 10,7% a la misma. Comprobando así, que las probetas reflejaron resultados aceptables según la norma COVENIN 338:02, “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto” [15].

En cuanto a la resistencia a compresión de las mezclas con sustitución del 10% del peso del cemento por polvo sílice, y con a/c 0,45 superan en un 32,5% a la resistencia de diseño mencionada anteriormente. Las mezclas con sustitución del 10% y con a/c 0,65 superaron en un 13,7% a la misma. La resistencia a compresión de las mezclas con sustitución del 15% con a/c 0,65, superaron en un 18,36% a la resistencia de diseño, por su parte se especifica que las mezclas con sustitución del 15% con a/c 0,45 superan en un 60,8% la resistencia de diseño, la cual como se había mencionado anteriormente, se estableció en 250 Kgf/cm², ubicándose de esta manera en 401,91 Kgf/cm² mejorando considerablemente y convirtiéndose de esta manera en un concreto de alta resistencia, En efecto se determinó que a medida que el porcentaje de sustitución aumenta de un 10% a un 15%, también lo hace la resistencia mecánica del concreto.

4.3. Porosidad aparente

Los resultados de porosidad aparente o total mostraron un concreto de durabilidad inadecuada para todas las probetas con relaciones de a/c 0,65 y patrón relación a/c 0,45; para las probetas elaboradas con relación a/c 0,45 sustituidas un 10% y 15% se observa un concreto de calidad moderada según la referencia [12]. Para la primera relación de a/c 0,45 se obtuvo un porcentaje del 14%, y para la segunda relación fue de un 15%. Cabe destacar que las probetas para el ensayo no se curaron, pues se quiso recrear las condiciones más desfavorables y reales en las construcciones venezolanas (ver Figura 3).

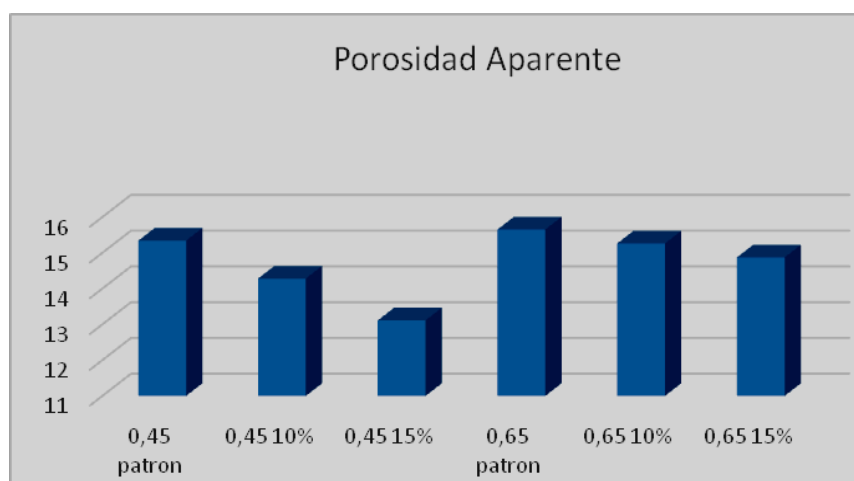


Figura 3. Porosidad aparente promedio de las probetas patrón y sustituidas y con ambas relaciones a/c

4.4. Porosidad efectiva

En la Figura 4 se aprecian los resultados de porosidad efectiva, muestran un concreto de durabilidad inadecuada para ambas relaciones de a/c; para la primera relación de a/c 0,65 se obtuvo un porcentaje promedio del 18%, el cual es mayor en un orden de magnitud que las probetas de la segunda relación a/c 0,45 el cual fue de un 16,8%.

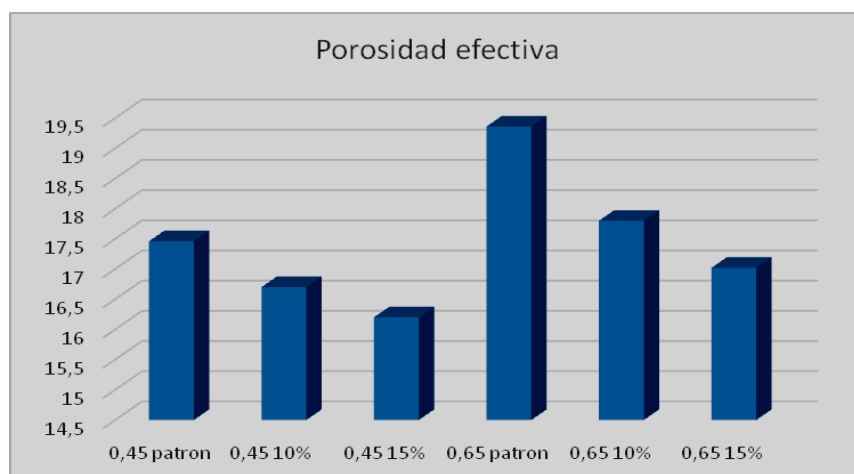


Figura 4. Porosidad efectiva promedio de las probetas patrón y sustituidas y con ambas relaciones a/c

Al igual que los resultados de absorción capilar, para una relación a/c 0,65 con un promedio de $4,89^{-4} \text{m/s}^{1/2}$ en comparación a las probetas con relación a/c 0,45 con un promedio de $1,66^{-4} \text{m/s}^{1/2}$, resultados que muestran un concreto de durabilidad inadecuada según las referencias [121] y [14], puesto que para espesores de recubrimiento de 30,00 mm en ambientes severos recomienda concretos con absorción capilar $S \leq 3 \text{ mm/h}^2$ ($5,10^{-5} \text{m/s}^{1/2}$), pero es necesario acotar que los ejemplares estudiados no fueron curados.

5. CONCLUSIONES

Los resultados de la resistencia a compresión de las probetas con sustitución, obtuvieron mayores valores en comparación a las probetas patrón. Así mismo, los valores de resistencia de los especímenes con relación a/c 0,45 sustituidos consiguieron ser los máximos valores logrados en el experimento, con un aumento de la resistencia de hasta un 60,8% con respecto a la resistencia de diseño, convirtiéndose de esta manera en un concreto de alta resistencia con un valor promedio de 401 Kg/cm^2 .

En referencia a la porosidad aparente, se determinó que a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de polvo sílice por cemento disminuyen sus valores, sin embargo, para todos los casos sigue siendo inadecuada según el criterio de durabilidad. Tanto los valores absorción capilar como los de porosidad efectiva, se redujeron a medida que aumentaron los porcentajes

de sustitución de cemento por polvo sílice, pero por durabilidad no cumplen con los parámetros requeridos, por lo que la sustitución no hizo aportes para ello. En cuanto a la trabajabilidad de las mezclas, el aditivo plastificante es lo que realmente produjo la mejora de esta propiedad ya que sin ese aditivo la mezcla se hubiese tronado muy seca y con gran dificultad para mezclas; en ese sentido, su uso permitió implementar la adición y trabajar con ella

5. RECONOCIMIENTO

Este trabajo es producto del proyecto de investigación titulado: “Evaluación de mezclas de concreto con sustitución parcial del cemento y del agregado fino. Tecnología alternativa durable y sustentable”, registrado en El Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA), bajo el código 004-IC-2015

6. REFERENCIAS

- [1] M. A. Olavarrieta, A. J. Giménez, M. Y. Dikdan, H. Bolognini, «Evaluación de mezclas de concreto con sustitución parcial del cemento y del agregado fino. Tecnología alternativa durable y sustentable», Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Decanato de Ingeniería Civil, Venezuela, CDCHT Código N° 004-IC-2015, 2015
- [2] L. Escalona, H. Gallegos, M. A. Olavarrieta, «Evaluación de la durabilidad de concretos sustituidos por dosis de polvo de sílice expuestos en ambiente marino simulado», Trabajo Especial de Grado, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Decanato de Ingeniería Civil, Venezuela, 2017
- [3] Fondonorma, «NORMA VENEZOLANA COVENIN 1618-1998 NTF 4015-2012 Concreto Durabilidad», Venezuela, 2012
- [4] M. A. Olavarrieta, E. Anzola, «Aseguramiento de la Calidad, para construir y mantener Edificaciones Habitacionales de Concreto Armado, expuestas en ambientes marinos» Trabajo Especial de Grado, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Decanato de Ingeniería Civil, Venezuela, 2007
- [5] American Concrete Institute, «A.C.I. 234R-06: Guide for the Use of Silica Fume in Concrete» (Reapproved 2012), EUA, 2012
- [6] A. Nausha, U. Anees Malik, A. Shahreer, F. S. Mujahed, «Corrosion Protection Performance of Microsilica Added Concretes in NaCl and Seawater Environments» Research & Development Center, Saline Water Conversion Corporation, EUA, 1999
- [7] American Society of Testing Materials (A.S.T.M.), «Normas para el cemento Portland (C150 - 05)» 2007
- [8] R. S. Ravindrarajah, A. S. Khan, M. Pathmasiri, «Properties of high-strength high-performance concrete for marine environment» Proceedings of the International Conference on Concrete in Marine Environment, Hanoi, Vietnam, 2002
- [9] M. Farouk, «Performance of Portland cement mixes containing silica fume and mixed with lime-water» HBRC Journal, V 10, (3), p.p. 247-257, 2014
- [10] G. Forero, N. Meléndez, M. A. Olavarrieta, H. Bolognini, «Evaluación de la

- durabilidad del concreto con sustitución parcial del cemento por polvo de sílice en ambiente acelerado» Trabajo Especial de Grado. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Decanato de Ingeniería Civil, Venezuela, 2016
- [11] R. Hernández Sampieri, C. Collado, P. Lucio, «Metodología de la Investigación» ISBN 968-422-931-3McGraw Hill Interamericana de México, 1991
- [12] British Standart Institution: BS «Methods of testing concrete: Method for determination of water absorption», BS 1881. Pat 122, 1983
- [13] O. Troconis, A. Romero, C. Andrade, P. Helene y I. Díaz, «Durabilidad de la Armadura, Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado» DURAR. Red Temática XV.B., CYTED ISBN 980-296-541-3. Subprograma XV, Corrosión: Impacto Ambiental sobre Materiales, Maracaibo, Venezuela, 1997
- [14] ASTM C642-97, «Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete», ASTM International, West Conshohocken, PA, 1997
- [15] Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN 339:1994, «Método para la medición del Asentamiento con el Cono de Abrams» Fondonorma, Caracas Venezuela, 1994