

Análisis de imágenes del concreto permeable con agregados reciclados y humo de sílice; estudio experimental de sus propiedades físicas-mecánicas.

Chinchillas-Chinchillas, M.J.^{1*}, Corral-Higuera, R.¹, Arredondo-Rea, S.P.¹, Gómez-Soberón, J.M.².

¹Unidad Regional Norte, Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa, Fuente Poseidón prolongación Ángel flores S/N, Pte. Fracc. Las Fuentes, Los Mochis, Sinaloa, México.

² Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Construcciones Arquitectónicas II, Avenida Gregorio Marañón 44-50, Z.C. 08028, Barcelona, España.

*E-mail autor responsable: chinchillas010@hotmail.com

RESUMEN

Inyectar la mayor cantidad de agua al subsuelo es de gran importancia, ya que cuando el nivel del manto freático está por debajo de su capacidad, provoca asentamientos en el terreno. Aunado a esto reciclar el concreto es una forma efectiva para eliminar escombros que contaminan nuestros suelos. Éste concreto contiene poros interconectados que permiten el paso del agua con facilidad. Se trabajó con agregados naturales (AN) y reciclados (AR) a 25 y 50% de sustitución. A los 28 días de curado se evaluó la permeabilidad, resistencia a la flexión y compresión, así como el efecto del humo de sílice en la porosidad de la interface entre la pasta y el agregado. El estudio de la porosidad fue por medio de análisis de imagen, obteniendo micrografías del Microscopio electrónico de barrido (SEM) y comparando la porosidad, el material anhidro y los productos de hidratación (PH). Los resultados están ligados entre sí, ya que el concreto menos permeable alcanzó resistencias mecánicas mayores e inversamente, por otra parte el uso de AR provocó una disminución en las propiedades mecánicas y la forma del agregado influyó, siendo el agregado triturado un material que se enlaza mejor entre la pasta y los otros agregados. El humo de sílice ayudó a disminuir la porosidad en la pasta, debido al tamaño de sus partículas.

Palabras claves: Concreto permeable, agregado reciclado, humo de sílice, zona de transición interfacial y permeabilidad.

ABSTRACT

Inject more water into the subsoil is very important, because when the ground water level is below capacity, causing settlements on the ground. Coupled with this, concrete recycling is an effective way to remove debris that pollute our soil. This concrete contains interconnected pores that allow water to pass easily. We worked with natural aggregates (NA) and recycled (AR) at 25 and 50% substitution. At 28 days of curing, the permeability, flexural strength and compression was evaluated, and the effect of silica fume in the porosity of the interface between the paste and aggregate. The study of the porosity was through image analysis, obtaining micrographs Scanning electron microscope (SEM) and comparing the porosity, the anhydrous material hydration products. The results are linked together as the less permeable concrete obtained mechanical strength greater and inversely, on the other hand the use of AR caused a decrease in mechanical properties and aggregate shape was influential, crushed aggregate material which is a better link

between the paste and the other aggregates. Silica fume helped reduce porosity in the dough due to the size of its particles.

Keywords: Pervious concrete, recycled aggregates, silica fume, interfacial transition zone, permeability.

1. INTRODUCCIÓN

La porosidad es uno de los factores principales que influyen en la resistencia y durabilidad del concreto; mientras más poroso sea el concreto menor es su resistencia mecánica y tendrá mayor vulnerabilidad ante la agresividad del medioambiente [1]. Utilizar agregados reciclados (AR) presenta una diferente microestructura con mayor porosidad y por lo tanto una menor resistencia mecánica [2,3]. Existen algunos modelos de la zona de transición interfacial (ZTI), unos asumen que la ZTI es un espacio uniforme con una alta porosidad y está localizada a 5-10 μ m de la superficie del agregado [4]. La porosidad de la pasta de cemento es la suma del volumen de los huecos capilares y de los huecos del gel, y representa el espacio no llenado por los componentes sólidos de la pasta de cemento hidratado [5]; depende principalmente de la relación agua/cemento (a/c) y del grado de hidratación alcanzado por el cemento. Los métodos utilizados en la cuantificación de la porosidad de la ZTI utilizan imágenes de electrones retrodispersados (BEI), en las cuales la imagen es segmentada a una escala de grises para obtener una imagen binaria de la zona de interés, en los cuales se toman en cuenta la porosidad, principalmente cuando el agregado está compuesto por varias fases, al igual en la pasta de cemento, los colores de algunos PH (como CSH, CH o etringita) son confundidos con porosidad. Este documento muestra un método utilizado por Martin Head y Nick Buenfeld en el 2006 [9], en donde propone la construcción de una máscara de agregado o de pasta, con la finalidad de separar dichos elementos y así poder localizar la porosidad de manera más exacta. Además se estudió la porosidad en los agregados, pasta, productos de hidratación y los materiales anhidros (materiales sin reaccionar). El concreto evaluado fue un concreto permeable, que se elaboro con una relación agua/material cementante (Cemento Portland [CP]) de 0.35, una relación de vacíos del 15%, se utilizaron agregados reciclados (AR) y 10% de Humo de Sílice (HS). Se elaboraron 4 mezclas, dos de ellas con AN (con 100% CP [GN-C] y otra con 90% CP-10% de HS [GN-HS]) y dos de ellas con una sustitución de 50% de AR (una con 100% CP [GR50-C] y otra con 90% CP-10% de HS [GR50-HS]). Estas probetas fueron evaluadas a resistencia a compresión y flexión a los 28 días de curado, siguiendo la norma ASTM C39 y ASTM C293 respectivamente y posteriormente a los 90 días se analizaron por microscopio electrónico de barrido (SEM) para obtener las imágenes necesarias para el análisis de imagen.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Microscopía electrónica de barrido.

En la Figura 1, se muestra la imagen de la muestra GR50-C, la cual está lista para la toma de imágenes en el SEM, el primer paso fue observar las zonas de interés, ya que ésta muestra contiene AR, el sitio a observar fue la ZTI entre el agregado nuevo y la pasta nueva (1), la ZTI

entre el agregado antiguo y la pasta antigua (2) y la ZTI entre la pasta nueva y pasta antigua (3) se observan en la figura 1.



Figura 1. Zonas de interés en la muestra de concreto permeable.

Se realizó en el SEM un mapeo de elementos para poder realizar las máscaras de los agregados y de la pasta y poder calcular la porosidad, el material anhidro y los PH. Los elementos más representativos del concreto se observan en la figura 2.

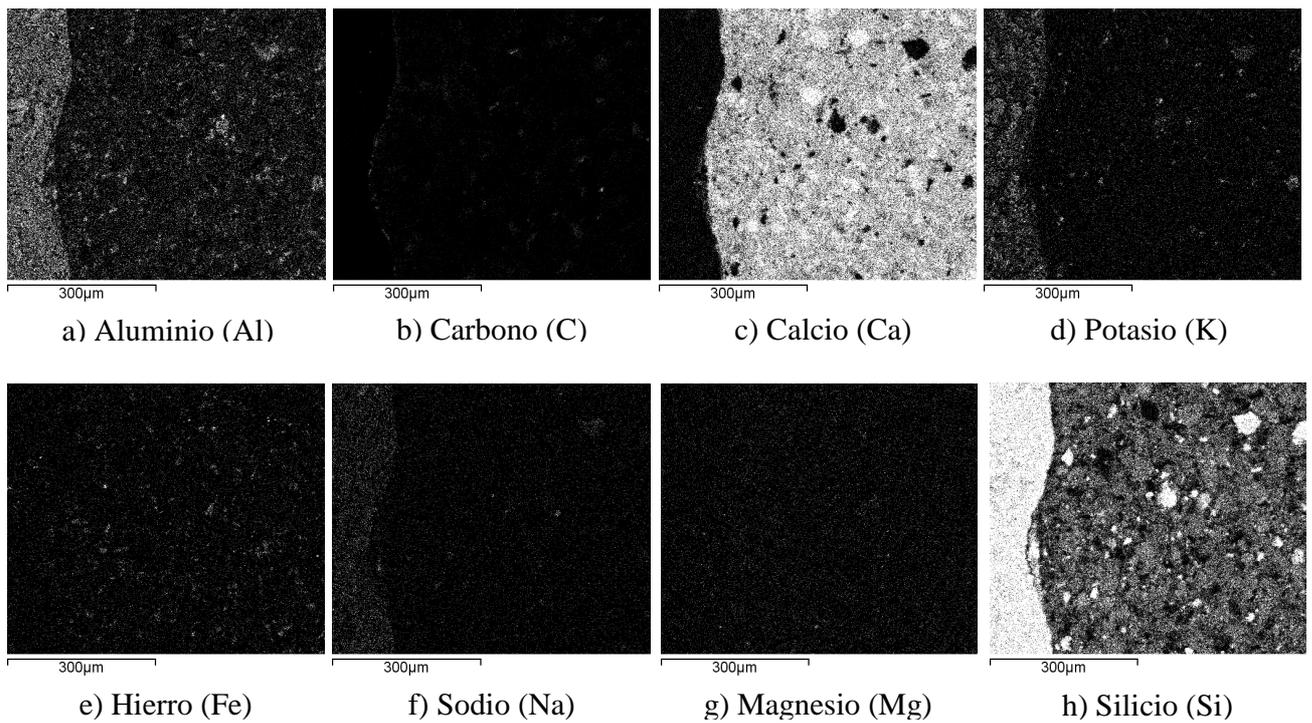


Figura 2. Imágenes EDX en modo retrodispersado de la muestra GR50-C, entre el agregado nuevo y la pasta nueva.

2.2 Análisis de imagen

Una vez identificados los elementos presentes en la imagen, se utilizaron aquellos que están en mayor proporción, con la finalidad de crear las máscaras de agregado y pasta, las imágenes de Si, Ca, K y Al son las que se encontraron en mayor porcentaje. El agregado está compuesto casi su totalidad de Si, K y Al. Con la ayuda del software NI Vision Assistant con la opción de operaciones morfológicas estas imágenes de Si, K y Al se pueden sumar para conformar una imagen que delinea al agregado y la pasta (ver figura 3). Y para el cálculo de porosidad, material anhidro y PH, se utilizaron herramientas del programa para obtener colores de cada parámetro buscado y poder calcular el porcentaje (figura 4).

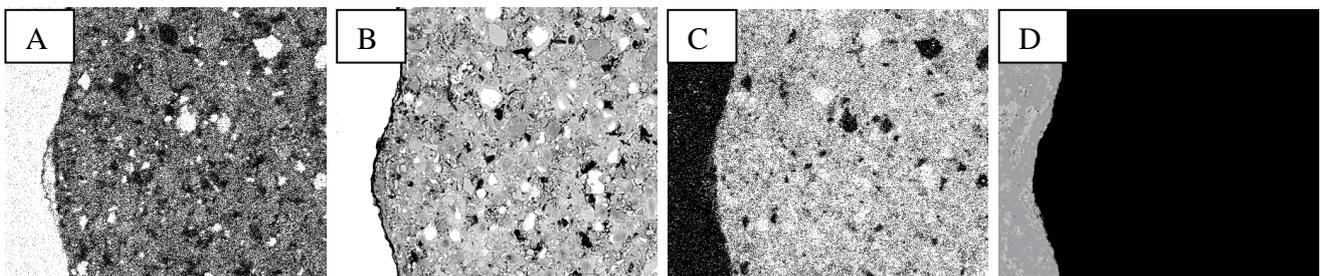


Figura 3. A) Imagen de Si+K+Al, B) Mascara del agregado, C) Imagen de Ca+Fe+Mg y D) Mascara de la pasta

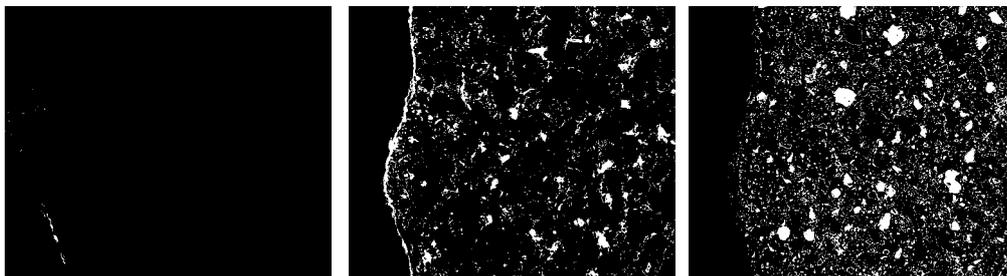


Figura 4. Imágenes de la porosidad del agregado, la pasta y material anhidro

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Ensayos mecánicos

Las resistencias mecánicas son mostradas en la figura 5, en donde se observa que la probeta que alcanzo mayor resistencia a la compresión y flexión fue la GN-C, y la muestra con menos resistencia fue la GR50-HS, la baja resistencia de las muestras con HS es atribuido al método de curado utilizado, ya que al ser concreto permeable, el agua de curado está en contacto con gran superficie del material y diluye a los CH's necesarios para la reacción puzolánica. Las muestras con AR muestran disminuciones debido a su naturaleza porosa.

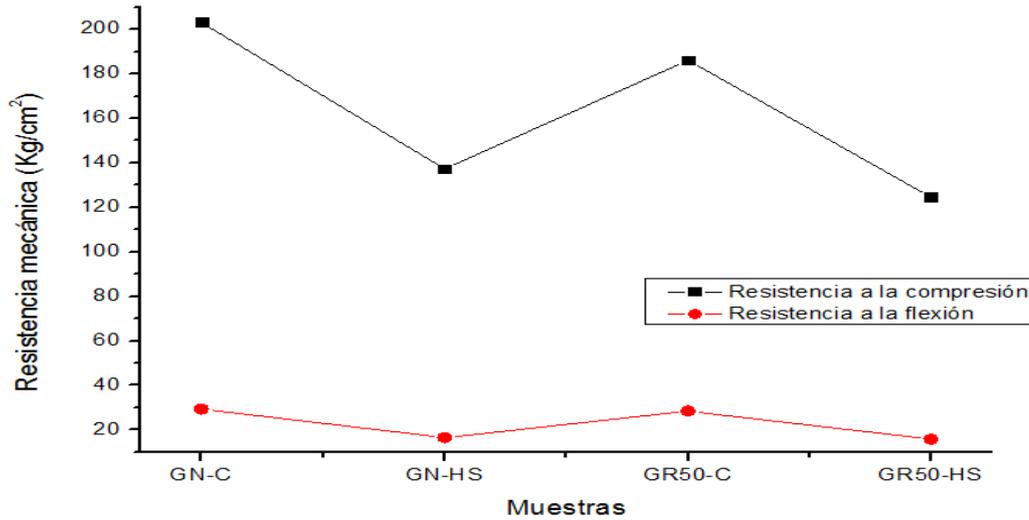


Figura 5. Resistencia a la compresión y flexión de mezclas de concreto permeable

3.2 Porosidad, materiales anhidros y productos de hidratación

La figura 6 muestra los resultados de la totalidad de poros, anhidros y PH que están localizados en la pasta de cemento, la mayor porosidad se encontró en la mezcla GR50-C (2), esta zona representa al AR, agregado antiguo y pasta antigua, el cual ya había cumplido su ciclo de vida, es un material menos denso, un material que sufrió ensayos, cortes y trituración. Disminuyendo propiedades mecánicas [2]. La misma tendencia se muestra para los materiales anhidros, este material gran cantidad de productos que no reaccionaron y en consecuencia menos cantidad de productos de hidratación (PH). Las muestras elaboradas con HS muestran una pequeña cantidad de poros, ya que el HS tiene la característica de tener un tamaño de partícula muy fina, y ayuda al concreto a rellenar microporos, las muestras GN-HS, GR50-HS (1, 2 y 3) tienen valores pequeños de porcentajes de poros y de anhidros pero un alto porcentaje de PH.

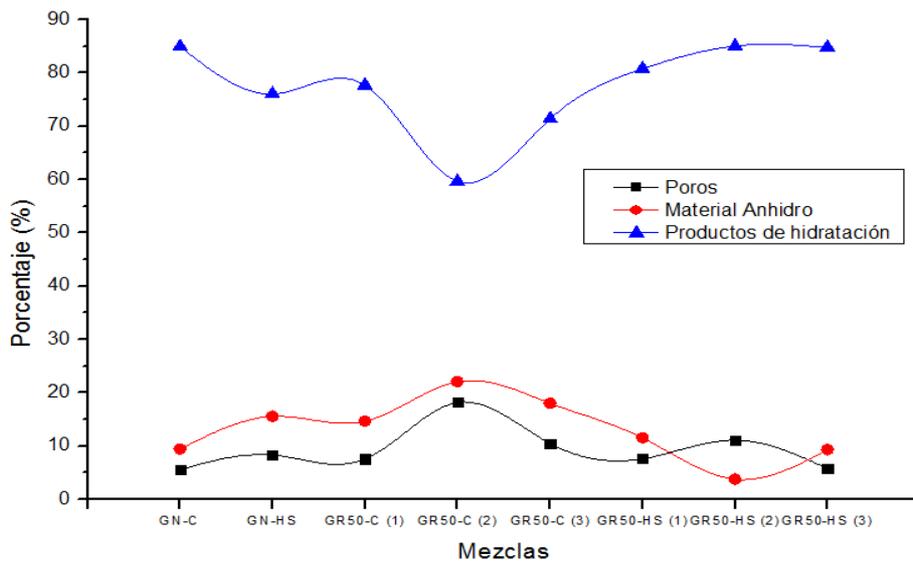


Figura 6. Porcentaje de porosidad, material anhidro y PH.

4. CONCLUSIONES

- Las muestras con 100% cemento alcanzaron resistencias elevadas, por el contrario las muestras elaboradas con HS mostraron disminuciones notables de aproximadamente 56%. Este comportamiento es atribuido a que el HS presente en las mezclas, no reaccionó en su totalidad con los CH formados por la hidratación del cemento.
- El utilizar una sustitución parcial de 50% de AR en las muestras de concreto permeable provoca baja resistencias mecánicas comparadas con las muestras de 100% AN y es atribuido a la gran cantidad de ZTI (agregado nuevo-pasta nueva, agregado antiguo-pasta antigua y pasta antigua-pasta nueva).
- Para evaluar la ZTI del concreto permeable en análisis de imagen, se cree conveniente que las mezclas en estudio contengan una mayor cantidad de pasta en la imagen obtenida en el SEM, ya para que sea más representativo los cálculos de porosidad, material anhidro y PH.
- En todas las imágenes tomadas de las muestras, sobresale que el mayor porcentaje presente en la pasta es de material anhidro, ya que los productos de hidratación del cemento empiezan a edades tempranas desde su elaboración.

4. AGRADECIMIENTOS

A mis asesores, maestros, sinodales y compañeros de generación.

5. REFERENCIAS

Mehta K. y Monteiro P. (1998). "Concreto", 1ª edición, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México, D.F.

Gómez-Soberón, J., (2002). Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregates an experimental study. *Cement and Concrete Research*, 32(8): p. 1301-1311.

Poon, C., et al., (2004). Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(1): p. 31-36.

Ollivier JP, Maso JC, Bourdette B. (1995). "Interfacial transition zone in concrete". *Adv Cement-based Mater*; 2(1):30-8

Neville, A., Brooks, J., (1998); *Tecnología del Concreto*, 1ª edición. Editorial Trillas, México, D.F., pp. 81-90.

Head, M. and Buenfeld, N. (2006). "Measurement of aggregate interfacial porosity in complex, multi-phase aggregate concrete; Binary mask production using backscattered electro, and energy dispersive X-ray images". *Cement and Concrete Research*, 36 (2006) 337-345.