

Permeabilidad y Porosidad en Concreto

Ligia M. Vélez¹

Resumen

Se preparó concreto poroso, material compuesto por una matriz cementítica y un agregado como refuerzo, con la característica de permitir la infiltración de agua. La permeabilidad de estas mezclas se obtiene usando áridos con un volumen significativo de huecos entre las partículas y con ausencia total de finos. Se estudió la influencia de la permeabilidad del concreto poroso en: el volumen de poros permeables, porcentaje de absorción total, densidad, y propiedades mecánicas resistencia a la compresión y flexo tracción 28 días. Este estudio encontró una dosificación de concreto poroso, la cual permite obtener resistencias altas, manteniendo una excelente permeabilidad del concreto poroso. Se determinó una permeabilidad de 2,342 mm/s, con un porcentaje real de huecos del 11%, cemento en una proporción de 350 kg/m³, permitiendo resistencias a flexo tracción y a compresión veintiocho días respectivamente de 3 MPa y 33 MPa utilizando diferentes razones agua/cemento.

Palabras clave

Concreto poroso, materiales de construcción, permeabilidad, resistencia de flexo tracción, resistencia de compresión.

1 Facultad de Tecnologías, INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO, ligiavelez@itm.edu.co

Fecha de recepción: 17 de Agosto de 2010
Fecha de aceptación: 08 de Octubre de 2010

Abstract

Porous concrete was prepared, material composed of a cement matrix and an aggregate as reinforcement, with the feature to allow the water infiltration. The permeability of these mixtures is obtained using barren with a significant volume of hollows between particles and with total lack of fines. The influence of the concrete permeability of the porous one in: the volume of permeable pores, percentage of total absorption, mechanical density, and properties compressive strength and bending traction 28 days was studied. It was found a concrete dosage of porous, which allows obtaining high resistance, maintaining an excellent concrete permeability of the porous concrete. A permeability of 2,342 mm/s was determined, with a real percentage of hollows of 11%, cement in a proportion of 350 kg/m³, allowing resistance to bending traction and compression twenty-eight days respectively of 3 MPa and 33 MPa using different reasons water/cement.

Keywords

Concrete porous, materials for construction, permeability, resistance bending traction, resistance compression.

1. INTRODUCCIÓN

La construcción sostenible (Ramirez, 2009) o la utilización racional de los recursos naturales disponibles para la construcción, el reciclaje, la reutilización y la recuperación de materiales; y un diseño y proceso constructivo que minimice los impactos ambientales, conllevan a un cambio de mentalidad en la industria de la construcción. En este mismo sentido, la tecnología del concreto responde con las características de sostenibilidad que potencian al material en un nuevo mercado, mejorar las condiciones medioambientales y ahorrar recursos; esta visión incluye tanto la energía, el agua y los materiales, como los sistemas o estrategias que inciden sobre el concepto global de calidad.

La tecnología del concreto y el mejoramiento de las condiciones medioambientales se acoplan en el concreto poroso, material compuesto por una matriz cementítica y un agregado como refuerzo, con la principal característica: permitir la infiltración de agua a través de su superficie y proporcionar un almacenamiento temporal, para su posterior disposición.

El diseño de concreto poroso en pavimentos de estructura porosa, en obras de vías y carreteras, proporciona los siguientes beneficios: disminuye el riesgo en la circulación en presencia de lluvia, disminuye los gradientes térmicos y de humedad, y el material presta dos funciones adicionales drenaje y auto ventilación, al aumentar la estructura de los macro poros; consecuencia de la infiltración del agua en la superficie del pavimento.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar la permeabilidad y porosidad en concreto poroso y su variación con la resistencia a la compresión

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización

El presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de materiales de construcción del **INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO** en la ciudad de Medellín.

2.2 Materiales

El cemento Portland ordinario (OPC), es uno de los materiales para la construcción más empleados en la producción de concreto, debido fundamentalmente, a las excelentes propiedades mecánicas que presenta en estado endurecido. La hidratación del cemento (Jiménez, 2001) es la reacción de uno de sus componentes con el agua, formando lo que se conoce como pasta, la relación agua / cemento oscila en el intervalo [0.3, 0.6] afectando la plasticidad, hidratación y propiedad del material hidratado. La pasta de cemento fresco, fragua y gana resistencia posteriormente el endurecimiento. El fraguado (Vélez, 2008) significa la pérdida repentina de plasticidad de la pasta original y una conversión a material en estado sólido con escasa resistencia, y el endurecimiento como el desarrollo de la resistencia que siguen al fraguado de la pasta. El calor de hidratación del cemento es hasta 5000 Joule por gramo (120 cal/g.).

Los Áridos se consideran como un material inerte disperso en la pasta de cemento, y utilizados como refuerzo en un material compuesto, se utiliza con la función de brindarle al concreto estabilidad volumétrica y mejorar la durabilidad. Los áridos generalmente son materiales pétreos con una condición saturada y superficialmente seca, y su masa tiene gravedad específica aparente para que el agua contenida en todos los poros del agregado no incida en la reacción química del cemento, y pueda considerarse en el diseño de mezcla como parte del agregado. Los cálculos para el diseño de mezcla se basan en la gravedad específica con un valor frecuente entre 2,4 y 2,9.

El agua, desempeña un papel importante, hidratar al cemento Portland, por medio de reacciones químicas y por tanto, las

impurezas del agua pueden interferir con el fraguado del cemento, afectar adversamente la resistencia del concreto o causar manchas en su superficie, y también pueden conducir a la corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Por estas razones, se debería tomar en cuenta la conveniencia del agua para mezclado y los propósitos del curado. El agua de mezclado no deberá contener cantidades indeseables de sustancias orgánicas ni constituyentes inorgánicas en proporciones excesivas, ni impurezas como Álcalis, ácidos, materia vegetal, aceites, aguas residuales, cantidades excesivas de limo. La disminución de la relación agua/materiales cementantes es muy importante para obtener la mayor resistencia mecánica posible en todos los ensayos, el agua constituye del 14% al 18% del volumen de la mezcla.

2.3 Metodología

La permeabilidad en el concreto se refiere a la cantidad de migración de agua u otras sustancias líquidas por los poros del material en un determinado tiempo; y así ser el resultado de: la composición de la porosidad en la pasta de concreto, la hidratación o la asociación con la liberación de calor o calor de hidratación y evaporación del agua de mezcla, la temperatura del concreto, y la formación de cavidades y grietas por contracción plástica en el concreto durante el tiempo de fraguado.

Los poros en el concreto, determinan la exposición ambiental del material y daños provenientes de los líquidos y de los gases que lo penetran, tales como dióxido de carbono, agua, oxígeno, cloruros, sulfatos, etc.; estos elementos o compuestos originan diversas reacciones químicas, cuyo efecto más crítico es la corrosión del acero del elemento constructivo. Y así, el concepto de durabilidad en concretos (Torres et al., 2007) se asocia con mantener su forma original, calidad y buena prestación cuando se expone al ambiente de servicio.

Los cloruros íntimamente asociados al cemento hidratado no son solubles en agua, por lo que no causan corrosión; sin embargo, algunas investigaciones (Solís et al., 2008) han mostrado que cloruros que se encuentran unidos a algún compuesto de

hidratación del cemento pudieran romper ese enlace y regresar otra vez a la solución de poro. El ataque por cloruros varía según la región geográfica de acuerdo a la salinidad o a la concentración de las sales contenidas en el agua, dependiendo principalmente de tres factores: la evaporación, la precipitación pluvial y la proximidad a las descargas de los ríos.

Los sulfatos generan deterioro directamente al concreto, las principales fuentes de sulfatos que pueden atacar al concreto son: los suelos que contienen yeso mineral (sulfato cálcico), las aguas que contienen residuos industriales y, principalmente el agua de mar que contiene una concentración de aproximadamente 0,004 de sulfato de sodio. Cuando el concreto ha endurecido (Sanjuán & Castro, 2001), los iones sulfato que ingresan del ambiente externo reaccionan con los monosulfoaluminatos formando la sal llamada Etringita. Esta sal provoca un aumento en volumen del orden del 250%, lo cual produce grandes tensiones que desencadenan fisuras y desprendimientos superficiales del material.

La porosidad de los agregados, los tamaños de los poros en el agregado varían en un amplio rango, pero hasta los más pequeños son mayores que los poros del gel en la pasta de cemento (Neville, 1999). Algunos poros del agregado están totalmente inmersos dentro de la partícula, pero otros se abren a la superficie, de modo que el agua, y otros agentes agresores, pueden penetrar en ellos. El grado de porosidad de las rocas comunes varía de 0 a 50%. Teniendo en cuenta que el agregado representa aproximadamente tres cuartas partes del volumen del concreto, es claro que la calidad de la roca utilizada como agregado es un factor que podría contribuir a la porosidad total del concreto. Sin embargo, la porosidad capilar es la que generalmente influye en la durabilidad del concreto.

Adicionalmente, se debe considerar que en la mezcla de concreto se generan algunos huecos no conectados, de modo que el porcentaje de huecos del hormigón endurecido será calculado a través de la relación entre el porcentaje teórico y real de huecos (1).

$$V_r = 0.898 \cdot V_t - 3.1 \quad (1)$$

donde (V_t) es el porcentaje teórico de huecos y (V_r) es el porcentaje real de huecos en la mezcla de concreto endurecida.

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 (Neville & Brooks, 1998); depende principalmente de la relación agua/cemento (a/c) y del grado de hidratación alcanzado por el cemento. Por ejemplo, para una pasta de relación agua/cemento de 0,6, el volumen total de poros se encuentra generalmente entre 46% y 60% dependiendo del grado de hidratación del cemento, que correspondería a niveles de hidratación comprendidos entre 100% y 27%, respectivamente. En general, la porosidad de la pasta suele ser mayor a la porosidad del agregado.

La porosidad del concreto (P) o total de huecos en el material compuesto, se ha modelado como una función de: (a/c) la relación agua/cemento, el grado de hidratación del cemento (h), el volumen de aire atrapado (A), las cantidades de agregados fino (arena, A_f) y grueso (grava, A_g), y del cemento (c); y las gravedades específicas de los agregados (ρ_f y ρ_g), en el modelo matemático de la Ecuación (2) de (Solís & Moreno, 2006) para concretos con agregados comunes de densidades normales, cuando la relación agua/cemento es alta y el grado de hidratación es bajo, la pasta de cemento tendrá una alta porosidad capilar; contendrá un número relativamente grande de poros amplios y bien conectados, y por lo tanto, su coeficiente de permeabilidad será alto. En cuanto avanza la hidratación, la mayoría de los poros serán reducidos a un tamaño pequeño (100 nm o menos) y también perderán sus interconexiones, de manera que la permeabilidad se abatirá.

$$P = \frac{\frac{a}{c} - 0.36h + \frac{A}{c}}{0.317 + \frac{1}{\rho_f} \frac{A_f}{c} + \frac{1}{\rho_g} \frac{A_g}{c} + \frac{A}{c}} \quad (2)$$

La porosidad no solo influye en la absorción del material sino también en su resistencia (Hincapié & Montoya, 2005), existen diferentes modelos para relacionar porosidad y resistencia de concreto, ver Fig. 1.

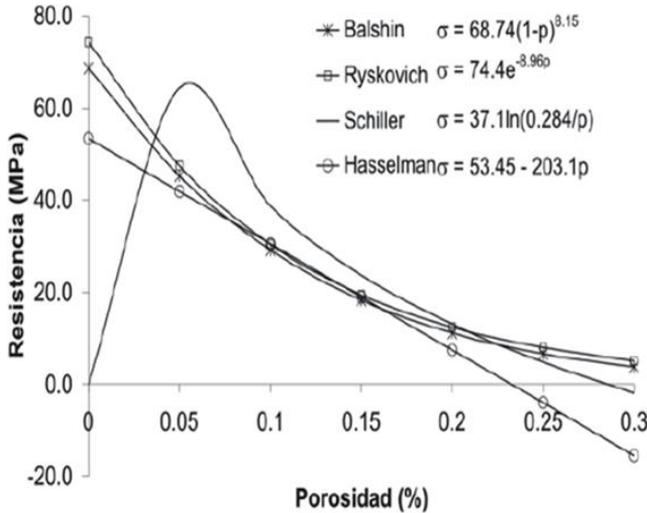


Fig. 1. Relación entre la porosidad y la resistencia (Kumar & Bhattachrjee, 2003)

Sin embargo, en algunos casos, la acción del medio o la calidad del hormigón contribuyen a fenómenos de deterioro que conducen a una rápida intervención, ya sea de rehabilitación o reemplazo de la estructura (Keck, 2001).

Las características del movimiento del agua a través de un medio poroso, se expresan con la ley de Darcy y su expresión matemática en (3)

$$Q = k \frac{h_3 - h_4}{L} A = k i A \tag{3}$$

donde

Q = gasto, descarga o caudal (m³/s)

L = longitud de la muestra (m)

k = coeficiente de permeabilidad de Darcy, variable en función del material de la muestra (m/s)

A = área de la sección transversal de la muestra (m²)

h₃ = altura sobre el plano de referencia que alcanza el agua en un tubo colocado a la entrada de la capa filtrante

h_4 = altura, sobre el plano de referencia que alcanza el agua en un tubo colocado a la salida de la capa filtrante

i = gradiente hidráulico dado por (4)

$$i = \frac{h_3 - h_4}{L} \tag{4}$$

Las expresiones matemáticas (3) y (4) se refieren a la Fig. 2, en la que un caudal de agua entra al concreto poroso, se almacena por algún tiempo en la estructura del concreto y migra a través de los poros.

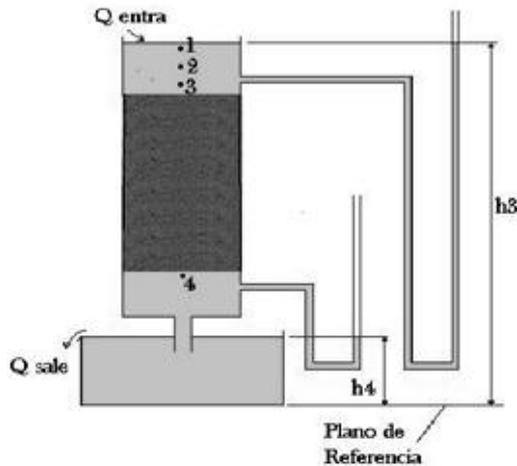


Fig. 2. Ley de Darcy - Esquema muestra de concreto poroso

Se realizaron ensayos para determinar la resistencia a la compresión en cilindros de concreto poroso, bajo la norma NTC 550 y 673. Con el agregado retenido en el tamiz N°4 (4,76 mm).

Las dosificaciones fueron definidas una vez se realizaron ensayos preliminares, los diseños de concretos referencia de cemento Portland (OPC) de acuerdo a lo especificado en los procedimientos definidos por la norma ACI, utilizando como mínimo 340 kg/m³ a 430 kg/m³ de cementante (cemento ordinario Portland OPC). La relación agua/cemento fue acondicionadas para lograr un asentamiento entre 75 y 100 mm. La proporción de

agregados con el retenido en el tamiz N°4 (4,76 mm) fue de 1012 kg/m³ y 1373 kg/m³ respectivamente. En ningún caso se incorporó aditivos en la mezcla. Las proporciones utilizadas son las que aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Proporciones utilizadas para experimentación de concretos porosos

Espécimen según mezcla	Cemento	Agregados	Contenido cemento (kg/m ³)	Contenido agregados (kg/m ³)	Relación agua/cemento
Poroso 1258	1	2 5/8	430	1126,08	0,29
Poroso 1278	1	2 7/8	415	1191,98	0,31
Poroso 1318	1	3 1/8	400	1250,41	0,32
Poroso 1314	1	3 1/4	395	1288,02	0,34
Poroso 1338	1	3 3/8	390	1317,87	0,35
Poroso 1347	1	3 4/7	380	1359,96	0,37
Poroso 1357	1	3 5/7	370	1373,33	0,38
Poroso 1345	1	3 4/5	360	1368,52	0,40
Poroso 1335	1	3 3/5	350	1255,79	0,41
Poroso 1312	1	3 1/2	345	1207,51	0,43
Poroso 13	1	3	340	1011,59	0,44

La medición del calor de hidratación del cemento (Jiménez, 2001) se obtiene por diferencia del calor de hidratación de la solución del cemento no hidratado con ácido nítrico con el valor del calor de hidratación obtenido de la solución del cemento hidratado con ácido fluorhídrico.

La medición de gravedad específica absoluta de áridos hace referencia al peso del material sólido excluyendo todos los poros, se determina por medio de la relación del peso sólido del árido, respecto al vacío, para el peso de un volumen igual de agua destilada libre de gas, ambos obtenidos a temperatura estable.

La medición de la densidad y la porosidad de concreto (ASTM, 2006) fueron realizada en el laboratorio a partir de la masa seca, saturada y sumergida de las muestras de concreto endurecido según dosificaciones recomendadas, con la finalidad de tener otros indicadores de la calidad del concreto.

Para la resistencia a compresión 28 días en concreto NTC 550 y 673 (ASTM C109), se elaboraron cilindros de 76,2 mm de diámetro para utilizar en los ensayos de resistencia a compresión.

En la prueba de resistencia flexo tracción 28 días en concreto ASTM C1018, se evalúa el rendimiento de la flexión de los parámetros de resistencia derivada de concreto, obtenida mediante pruebas de una viga simplemente apoyada (40mm x 40mm x 160mm) bajo carga del tercer punto.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición del cemento OPC utilizado se cuantifica en la Tabla 2, el calor de hidratación del cemento OPC es de 120 cal/g.

Tabla 2. Composición Química del Cemento Portland Ordinario (OPC)

Componente	% Composición
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	19-24
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	4-7
Óxido de Calcio (CaO)	60-70
Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	2-6

El agua de mezclado y curado para el concreto corresponde a lo indicado en la Tabla 3.

Tabla 3. Características técnicas del agua mezclado

Ensayo	Valor	Unidad	Norma
Color	193	UPC	
Turbidez	0,86	NTU	NTC881
Ph	7,74		ASTM D-1293
Cloro residual	0,9	mg/l de CL ₂	NTC 1623
Alcalinidad	30	mg/l de caco ₃	ASTMD-1067
Dureza	22	mg/l de caco ₃	NTC 1604
Sólidos disueltos	68	mg/l	ASTM D-1888
Sólidos totales	94	mg/l	
Contenido de hierro	0,07	mg/l de Fe	
Contenido de aluminio	0,14	mg/l de Al	

La granulometría del agregado para concreto correspondiente al tamizado normal corresponde a la expresado en la Tabla 4 y en la Fig. 3. Con el tamaño máximo del agregado para concreto fue 2" (50,8 mm), el tamaño máximo nominal 1½" (38,1 mm), la densidad seca 2000 kg/m³, la gravedad específica 2,0.

Tabla 4. Composición granulométrica de agregado para concreto normal

Datos de tamizaje en laboratorio: agregado para concreto normal					
Número ASTM	Apertura (mm)	Retenido en tamiz (g)	Retenido (%)	% Retenido acumulado	Pasa (%)
3"	75,00	0,0	0,00	0,00	100,0
2"	50,00	0,0	0,00	0,00	100,0
1½"	37,50	60,0	3,00	3,00	97,0
¾"	19,00	155,3	7,77	10,77	89,2
⅜"	9,50	327,0	16,35	27,12	72,9
4	4,75	357,3	17,87	44,98	55,0
8	2,36	346,3	17,32	62,30	37,7
10	2,00	7,2	0,36	62,66	37,3
16	1,18	185,4	9,27	71,93	28,1
30	0,60	132,6	6,63	78,56	21,4
50	0,30	233,4	11,67	90,23	9,8
100	0,15	161,4	8,07	98,30	1,7
200	0,08	24,6	1,23	99,53	0,5
Fondo		9,5	0,48	100,00	0,0

La granulometría correspondiente al retenido del tamiz N°4 utilizado para el diseño experimental de concreto poroso corresponde a la expresado en la Tabla 5 y en la Fig. 4. Con el tamaño máximo del agregado retenido en el tamiz N°4 para concreto poroso fue 2" (50,8 mm), el tamaño máximo nominal 1½" (38,1 mm), la densidad seca 1429 kg/m³, la gravedad específica 1,43.

La principal característica de una mezcla porosa es su capacidad de infiltración. La permeabilidad de estas mezclas se obtiene usando áridos con un volumen significativo de huecos entre las partículas y con ausencia casi total de finos, y una cantidad reducida de pasta de cemento. La resistencia del material

se obtiene mediante el efecto combinado de la delgada capa de pasta de cemento y la transmisión de esfuerzos por contacto entre los áridos o agregados

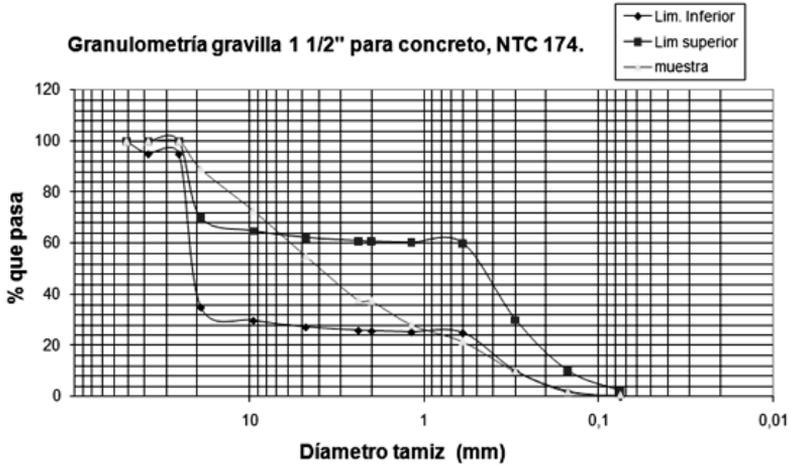


Fig. 3. Granulometría de agregado para concreto normal

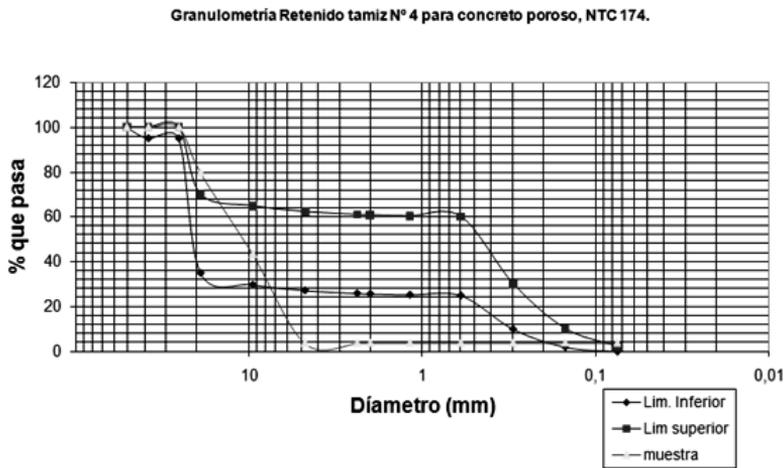


Fig. 4. Granulometría de agregado para concreto poroso retenido en tamiz N°4

Tabla 5. Composición granulométrica de agregado para concreto poroso retenido en tamiz N°4

Datos de tamizaje en laboratorio: agregado para concreto poroso retenido en tamiz N°4					
Número ASTM	Apertura (mm)	Retenido en tamiz (g)	Retenido (%)	% Retenido acumulado	Pasa (%)
"	75,00	0,0	0,00	0,00	100,0
2"	50,00	0,0	0,00	0,00	100,0
11/2"	37,50	60,0	3,00	3,00	97,0
3/4"	19,00	345,3	17,26	20,26	79,7
3/8"	9,50	727,0	36,35	56,61	43,4
4	4,75	794,4	39,72	96,33	3,7
8	2,36	0,0	0,00	96,33	3,7
10	2,00	0,0	0,00	96,33	3,7
16	1,18	0,0	0,00	96,33	3,7
30	0,60	0,0	0,00	96,33	3,7
50	0,30	0,0	0,00	96,33	3,7
100	0,15	0,0	0,00	96,33	3,7
200	0,08	0,0	0,00	96,33	3,7
Fondo		73,4	3,67	100,00	0,0

Se determinó el volumen de poros permeables, porcentaje de absorción total y densidad en concretos con una edad de curado de 28 días. Los resultados obtenidos son listados en la tabla 6, donde se puede observar que los concretos porosos presentan un volumen de poros permeables entre el 7% y el 24%, resultados coherentes con el desempeño mecánico ver Tabla 6. De manera general, los concretos porosos 1335, 1312 y 13 pueden ser catalogados como materiales durables y de una calidad superior frente a los OPC con mayor volumen de poros permeables, debido a su mejor desempeño mecánico y baja porosidad.

Las relaciones entre el % volumen de poros permeables, el % volumen de poros totales, la ecuación (2) del modelo matemático para la porosidad de la mezcla de concreto según Solís & Moreno (2006) y la permeabilidad en la Fig. 5, indican que el % volumen de poros permeables se relaciona con una certeza del 100% $R=1$, linealmente con la permeabilidad (k), mediante la expresión (5)

Tabla 6. Porosidad y Absorción Total (ASTM C642)

Mezcla	% Real de vacíos Vr (%)	Absorción total (%)	Densidad nominal (kg/m ³)
Poroso 1258	24	8,72	1681
Poroso 1278	23	8,34	1734
Poroso 1318	22	7,96	1778
Poroso 1314	21	7,58	1815
Poroso 1338	20	7,20	1844
Poroso 1347	18	6,45	1879
Poroso 1357	17	6,07	1884
Poroso 1345	15	5,31	1871
Poroso 1335	11	3,80	1749
Poroso 1312	10	3,42	1699
Poroso 13	7	2,29	1501

$$Vr (\%) = 2,659(k) + 4,771 \tag{5}$$

con la permeabilidad (k) en mm/s. El % volumen de poros totales de la mezcla de concreto poroso se relaciona con una certeza del 100% R=1, linealmente con la permeabilidad (k)

$$Vt (\%) = 2,056 (k) + 14,34 \tag{6}$$

con la permeabilidad (k) en mm/s. La ecuación (2) del modelo matemático para la porosidad de la mezcla de concreto (Solís et al., 2008) y la permeabilidad no se relacionan con la permeabilidad hallada experimentalmente (ASTM C642). La absorción total de la mezcla de concreto poroso se relaciona con una certeza del 100% R=1, linealmente con la permeabilidad (k)

$$\% \text{ Absorción total} = 1,005(k) + 1,448 \tag{7}$$

con la permeabilidad (k) en mm/s. Las propiedades mecánicas resistencia a la compresión y flexo tracción 28 días, se relacionan con la permeabilidad (k) del concreto poroso, con certezas del 100% y del 96,1% respectivamente (ver Fig. 6).

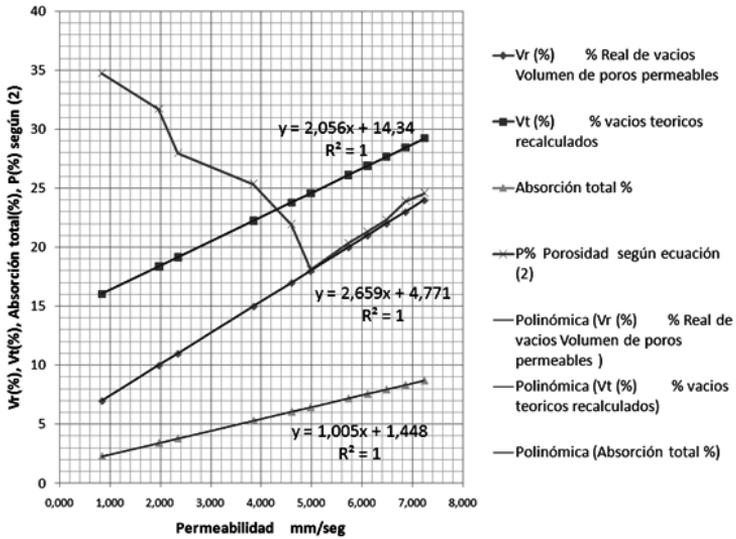


Fig. 5. Relaciones %volumen de poros permeables, el % volumen de poros totales, la ecuación (2) porosidad de la mezcla de concreto y la permeabilidad (k)

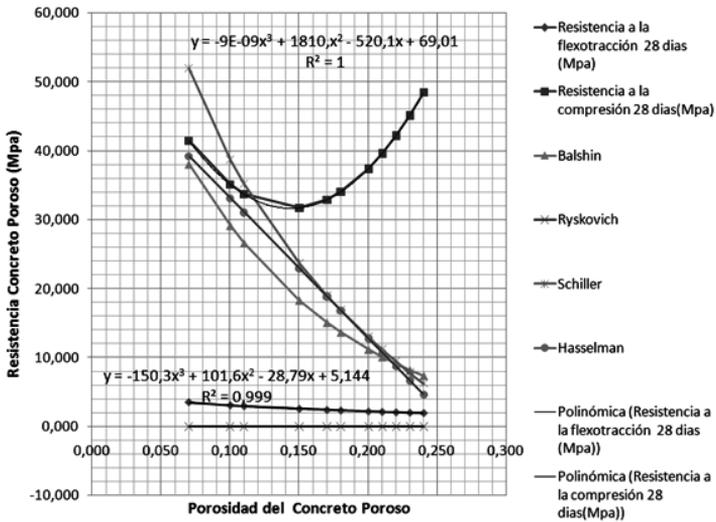


Fig. 6. Relaciones Resistencia a la compresión, flexo tracción 28 días en MPa con la permeabilidad en concreto poroso

La resistencia a la compresión 28 días de concreto poroso se identifica polinomialmente con la permeabilidad (k) mediante (8)

$$F_c (Mpa) = 1,280(k)^2 - 9,239 (k) + 48,32 \tag{8}$$

con la permeabilidad (k) en mm/s. La resistencia a flexo tracción 28 días de concreto poroso se identifica potencialmente con la permeabilidad mediante (9)

$$M_{rf} (Mpa) = 3,634(k)^{-0,27} \tag{9}$$

con la permeabilidad (k) en mm/s. La porosidad influye en la absorción del material y en su resistencia (Hincapié & Montoya, 2005), los diferentes modelos para relacionar porosidad y resistencia de la mezcla de concreto poroso, no conservan similitud en las relaciones ni en la proximidad de las mismas (ver Fig. 7).

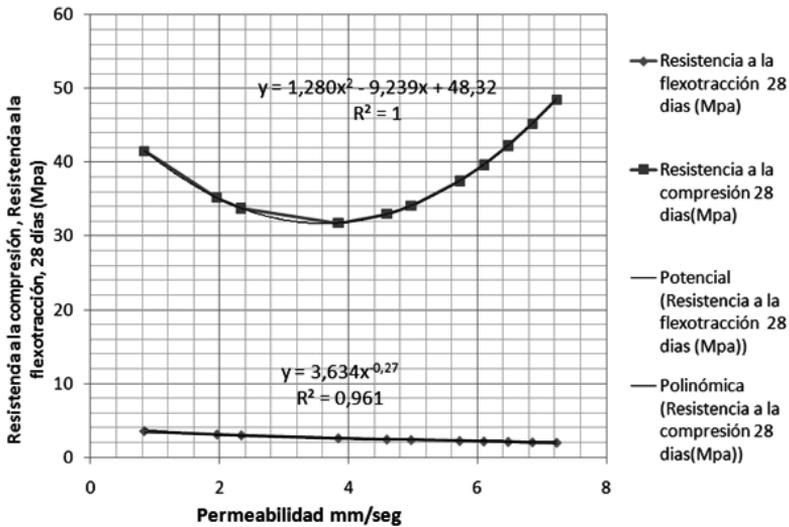


Fig. 7. Relaciones porosidad, absorción y resistencia concreto poroso con modelos matemáticos

4. CONCLUSIONES

La permeabilidad es controlada principalmente por la porosidad de la pasta de cemento. Sin embargo la permeabilidad no es una función simple de la porosidad ya que es necesario que los poros se encuentren interconectados; es decir, que para los mismos niveles de porosidad, el concreto poroso puede tener diferentes valores de permeabilidad si sus poros se interconectan en forma ininterrumpida o no.

Los resultados muestran que existe una dosificación de concreto poroso, la cual permite obtener resistencias altas, manteniendo una excelente permeabilidad del concreto poroso. Se determinó una permeabilidad de 2,342 mm/s, con un porcentaje real de huecos del 11%, cemento en una proporción de 350 kg/m³, la cual permite resistencias a flexo tracción y a compresión veintiocho días respectivamente de 3 MPa y 33 MPa utilizando diferentes razones agua/cemento.

Se encontraron relaciones entre la permeabilidad y las resistencias del concreto poroso con certezas del 100% y del 96.1% (8) (9); sin embargo, con los modelos matemáticos de Balshin, Ryskovish, Schiller y Hasselman con relación a la porosidad del concreto no se encontraron similitudes.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los estudiantes e investigadores del semillero de investigación del grupo de investigación en Materiales y Tecnologías de la Construcción MYTEC, del **INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO ITM**, y a los compañeros que día a día apoyan el trabajo del que hacer docente.

6. REFERENCIAS

Hincapié, Á.M., Montoya, Y.D., (2005); La micro estructura de los prefabricados de concreto, Revista universidad EAFIT Vol. 41 N° 140, 95-105.

- Jiménez, H.F., (2001); Escuela Superior Politécnica del Litoral, Tesis de grado. Recuperado el 2009, de <http://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3325/1/5847.pdf>
- Keck, R., (2001); Improving concrete durability with cementitious materials, *Concrete International*, Vol. 23, 9, 47-51.
- Kumar, R., Bhattachrjee, B., (2003); Porosity, size distribution of pore an insitu strength in concrete, En: *Cement and Concrete Research*. No. 33.pp.155-164.
- Neville, A., (1999); *Tecnología del Concreto*, 1ª edición. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., México, D.F., pp. 185-200.
- Neville, A., Brooks, J., (1998); *Tecnología del Concreto*, 1ª edición. Editorial Trillas, México, D.F., pp. 81-90.
- Ramirez, A., (2009); *La construcción sostenible. Física y Sociedad*, 30-33.
- Sanjuán, M., Castro, P., (2001); *Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto*. IMCYC México.
- Solís, R., Moreno, E.I., (2006); Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo, *Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V.*, Vol. 21, N° 3, 57-68.
- Solís, R., Moreno, E., Jiménez, F., Rosas, V., (2008); Evaluación de daños por agresión ambiental, *Ingeniería* 18 (1, 2): ISSN: 1409-2441; 2008. San José, Costa Rica, 45-55.
- Torres, J., Mejía de Gutiérrez, R., Puertas, F., (2007); Efecto de la temperatura de tratamiento de un caolín. *Materiales de Construcción* Vol. 57, 285 ISSN: 0465-2746, 61-69.
- Vélez, L.M., (2008); *Materiales Industriales Teoría y Aplicaciones* ISBN 978-958-8351-60-5. Medellín: Fondo Editorial ITM.

