

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Estudio de la influencia del curado en la permeabilidad del concreto endurecido bajo variadas condiciones de clima

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Civil

Por:

Alexander Fidel Fernandez Salazar

Joel Eleazar Puerta Quispe

Asesor:

Giuliano Ricardo Moreno Patiño

Lima, noviembre 2020

DECLARACION JURADA DE AUTORIA DE TRABAJO DE INVESTIGACION

Giuliano Ricardo Moreno Patiño, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: “Estudio de la influencia del curado en la permeabilidad del concreto endurecido bajo variadas condiciones de clima” constituye la memoria que presentan los estudiantes: Alexander Fidel Fernandez Salazar y Joel Eleazar Puerta Quispe, para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Civil, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la situación.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Lima, a los 30, de noviembre del 2020.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Giuliano Moreno', with a large, stylized initial 'G' on the left.

Giuliano Ricardo Moreno Patiño

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a.....los.....26.....día(s) del mes de.....Noviembre.....del año 2020.....siendo las.....8:00-----.....horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):..... Ing. Ferrer Canaza Rojas....., el (la) secretario(a): Ing. David Diaz Garamendi..... y los demás miembros: Ing. Fiorella Maira Zapata Antezana.....y el (la) asesor(a)... Ing. Giuliano Ricardo Moreno Patiño.....con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: "Estudio de la influencia del curado en la permeabilidad del concreto endurecido bajo variadas condiciones de clima.". de los (las) egresados (as):

.....a)..... **ALEXANDER FIDEL FERNANDEZ SALAZAR**.....
b)..... **JOEL ELEAZAR PUERTA QUISPE**

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en:

INGENIERÍA CIVIL

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): **ALEXANDER FIDEL FERNANDEZ SALAZAR**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	15	B-	BUENO	MUY BUENO

Candidato/a (b): **JOEL ELEAZAR PUERTA QUISPE**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	15	B-	BUENO	MUY BUENO

(*) *Ver parte posterior*

Finalmente, el Presidente del jurado invitó ... al.... candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente
 Ing. Ferrer Canaza
 Rojas

 Secretario
 Ing. David Diaz
 Garamendi

 Asesor
 Ing. Giuliano Ricardo
 Moreno Patiño

 Miembro

 Miembro
 Ing. Fiorella Maira
 Zapata Antezana

 Candidato (a)
 Alexander Fidel
 Fernandez Salazar

 Candidato/a (b)
 Joel Eleazar Puerta
 Quispe

Estudio de la influencia del curado en la permeabilidad del concreto endurecido bajo variadas condiciones de clima

FERNANDEZ SALAZAR ALEXANDER F.* PUERTA QUISPE JOEL E.*

EP. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú

Resumen

La durabilidad del concreto es hoy un factor clave en el mundo de la construcción. Esta a su vez se relaciona de manera directa con su grado de permeabilidad que viene a ser en el concreto la cantidad de migración de agua y otras sustancias líquidas en un determinado periodo de tiempo. La poca presencia de agregados finos, así como también las relaciones a/c bajas, entre otros factores origina que no se pueda lograr una trabajabilidad óptima y esto genera la necesidad de agregar agua. Parte de esta se evapora dejando vacíos en el concreto y esto a su vez genera el aumento de la porosidad y, consecuentemente, la disminución de la resistencia.

Estas dos cualidades del concreto mencionados anteriormente, así como también la resistencia son a nuestro parecer sus características más importantes y deben balancearse para lograr un desempeño adecuado del material.

Por lo anterior, en el presente documento se realiza un estudio basado en la permeabilidad en el concreto bajo diversos factores que ayudará a evidenciar la importancia de este y puedan tomarlo en cuenta para posteriores investigaciones, así como también en los procesos constructivos.

Palabras clave: Durabilidad, permeabilidad, curado, relación a/c.

Abstract

The durability of concrete is now a key factor in the world of construction. This in turn is directly related to its degree of permeability, which in concrete is the amount of migration of water and other liquid substances in a given period of time. The low presence of fine aggregates, as well as the low a/c relations, among other factors, causes that an optimal workability cannot be achieved and this generates the need to add water. Part of this water evaporates leaving gaps in the concrete and this in turn generates an increase in porosity and, consequently, a decrease in strength.

These two qualities of concrete mentioned above, as well as the resistance, are in our opinion its most important characteristics and must be balanced to achieve an adequate performance of the material.

Therefore, in this document a study is made based on the permeability in concrete under diverse factors that will help to evidence the importance of this and can be taken into account for further investigations, as well as in the constructive processes.

Keywords: Durability, permeability, curing, a/c relation.

**Correspondencia de Joel Eleazar Puerta Quispe , Alexander Fidel Fernandez Salazar
Km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lima.*

*E-mail: joelpuerta@upeu.edu.pe
alexanderfernandez@upeu.edu.pe*

INTRODUCCION

(Fernandez Luco, 2010) Nos menciona que los avances científico-tecnológicos asociados con las construcciones de concreto armado reflejan un avance significativo en los últimos años. Estos avances incluyen el desarrollo de nuevos tipos de concreto y nuevos procedimientos de caracterización y control, tanto en condiciones de laboratorio como in situ.

(Prieto González & Morales Pérez), hace referencia que el concreto desde hace décadas es el material de construcción más utilizado para estructuras a nivel mundial, está formado por la mezcla de cemento, agua, áridos y, muy habitualmente, aditivos con diferentes funciones. Es decir, que se trata de un material heterogéneo, anisótropo, y en el que en el proceso desde la extracción de materias primas hasta su colocación en obra intervienen muchos factores que pueden afectar a las propiedades mecánicas del hormigón endurecido.

(Orozco, Avila, & Restrepo), nos dicen que, a pesar de la evidente importancia de este material, los procedimientos de elaboración, colocación o curado en algunos casos no son los adecuados, afectando de manera directa el comportamiento y calidad del concreto. En las propiedades concreto el termino curado se utiliza para elaborar el proceso natural por el cual el concreto desarrolla sus características típicas en estado endurecido.

(Solis Carcaño & Moreno, 2005), En ese sentido, el tiempo de curado del concreto se refiere al lapso en el cual se desarrollan las reacciones químicas del cemento con el agua, sin que se realice acción alguna; mientras que, viéndolo desde otro punto de vista, se refiere al tiempo durante el cual se ejecutan acciones específicas para mantener el concreto en las condiciones favorables de humedad y temperatura, como pueden ser aplicarle agua, cubrirlo del medio ambiente, calentarlo, etc.

(Fernández, 2012), establece que el principal objetivo del curado es brindarle al hormigón las condiciones adecuadas de humedad y temperatura para el desarrollo de sus propiedades, en base a su composición y características, lo cual también es considerado por la norma española EHE 2008.

Así mismo debemos conocer y evaluar las características de los agregados ya que es importante conocer el porcentaje de absorción, tamaños y coeficiente de forma, todo esto ayuda a determinar la trabajabilidad en concreto fresco. Por otro lado, la cuestión de pérdida de resistencia es el incremento de temperaturas en verano, ha sido ampliamente estudiado en consiguiente es innegable su importancia, no son muchas las investigaciones conocidas que hayan obtenido una posible solución

(Ortiz & Aguado, 2007), La mayoría de los manuales de buena práctica se limitan a recomendar algunas acciones a realizar sobre los constituyentes del concreto reduciendo la temperatura de éstos o evitando que las elevadas temperaturas veraniegas incidan en cualquiera de las etapas de fabricación y colocación del concreto.

Aunado a esto (Vélez, 2010) 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.

En efecto la porosidad es un paso del agua, para ejemplificar como la cita anterior podríamos decir que es un caso que es bueno para el proyecto por otro lado en otro tipo de proyecto como una vivienda, un concreto poroso no es igual a lo anteriormente expuesto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la ubicación de los documentos bibliográficos se utilizaron varias fuentes documentales utilizando los descriptores: escritura científica, revisiones, mapas conceptuales lectura crítica.

Se realizó un procesamiento de información con la que podíamos evaluar los artículos relacionados a nuestro tema donde ubicamos información relevante.

(Vélez, 2010), 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.

El concreto al tener una permeabilidad la temperatura del concreto, y la formación de cavidades y grietas por contracción plástica en el concreto durante el tiempo de fraguado. Origina que se presenten daños provenientes a los líquidos y de los gases que lo penetran, tales como dióxido de carbono, agua, oxígeno, cloruros, sulfato etc.

En tal sentido la porosidad de los agregados, los tamaños varían en un amplio rango, hasta los más pequeños son mayores que los poros del gel en la pasta de cemento. Así mismo algunos poros del agregado son totalmente inmersos al interior de la partícula, ya que otros se abren a la superficie y por ende el agua y otros componentes agresores ingresan en ellos.

(Vélez, 2010), 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.

Aunado a esto, se debe tener en cuenta que en la mezcla de concreto que van a generar huecos no conectados, por ende, que el porcentaje de aberturas del hormigón endurecido será calculado a causa de la relación entre el porcentaje teórico y real de huecos.

$$V_r = 0.898 * V_t - 3.1 \dots\dots\dots (1)$$

Donde (V_t) es el porcentaje teórico de huecos y (V_r) es el porcentaje real de huecos en el contenido de concreto endurecido. Así como la de la pata de cemento es la suma del volumen de los huecos capilares y de los componentes sólidos de la pasta de cemento hidratado.

(Solís-Carcaño & Moreno, 2006), La porosidad del concreto (P) o total de huecos en el

material compuesto, se ha modelado (Neville y Brooks, 1998) como una función de: la relación agua/cemento, el grado de hidratación del cemento (h), el volumen de aire atrapado (A), las cantidades de agregados fino (arena, Af) y grueso (grava, Ag), y del cemento (c); y las gravedades específicas de los agregados (pf y pg). La Ecuación 1 muestra el modelo matemático

$$P = \frac{\frac{a}{c} - 0.36h + \frac{A}{c}}{0.317 + \frac{A_f}{P_f c} + \frac{A_g}{P_g c} + \frac{A}{c}} \dots \dots (2)$$

La porosidad no solo influye en el material sino también en su resistencia, (Hincapié & Montoya, 2005).

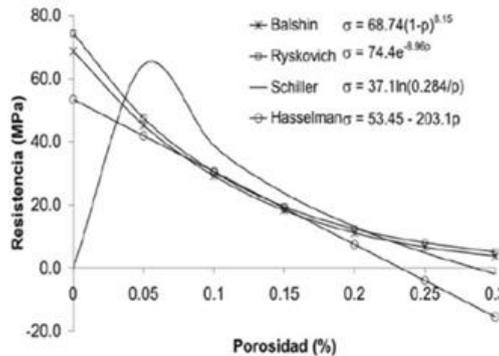


Ilustración 1: Relación entre la porosidad (Kumar & Bhattachrjee, 2003)

Sin embargo, las calidades del hormigón contribuyen a los deterioros que conducen una rápida intervención, las características del movimiento del agua a través de un medio poroso, se expresan con la ley de Darcy.

$$Q = K \frac{h_3 - h_4}{L} A = KiA \dots \dots (3)$$

Donde:

- Q=gasto, descarga o caudal(m³/s)
- L= longitud de la muestra(m)
- k= coeficiente de permeabilidad de Darcy, variable en función 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.
- h4= altura sobre el plano de referencia que alcanza el agua en un tubo colocado a la salida de la capa filtrante.

$$i = \frac{h_3 - h_4}{L} \dots \dots (4)$$

Las expresiones de numero 3 y 4 se presentan en la figura que un caudal de agua ingresa al concreto poroso. Se almacenan en el sólido del concreto y pasa a través de los poros.

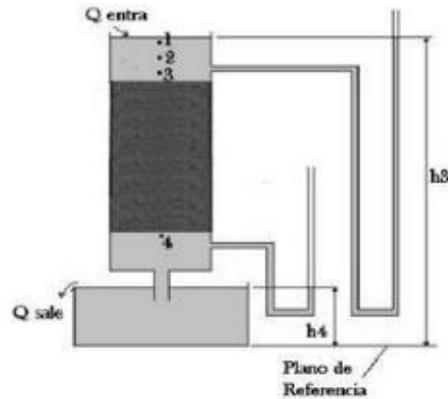


Ilustración 2: Ley de Darcy - Esquema muestra de concreto poroso.

En los datos de información relevante se encontraron los datos de la determinación de resistencia a la compresión bajo las normas NTC 550 Y 673. Con lo retenido en el tamiz N°4 (4.76 mm). El concreto se realizó con cemento portland de acuerdo al ACI, utilizando como mínimo 340 kg/m³ a 430 kg/m³ para este ejemplo la relación de cemento fue realizada para lograr un asentamiento de 75 y 100 mm. La porción de agredo retenido N°4 fue de 1012 kg/m³ y 1373 kg/m³.

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

Ilustración 3: Proporciones utilizadas para experimentación de concretos porosos.

En ningún caso se utilizó aditivo. Para la resistencia de compresión. En la prueba de compresión en los 28 días en concreto ASTM C1018, se evalúa el rendimiento a flexión, derivadas de concreto, obtenidas mediante pruebas de una viga simplemente apoyada (40 mm * 40 mm * 160 mm) najo carga del tercer punto.

Por otro lado, (Ortiz & Aguado, 2007) el diseño de la mezcla utilizada corresponde a un concreto de fabricación comercial cuya resistencia nominal es de 25 MPa, con relación agua/cemento de 0.56. El revenimiento de proyecto para este concreto fue de 10 cm. Se

mantuvo siempre la misma dosificación con el objeto de observar las variaciones existentes de trabajabilidad y resistencia entre el concreto de referencia y las dos condiciones climáticas de verano e invierno.

El revenimiento de proyecto para este concreto fue de 10 cm. Se mantuvo siempre la misma dosificación con el objeto de observar las variaciones existentes de trabajabilidad y resistencia entre el concreto de referencia y las dos condiciones climáticas de verano e invierno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con respecto al a la granulometría del agregado para el concreto correspondiente el tamizado normal corresponde a la tabla, con el tamaño máximo del agregado para concreto fue 2" el tamaño Max nominal 1 1/2" la densidad seca 2000 kg/m³, GS = 2.0. La principal fuente de un concreto poroso se basa a la capacidad de infiltración. La resistencia del material viene en efecto el combinado de la pasta de cemento y el paso de esfuerzos por contacto entre árido y agregados.

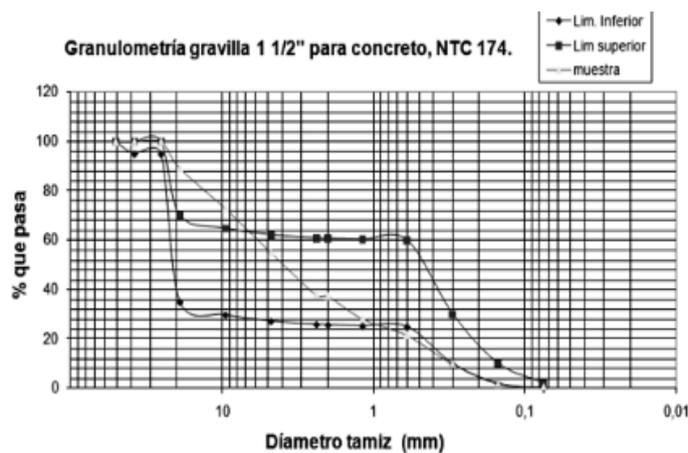


Ilustración 4: Granulometría

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
1 1/2"	37,50	60,0	3,00	3,00	97,0
3/4"	19,00	155,3	7,77	10,77	89,2
3/8"	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

Ilustración 5: Composición granulométrica de agregado para concreto normal.

Granulometría Retenido tamiz N° 4 para concreto poroso, NTC 174.

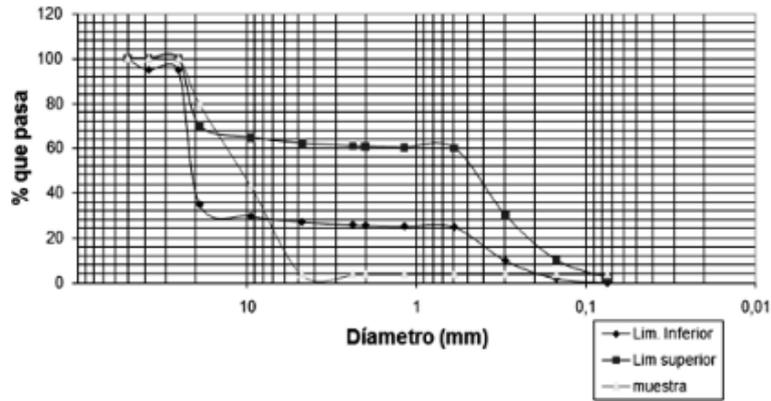


Ilustración 6: Granulometría de agregado para concreto, poroso reteniendo en tamiz N°4.

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

Ilustración 7: Porosidad y Absorción Total (ASTM C642)

$$- Vr(\%) = 2.659(k) + 4.771... (5)$$

Dada la permeabilidad (k) en mm/s su % de volumen poros de la mezcla de concreto poroso se une con una seguridad del 100% R=1 linealmente con la permeabilidad (K).

$$- Vt(\%) = 2.056(k) + 14.34 ... (6)$$

En la permeabilidad (k) en mm/s Y seguido con la ecuación 2 del modelo matemático la porosidad de la mezcla de concreto (Solis Carcaño & Moreno, 2005). La absorción completa del mezclado de concreto poroso se relaciona con una certeza 100% R=1 linealmente con la permeabilidad (k).

$$\% Absorción total = 1,005(k) + 1,448 ... (7)$$

Con la permeabilidad (k) en mm/s. Las propiedades de resistencia a compasión y flexo tracción 28 días, se relacionan con la permeabilidad (k) del concreto poroso, con una certeza del 100% y 96,1% respectivamente. (ver ilustración 9)

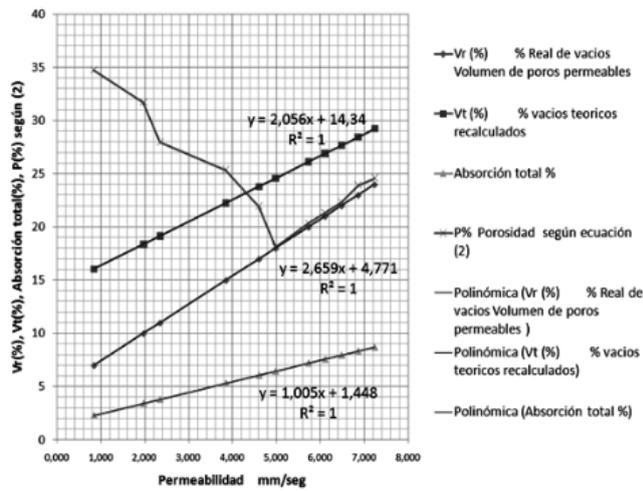


Ilustración 8: Relaciones % volumen de poros permeables, el % volumen de poros totales, la ecuación (2) porosidad de la mezcla de concreto y la permeabilidad (k).

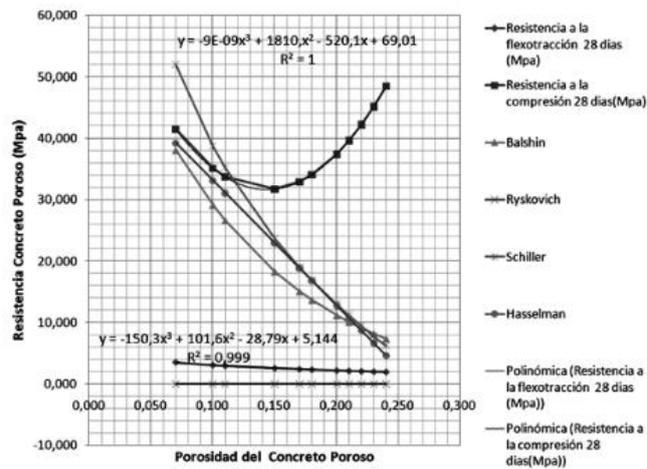


Ilustración 9: Relaciones Resistencia a la compresión, flexo tracción 28 días en MPa con la permeabilidad en concreto poroso.

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

$$F_c (Mpa) = 1,280(k)^2 - 9,239(k) + 48.32 \dots (8)$$

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

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

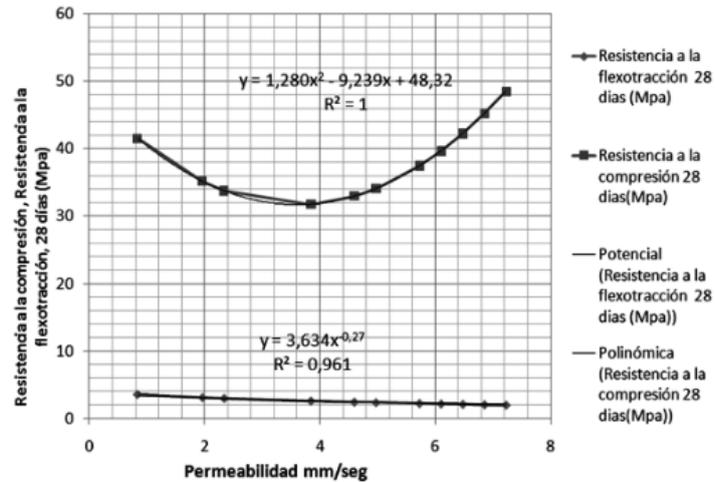


Ilustración 10: Relaciones porosidad, absorción y resistencia concreto poroso con modelos matemáticos.

(Lozano et al., 2007), llega a un resultado favorable de una mejor resistencia en tiempo de invierno a diferencia de verano dando a conocer una mejor trabajabilidad y mejor resistencia en tiempo de invierno.

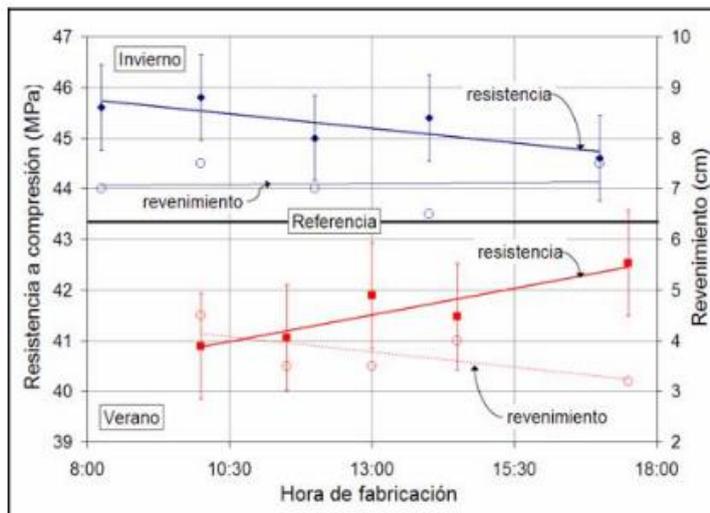


Ilustración 11: Resistencia a la compresión 28 días.

CONCLUSIONES

Conocer las características físicas de los agregados nos ayuda a tener una mejor dosificación y una mejor trabajabilidad. Esto evitará el aumento del volumen de vacíos en el concreto y consecuentemente no perderá resistencia.

Según los artículos revisados reflejan una dosificación de concreto poroso, la cual permite obtener resistencias altas manteniendo una excelente permeabilidad del concreto poroso.

En temporada de invierno da un resultado favorable de resistencia, dando a conocer una mejor trabajabilidad, y una óptima resistencia.

Apreciamos que la temperatura influye en gran medida, ya que a mayor temperatura mayor deshidratación, y genera mayor porosidad y pérdida de resistencia.

Para obtener un concreto con una baja permeabilidad se debe tomar una relación agua/cemento suficientemente baja, una adecuada compactación, un contenido adecuado de cemento y una hidratación suficiente con un buen curado.

Es claro observar que conocer que una baja temperatura favorece a la mejor resistencia del concreto a comparación de una alta temperatura.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Fernandez Luco, L. (2010). Propuesta de indicadores de la eficacia del curado en obra. *Investigación y Desarrollo*, 29.

Orozco, M., Avila, Y., & Restrepo, S. (s.f.). Factores influyentes en la calidad del concreto: una encuesta a los factores relevantes a la industria del hormigón. *Revista Ingeniería de Construcción*. Universidad de la Costa, Barranquilla.

Prieto González, A., & Morales Pérez, J. (s.f.). Análisis de la Influencia de factores ambientales en la resistencia a la compresión del hormigón armado. *Tecnología y Desarrollo*. Universidad X El Sabio, Madrid.

Solis Carcaño, R., & Moreno, E. I. (2005). Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálida subhúmedo. *Ingeniería*, 17.

Lozano, O., De Cea, A., De León, Z., & Farrera, A. (2007). Artículo de Investigación Influencia de la temperatura ambiental en las propiedades del concreto hidráulico. *Ingeniería*, 11(2), 13–20.

Ortiz, J., & Aguado, A. (2007). Influencia de la temperatura ambiental en las propiedades del concreto hidráulico. *Ingeniería*, 11(2), 13–20.

Vélez, L. M. (2010). Permeabilidad y Porosidad en Concreto Resumen. 25, 169–187.