



**Facultad de Ingeniería**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Trabajo de investigación**

**INFLUENCIA DEL CONCRETO PERMEABLE EN LOS PAVIMENTOS COMO  
SISTEMA ALTERNATIVO DE DRENAJE PLUVIAL**

**Autores**

Rojas Zevallos, Elmer Alejandro (1524868)

Farfán Panduro, José Manuel (1531489)

**Para obtener el Grado de Bachiller en Ingeniería Civil**

**Docentes**

Olivos Lara, Omar Eduardo

Samaniego Orellana, Luis Jesús

Lima, Perú

Agosto - 2020

## **Índice General**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Resumen.....</b>                                      | <b>1</b>  |
| <b>1. Introducción.....</b>                              | <b>2</b>  |
| <b>2. Métodos.....</b>                                   | <b>3</b>  |
| 2.1 Resistencia a la compresión .....                    | 5         |
| 2.2 Permeabilidad.....                                   | 5         |
| 2.3 Relación agua/cemento (A/C) .....                    | 6         |
| 2.4 Efectos secundarios en la permeabilidad .....        | 7         |
| 2.5 Incorporación de nuevos agregados.....               | 8         |
| 2.6 Aplicación de concreto permeable en pavimentos ..... | 9         |
| <b>3. Análisis y discusión.....</b>                      | <b>10</b> |
| 3.1 Resistencia a la compresión .....                    | 10        |
| 3.2 Permeabilidad.....                                   | 11        |
| 3.3 Relación agua/cemento (A/C) .....                    | 12        |
| 3.4 Efectos secundarios en la permeabilidad .....        | 14        |
| 3.5 Incorporación de nuevos agregados.....               | 14        |
| 3.6 Aplicación de concreto permeable en pavimentos ..... | 15        |
| <b>4. Conclusiones.....</b>                              | <b>16</b> |
| <b>5. Referencias bibliográficas .....</b>               | <b>18</b> |

## **Resumen**

El presente artículo de revisión consiste en impulsar y conocer la aplicación de la influencia del concreto permeable en los pavimentos. El cambio climático está generando una amplia gama de impactos que afectan directamente a la infraestructura vial y sistema de transporte. La vulnerabilidad que se genera en la infraestructura con respecto al cambio climático es altamente sensible al contexto de los pavimentos, por lo cual la ingeniería ha impulsado la creación de nuevos métodos en la construcción e implementando un concreto permeable en pavimentos. El propósito del presente artículo es hacer una comparación y evaluación referente a los resultados de las últimas investigaciones internacionales con respecto a la influencia y aplicación del concreto permeable en los pavimentos como sistema alternativo de drenaje. El concreto permeable o concreto sin finos aplicado a pavimentos tiene una composición diferente al concreto convencional, puesto que se caracteriza por tener una nula o mínima cantidad de agregado fino en la mezcla. El estudio en los últimos años ha recibido mayor importancia, puesto que es ecológicamente amigable, presentando un impacto positivo en la disminución del volumen de contaminantes de la escorrentía de aguas pluviales, como también posible solución a las inundaciones.

## **Palabras Clave**

Palabras clave: Permeable, concreto drenante, pavimentos, permeabilidad.

## **1. Introducción**

El interés por el diseño del concreto drenante o también conocido como concreto permeable (CP), aplicado a los pavimentos ha obtenido una aceptación considerable. En la nueva era lo han denominado como la tecnología emergente debido a su sistema considerado como pavimento ambiental e hidrológicamente sostenible (Debnath & Sarkar, 2020). El CP evita la acumulación de agua proveniente de las lluvias en la superficie y reduce el encharcamiento; sin embargo, la aplicación aún no es muy común en los pavimentos, por lo cual es necesario obtener fuentes de información para desarrollar y aplicar los métodos de diseño e incorporación CP en los pavimentos.

Es por ello que, para generar un desarrollo sostenible de los recursos hídricos producto de la escorrentía de aguas pluviales, es necesario plantear nuevas alternativas de solución con respecto a la gestión de la escorrentía de aguas pluviales, siendo una estas, la implementación de pavimentos permeables (PP) los cuales tienen la capacidad de drenar, almacenar e infiltradas aguas pluviales (Kayhanian, Li, Harvey, & Liang, 2019). Este tipo de solución es considerado una buena práctica de gestión y una alternativa de bajo impacto. Por otra parte, según Kastro Kiran & Anand (2018) el CP está conformado por agregados de diferentes tamaños, por lo cual presentan un patrón de diferentes relaciones de vacíos y propiedades particulares modificadas. La mezcla de CP se diferencia de un concreto tradicional en términos de gradación de los agregados, esto quiere decir, que se tiene escaso o nulo de agregado fino (Moretti, Di Mascio, & Fusco, 2019).

De esta manera, la composición de los agregados y el diseño de mezcla generan una amplia gama de resultados según el tipo de agregado y el tipo de relación de agua/cemento a utilizar en el diseño de mezcla del CP. Es por ello que se necesita evaluar y comparar resultados respecto al coeficiente de permeabilidad, porosidad, resistencia a la compresión y aplicación del CP.

El CP se define por cumplir con características diferenciadas a un concreto tradicional, puesto que el CP presenta un Slump igual a cero, presenta un alto nivel de porosidad en su estructura interna, además de estar compuesta por lo general por agregado grueso, una limitada cantidad de agregado fino, agua, cemento y aditivos (ACI 522R-10, 2010).

Finalmente, mediante el presente artículo se mostrarán resultados de la evaluación y

comparación del CP en cuanto al desempeño de la resistencia a la compresión y permeabilidad. La cual tenga un beneficio de la adaptación de los nuevos conocimientos con respecto al CP.

## 2. Métodos

Para el presente artículo se realizó la revisión y evaluación de 31 artículos científicos internacionales existentes y relevantes de revistas indexadas científicas, por lo cual se interpretará, argumentará, sintetizará y cuestionará los resultados obtenidos en los artículos científicos.

El primer criterio utilizado fue clasificar los artículos científicos según al nombre del título empleado; el segundo criterio usado, fue la revisión de las variables y métodos utilizados por cada autor; el tercer criterio, fue recopilar y citar a los artículos que coincidían en un tema en común con respecto al CP como, por ejemplo:

- Resistencia a la compresión
- Permeabilidad
- Relación agua y cemento
- Efecto secundario en la permeabilidad
- Incorporación de nuevos agregados
- Aplicación del concreto permeable en pavimentos

En ese sentido, los artículos científicos que conforman el presente estudio se encuentran en diecinueve revistas de investigación. Del cual seis revistas, con un total de once artículos científicos contribuyen un mayor aporte al presente trabajo, ya que son del cuartil uno (Q1), además de presentar un factor de impacto como se muestra en la figura 1.



Figura 1: Factor de impacto de las seis revistas del cuartil uno (Q1).

Así mismo, en la figura 2 se muestra la cantidad de artículos científicos que corresponde al cuartil uno, dos y tres. Además, en la figura 3 se presenta el cambio porcentual de los cuartiles con respecto a la cantidad de artículos científicos.

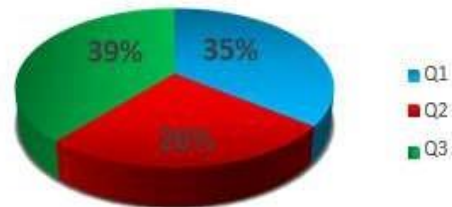
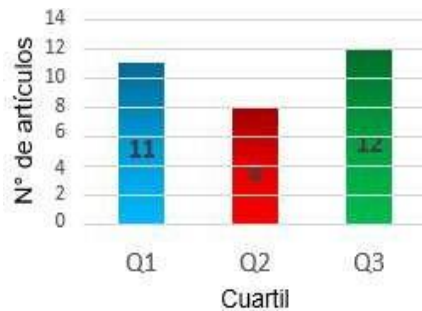


Figura 2: Número de artículos en cuanto al cuartil.

Figura 3: Porcentajes respecto a los cuartiles



Figura 4: Cantidad de artículos según al año de publicación.

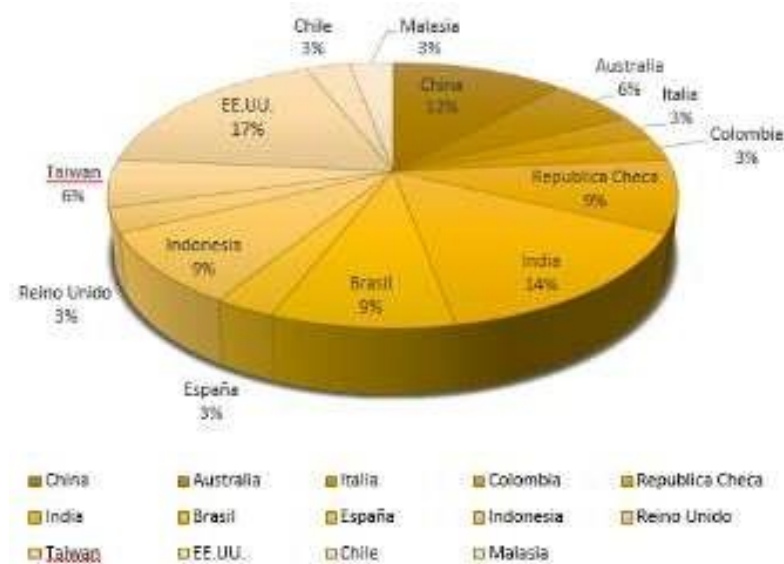


Figura 5: País de origen con respecto a la cantidad artículos científicos

La resistencia a la compresión y la permeabilidad, son las principales propiedades del CP. Puesto que son determinantes en su aplicación como un sistema alternativo de drenaje pluvial, su desempeño dependerá de diferentes variables, las cuales se mencionarán a continuación: tamaño de agregado, relación agua/cemento, cantidad de cemento, hidratación, porosidad y el tipo de agregado. Estas variables definirán cuál será su comportamiento bajo cargas aplicadas y cuál será la durabilidad del CP. A continuación, se detallará de manera más específica de acuerdo con las investigaciones consultadas.

## **2.1 Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión es una de las principales cualidades físicas a evaluar y conocer, puesto que, es determinante para la utilización satisfactoria del CP; ante ello Mazur & Kotwa (2019) demostraron que el CP tiene menor resistencia a la compresión respecto a un concreto estándar. Por ello es necesario evaluar nuevas alternativas y métodos con respecto a la composición de la mezcla del CP.

Por lo cual, para evaluar la resistencia a la compresión Prasad, Lahari Anisha, & Pavan Kumar (2019) ensayaron probetas cilíndricas de dimensiones de 100x200 mm, las cuales fueron ensayadas a los 28 días, utilizando tres tamaños de agregados de 4.75 mm, 10 mm y 11.2 mm, con la finalidad de comprobar si el tamaño de agregado influye en la resistencia a la compresión; mientras que, Kastro Kiran & Anand (2018) ensayaron muestras cúbicas de 10x10x10 cm las cuales fueron ensayadas a los 28 días, además de utilizar agregados del tamaño de 4.75-6 mm, 10-12.5 mm y 10-20 mm. De las cuales se busca identificar la relación que tiene el tamaño de agregado con la resistencia a la compresión.

De lo anterior mencionado, se infiere que las investigaciones coinciden en utilizar el tamaño de agregado como una variable que puede influenciar directa o indirectamente en la resistencia del CP. Además, utilizaron una relación de agua/cemento constante para cada investigación. De manera similar, analizaron la relación del coeficiente de permeabilidad respecto al tamaño de agregado, ya que podría existir una influencia entre estas variables.

## **2.2 Permeabilidad**

La permeabilidad es una característica hidráulica importante en el CP, relacionada con

la cantidad de vacíos, la cual permite que los fluidos superficiales se infiltren por los poros, siendo conducidos por gravedad hacia el subsuelo o almacenados en depósitos (Joshi & Dave, 2016).

De la misma forma, el coeficiente de permeabilidad es variable debido a diferentes factores presentes en la mezcla del CP. Por ello, Batezini & Baldo (2015) analizaron tres mezclas diferentes, variando el tamaño de agregado grueso, para el cálculo de la permeabilidad utilizaron dos métodos diferentes: permeámetro de la cabeza que cae (Falling head permeameter test) y prueba de permeámetro de cabeza constante (Constant head permeameter test). Por lo que se evaluó la influencia de la gradación del agregado grueso con respecto al coeficiente de permeabilidad. De la misma forma, Ribeiro, Dos Santos, Pagnussat, & Brandalise (2018) utilizaron los dos métodos de permeámetro de la cabeza que cae y de cabeza constante, en muestras secas en horno, además analizaron tres tipos de mezclas de CP, variando el tamaño de los agregados. Posibilitando la determinación del coeficiente de permeabilidad.

Otras investigaciones demuestran que los métodos de análisis utilizados en los laboratorios son determinantes en cuanto a los resultados finales, puesto que su aplicación puede generar cambios en el desempeño de la permeabilidad, como por ejemplo la utilización de un rodillo o martillo Proctor, los cuales son más representativos (Costa, Lorenzi, Haselbach, & Silva Filho, 2018). Tal como, Andres, Juli, Jato, & Rodriguez (2018) propusieron evaluar y describir el rendimiento de infiltración del CP, realizando pruebas de permeabilidad a baja carga constante saturada e insaturada; incluyeron varios escenarios de obstrucción para obtener valores más representativos en la permeabilidad. Además de comparar resultados de pruebas in situ y dispositivos de laboratorio a escala.

### **2.3 Relación agua/cemento (A/C)**

Una variable presente en la mezcla del CP, es la relación de A/C. La cual influencia a la resistencia a la compresión y el coeficiente de permeabilidad, además es necesario comparar sistemas de PP (Chen, Chen, Chen, Lecher, & Davidson, 2019).

En ese sentido, Mulyono & Anisah (2019) plantearon una metodología relacionando tres diferentes tipos de tamaños de agregados en la mezcla, variando la relación de A/C en cada muestra, así determinar la relación óptima de A/C y cómo estas variables influyen en el diseño de mezcla y la resistencia a la compresión. De manera similar,



Huang, Li, Wu, & Tang (2020) optaron por analizar la influencia de la relación de A/C en diferentes mezclas del concreto poroso, tomando en cuenta la cantidad de cemento y un rango de A/C de 0.36 - 0.44, de esta manera determinar una mezcla óptima, la cual cumpla con parámetros satisfactorios en base a la resistencia a la compresión y permeabilidad. Por otra parte, Castro, Hernán, & Fernández (2009) analizaron la dosificación en función de la relación de A/C y porcentajes de vacíos. Por cual analizaron dieciocho dosificaciones distintas en losetas de 150x400x550 mm de las cuales realizaron ensayos de resistencia a flexotracción, porcentaje de vacíos y tasa de infiltración. Además de un rango de 0.29 - 0.44 en la relación de A/C; por consiguiente, se planteó hacer más eficaz el uso del cemento para lograr mayor resistencia para cada relación prueba.

Según los métodos mencionados, se buscará conocer la relación de A/C y su influencia en los resultados finales en las mezclas del CP. Por lo cual, es necesario el análisis y la optimización en razón a la cantidad de cemento y agua.

#### **2.4 Efectos secundarios en la permeabilidad**

La permeabilidad en el CP es afectada por la obstrucción sus poros, esto es una deficiencia común en este tipo de infraestructura que causa una pérdida en una de las funciones principales que es la de drenar la escorrentía pluvial (Zhou et al., 2019).

Por lo tanto, Liu, Liu, Han, & Chen (2019) demostraron que el taponamiento en la estructura interna del CP afecta su vida útil, por lo cual los ensayos de laboratorio evidencian resultados donde la estructura del agregado grueso del CP es propicia para filtrar la mayoría de impurezas y aumentar su resistencia al bloqueo de sus poros.

Puesto que, el mantenimiento del PP favorece a la recuperación de la permeabilidad, aunque las investigaciones demuestran que no existe un método único para el mantenimiento debido a la complejidad, debido a que se presentan diferentes situaciones en condiciones reales; recomendando un monitoreo continuo de las superficies y priorizar el estudio la obstrucción en los PP (Razzaghmanesh & Beecham, 2018). Es por ello que, Kia, Wong, & Cheeseman (2019) plantearon un método de estudio en sistemas de PP que sean más duraderos y menos propensos a la obstrucción. Utilizaron muestras cúbicas y cilíndricas de CP incorporando tubos de plástico de un diámetro variable de 3.00 – 6.00 mm, con el fin de verificar su comportamiento ante la prueba de permeabilidad.

Por lo cual, también es necesario evaluar la relación de vacíos del CP, la cual se puede ver influencia por el tamaño y característica del agregado, además de incorporar materiales adicionales que podría favorecer a la permeabilidad (Arifi, Nur Cahya, & Setyowulan, 2020).

## **2.5 Incorporación de nuevos agregados**

La incorporación de agregados no convencionales nos permite conocer nuevas propiedades que hacen que el CP sea óptimo en su utilización.

Ante ello Febriani & Sandy (2020) evaluaron mediante ensayos la resistencia a la compresión con el uso de escoria de níquel como reemplazo del agregado grueso. Por su parte; Nadiatul Adilah, Ayman Mohammed, Ramadhansyah, Rokiah, & Hainin (2020), investigaron respecto al efecto que tienen las muestras con la incorporación de escoria de acero, añadiendo porcentajes de este nuevo agregado en diferentes especímenes, con la finalidad de conocer como afecta su variabilidad porcentual en la resistencia a la compresión mediante los ensayos en laboratorio. Del mismo modo; Ramana, Dana, & Pallavi (2019) propusieron la incorporación de agregado reciclado producto de demoliciones, de forma proporcional en la mezcla del CP, de manera que se pueda estudiar su comportamiento verificando sus características mecánicas que busquen sustentar su viabilidad. En el mismo sentido; Sandoval, Galobardes, Schwantes-Cezario, Campos, & Toralles (2019) evaluaron mediante ensayos, la resistencia a la compresión de especímenes de CP con nuevos agregados tales como escoria de horno eléctrico, desechos cerámicos, concreto reciclado y basalto, comprobando mejores propiedades mecánicas para la muestra de CP con adición de escoria de horno eléctrico. Mientras que; AlShareedah et al. (2019) mediante un proyecto piloto de demostración, incorporaron material compuesto por fibra de carbono curado (por sus siglas en inglés CCFM), como parte del CP, en partículas pequeñas de 2mm. De manera que se estudiaron sus propiedades mecánicas, a fin de comprobar su viabilidad. Finalmente Zhu, Wen, Wang, & Li (2020) y Novak, Kohoutkova, Chylik, & Trtik (2019) analizaron la incorporación de fibras de polipropileno (PPF) en muestras de CP, de modo que se pueda analizar y verificar su influencia en la resistencia a la compresión.

En concordancia con lo referido, las investigaciones coinciden en la utilidad de agregados diferentes a los convencionales, demostrando que existe diversidad de materiales que podrían contribuir en una de las principales características del CP que

es la resistencia a la compresión.

## **2.6 Aplicación de concreto permeable en pavimentos**

La aplicación de CP ha sido utilizada de manera progresiva a fin de disminuir los efectos de escorrentía producto de aguas pluviales en aceras y estacionamientos (Huang, Wu, Shu, & Burdette, 2010).

En este sentido; Sartipi & Sartipi (2019) determinaron mediante datos obtenidos de laboratorio en conjunto con los planes gubernamentales del desarrollo de infraestructura vial de los suburbios del oeste de Sydney, en el caso de emplear PP, se permitirá aumentar la recolección de aguas pluviales, teniendo en cuenta un espesor de pavimento de 15 cm.

De la misma forma; Bonicelli & Pianeta (2019) investigaron sobre la implementación de pavimentos de CP como una superposición sobre una losa de concreto existente destinada para estacionamientos de aeronaves, considerando dos factores, buen soporte estructural por la base existente y funcionalidad del nuevo PP por su capacidad de drenaje. El espesor idóneo de la capa es diseñado mediante la metodología FAA (Administración Federal de Aviación del departamento de transporte de los Estados Unidos) mediante el software FAARFIELD. Se concluye la viabilidad en una escala real, siguiendo los procedimientos adecuados.

En el mismo sentido; Sappa, Ferranti, Lacurto, & De Filippi (2019) evaluaron dos áreas de estacionamientos en la ciudad de Rieti en Italia, que fueron estudiadas bajo precipitaciones de corta duración pero gran intensidad con apoyo del servicio hidrográfico nacional de Italia, donde determinaron que la aplicación de PP contribuye a drenar gran parte de los volúmenes generados por las precipitaciones extremas. Con base a lo previamente mencionado sostienen que los PP son propicios para su utilización en estacionamientos y áreas de poco tránsito.

En relación con lo expresado, se deduce que las investigaciones concuerdan en que los PP son viables para su implementación en estacionamientos y vías de bajo tránsito, además tienen la capacidad de drenar y almacenar gran volumen de escorrentía proveniente de las precipitaciones.

### 3. Análisis y discusión

#### 3.1 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del CP ensayado a los 28 días, en muestras cúbicas y cilíndricas con diferente tamaño de agregado y relación de A/C constante de 0.36 y 0.33 respectivamente. Al analizar los resultados, el agregado de menor tamaño de las muestras cúbicas presenta una mayor resistencia a la compresión, distinto a la muestra cilíndrica del tamaño de 10.00 mm la cual logro la mayor resistencia a la compresión, cabe mencionar que los resultados de la resistencia a la compresión de la muestra cúbica se le aplicó el factor de corrección de 0.96, además de comparar resultados como se muestra en la figura 6.

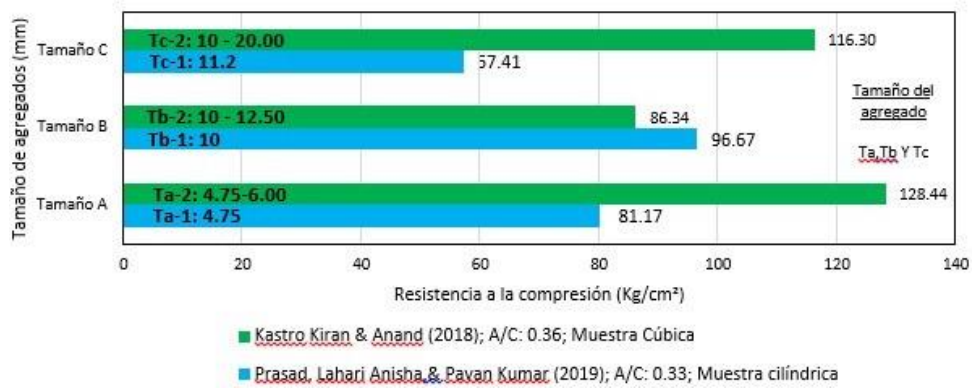


Figura 6: Relación del tamaño de agregado y resistencia a la compresión, a relación constante de agua/cemento.



Figura 7: Relación de la permeabilidad con respecto al tamaño de agregado

En la figura 7, se observa que la permeabilidad presenta variaciones respecto al tamaño de agregado utilizado. Sin embargo, al comparar la resistencia a la compresión con la permeabilidad, no se logra evidenciar una relación directa o inversamente proporcional significativa, esto podría deberse a la limitada población de muestras ensayadas o al tipo de método utilizado para hallar la permeabilidad, debido a que se desconoce la exactitud de los instrumentos empleados en este proceso.

### 3.2 Permeabilidad

En cuanto a las pruebas de permeabilidad del CP, se tienen dos pruebas principales para calcular la permeabilidad utilizando el permeámetro de cabeza variable y de cabeza constante, del cual involucra principios de Bernoulli y Darcy. Además, se relacionan otras variables como el tamaño del agregado y la porosidad de cada muestra. De los resultados de Batezini & Baldo (2015) al utilizar tamaños de agregados similares en sus tres mezclas y una relación de A/C constante de 0.3, no se obtienen cambios notables en la permeabilidad.

Por lo que se discute, que es necesario plantear más alternativas en las mezclas, en cuanto al tamaño de agregado y relación de A/C, para obtener resultados más significativos en el coeficiente de permeabilidad y la resistencia a la compresión. Es por ello que se plantea la siguiente Figura 8, con la finalidad de comprobar resultados que relacionen la permeabilidad y la resistencia a la compresión, a diferente relación de A/C.

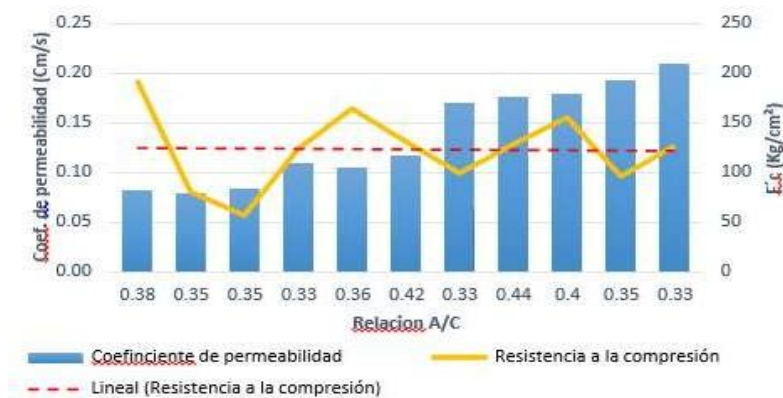


Figura 8: Influencia de la permeabilidad respecto a la resistencia a la compresión.

De la Figura 8, se contempla una ligera relación inversamente proporcional, presente en la resistencia a la compresión y el coeficiente de permeabilidad. Debido a que, al presentar un aumento en la permeabilidad, la tendencia de la curva de la resistencia a la compresión tiene una mínima disminución. Además, si se compara los datos de los extremos se logra observar esta relación inversa. En ese sentido, la cantidad de vacíos o porosidad se relaciona de manera directa con la permeabilidad, esto quiere decir que si aumenta la porosidad se reduciría la resistencia a la compresión del CP. Sin embargo, otras investigaciones cuestionan y pretenden ampliar la metodología con respecto a los resultados de la permeabilidad. Debido a métodos empleados en laboratorio, como la compactación con un martillo proctor y el uso de rodillos. De este hecho, se desprende que su aplicación en la vida real, va estar relacionada con la porosidad y permeabilidad del material, la cual presentara variabilidad según su método de compactación in situ. Además, estos métodos son más representativos. En consecuencia, se podría plantear métodos iniciales de mantenimiento para la preservación de su vida útil. Por otra parte, la permeabilidad bajo condiciones climáticas específicas se desconoce, puesto que en la realidad las lluvias estacionarias y sedimentos podrían afectar la permeabilidad y su trabajabilidad (Costa et al., 2018) y (Andres et al., 2018).

### **3.3 Relación agua/cemento (A/C)**

Una de las variables presente en la mezcla del CP es la relación de A/C, esta variable podría influenciar en los resultados finales en cuanto a la resistencia a la compresión y permeabilidad. Es por ello que, Mulyono & Anisah (2019) concluyeron que, es necesario utilizar un amplio rango en cuanto a la relación de A/C en las mezclas del CP, ya que utilizando tres rangos de 0.27, 0.30 y 0.34, no se puede demostrar claramente una influencia entre el tamaño de agregado con diferente relación de A/C en la resistencia a la compresión. Sin embargo, la cantidad de agua y cemento evidencia cambios en la resistencia a la compresión. Reforzando la idea, Huang et al. (2020) al aplicar un mayor rango en la relación de A/C de 0.36, 0.38, 0.40, 0.42 y 0.44. Además de utilizar diferentes cantidades de cemento, logra presentar más variaciones en la resistencia a la compresión, por lo cual estas variables guardan relación. En ese sentido se analizará la siguiente figura.

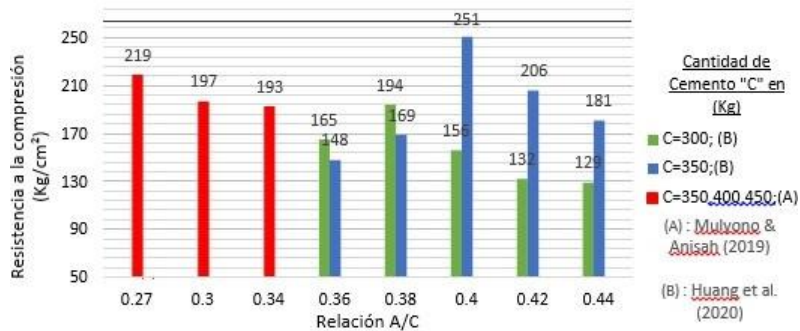


Figura 9: análisis de la relación de A/C y resistencia a la compresión

De la Figura 9, se deduce que al proporcionar más cemento y ampliar la relación de A/C en la mezcla del CP, se logra mayor variabilidad en los indicadores de resistencia a la compresión, a diferencia en cuanto al tamaño de agregado. Por otra parte, se observa del autor (B), que la resistencia a la compresión óptima se logra con la cantidad de 350 kg de cemento y una relación de A/C de 0.4, debido a que si se reduce o aumenta la hidratación se reduce la resistencia a la compresión. De la misma forma para una cantidad fija de cemento de 300 kg su relación de A/C óptima es de 0.38.

Esta variabilidad en la gráfica pudo haber sucedido, debido a que algunos elementos de mezcla no llegaron a hidratarse lo suficiente o como también hubo una mayor hidratación, respecto a la relación de A/C óptima. Por otra parte, el coeficiente de permeabilidad muestra una relación inversamente proporcional con la resistencia a la compresión, en los resultados del autor (B). Después de analizar los resultados, se verifica que la relación de A/C es una variable que influye favorablemente en la resistencia a la compresión, pero se debe tener cuidado con la hidratación de las mezclas de CP.

Por lo tanto, otros investigadores proporcionaron valores finales en relación de A/C de las cuales se obtiene mejores resultados como utilizar 0.3 o un rango de 0.35 - 0.38 (Joshi & Dave, 2016) y (Castro, Hernán, & Fernández, 2009). Sin embargo, no todos los ensayos van tener los mismos resultados, debido a que existe gran cantidad de variables que alteran la mezcla del CP.

### **3.4 Efectos secundarios en la permeabilidad**

La obstrucción de la porosidad es un efecto secundario del CP, altera la función principal que es la de drenar la escorrentía pluvial, además de afectar su vida útil. Los autores de las literaturas consultadas coinciden en que el taponamiento en la estructura interna del CP es un problema concurrente, para ello recomiendan un monitoreo y mantenimiento constante de las superficies. Cabe mencionar que a fin de contrarrestar el efecto de obstrucción de la porosidad del PP, se desarrolló en laboratorio un método que contribuye a que el PP sea más duradero y menos propenso a la obstrucción, que consistió en la implementación de tubos de plástico de un diámetro variable de 3.00 – 6.00 mm en una muestra de CP. Se logró comprobar que se obtiene una estructura de poro uniforme y de baja tortuosidad que cumple con los fines de filtración.

No obstante, para poder comprobar la efectividad de este método, se debería hacer una verificación a escala real, a modo de poder demostrar la viabilidad bajo las condiciones climáticas que permita cumplir con su función principal que es la de drenar la escorrentía pluvial

### **3.5 Incorporación de nuevos agregados**

Con respecto a las muestras ensayadas con la incorporación de nuevos agregados en el CP, se verificaron resultados con porcentajes de agregados mínimos y máximos, así también se tuvo en cuenta la muestra patrón para cada caso, teniendo diversos resultados en la resistencia a la compresión que variaban desde 51.8 kg/cm<sup>2</sup> hasta un máximo de 218.53 kg/cm<sup>2</sup>, estos se tomaron a la edad de 28 días, tal como se muestra en la figura 10.





Figura 10: Comparación de  $f_c$  por tipo de agregado

De la figura mostrada, se puede verificar que por cada muestra ensayada se tuvo diferente relación A/C, que es un factor determinante para mejorar las características mecánicas de la muestra, así también se ha demostrado que el nuevo agregado incorporado no necesariamente mejora la resistencia a la compresión, tal como se puede evidenciar en la muestra de CP con agregado reciclado, debido a que en la muestra patrón se obtuvo un mayor  $f_c$ , esto se debe a la heterogeneidad de los agregados, también a que su superficie no es lo suficientemente rugosa para adherirse mejor a la mezcla. Otro detalle en este agregado es que, a mayor porcentaje, el  $f_c$  disminuye. Con respecto a las otras muestras de CP ensayadas se verifica que a mayor porcentaje de incorporación de nuevo agregado el  $f_c$  aumenta. Esto se puede evidenciar en la muestra de CP con adición de fibra de polipropileno, que tuvo una mejora notable con adición de un 35%, teniendo un  $f_c$  de 218.53 kg/cm<sup>2</sup>, seguida de la muestra de CP con adición de un 70% de escoria de acero que obtuvo 120.33 kg/cm<sup>2</sup>. Estos resultados demuestran que la incorporación de nuevos agregados mejora las características mecánicas del CP dependiendo de la naturaleza del agregado.

### 3.6 Aplicación de concreto permeable en pavimentos

El CP en aplicación de pavimentos contribuye en la recolección de aguas pluviales, sin embargo, sus bajas características mecánicas hacen que su aplicación sea limitada, puesto que el hecho de ser permeable genera que tenga mayor porosidad, por ende, su resistencia a la compresión será baja. Se ha verificado en las investigaciones que su aplicación es destinada para vías de bajo tránsito y estacionamientos, no obstante, como un método alternativo se ha propuesto su aplicación como superposición sobre una

superficie existente de manera que pueda resistir cargas vehiculares de mayor magnitud, y pueda seguir cumpliendo con su capacidad de drenaje como PP. Los investigadores coinciden en que la aplicación de CP en pavimentos contribuye a ser un mecanismo de drenaje para aguas pluviales y que su implementación es considerado un método innovador puesto que ayuda a mitigar problemas de encharcamiento en la superficie del pavimento.

#### **4. Conclusiones**

El presente artículo de revisión servirá como base para futuras investigaciones, puesto que tiene las variables principales del CP. Nos ha permitido conocer e investigar a fondo las características y funcionalidad del CP. Comprender respecto a las variables que influyen en su composición, tales como la resistencia a la compresión, permeabilidad, relación de agua/cemento, hidratación, porosidad y tipo de agregado. Hemos evidenciado la influencia que tiene el CP en pavimentos dado que es eficiente y presenta una capacidad de drenaje óptima, también posee una adecuada resistencia para vías de bajo tránsito, y es considerado como un mecanismo de solución ante eventos de precipitación pluvial. Con respecto a las conclusiones específicas tenemos lo siguiente:

1. La porosidad del CP y el tamaño de agregado presentan una relación directa. A su vez, estas características influyen de manera directa a la permeabilidad. Dado que, al utilizar agregados de menor tamaño se reduce la porosidad. En consecuencia, el coeficiente de permeabilidad se reduciría. Además, se deduce que, al aumentar la permeabilidad, se reduce la resistencia a la compresión en cierta forma, debido a que presentan más espacios internos que quedan sin confinar. Sin embargo, al aumentar la cantidad de cemento o incorporar nuevos agregados, se lograría mejorar las características mecánicas. Aunque, sino existe una correcta hidratación en el diseño de la mezcla no se obtendría esta mejora.
2. Las principales variables que repercuten en la resistencia a la compresión, permeabilidad, porosidad y anti taponamiento, del CP son: el tamaño de agregado, cantidad de cemento, relación A/C, adiciones de nuevos materiales

y aditivos. En ese sentido, se observó que, los agregados de mayor tamaño reducen la resistencia a la compresión, a diferencia de las de menor tamaño. Debido al confinamiento interno de su matriz, dado que las muestras no contienen agregado fino. Pero al variar la relación A/C se evidencia un incremento en la resistencia a la compresión. No obstante, la permeabilidad no presenta cambios significativos cuando se varía la relación A/C.

3. El taponamiento de la estructura interna del CP es un problema recurrente por la alta porosidad que posee y debido a esto, se restringe su función principal que es la de drenar la escorrentía producto de aguas pluviales. Por lo que puede implementarse un método alternativo que es la incorporación de tubos de plástico de un diámetro variable de 3.00 – 6.00 mm en la estructura del CP, generándose una estructura de poro uniforme y baja tortuosidad que permita cumplir su función de drenar la escorrentía proveniente de las aguas pluviales. Cabe recalcar que, para determinar su viabilidad a escala real, se debe llevar a cabo la relación costo-beneficio, porque si bien es cierto podría mitigar los efectos de obstrucción, pero también debe evaluarse la parte económica del proyecto.
  
4. La incorporación de nuevos agregados en el CP permite que su aplicación sea cada vez más viable, puesto que contribuye a mejorar sus características mecánicas. Se evaluaron diversos agregados diferentes a los convencionales, verificándose que no todos contribuyen necesariamente a mejorar sus características mecánicas, en algunos casos no se tuvieron los resultados esperados, como en el caso de la muestra de CP con agregado reciclado que con un 50% llegó a tener un  $f'c$  de 58.84 kg/cm<sup>2</sup>; mientras que la muestra patrón tuvo 113.39 kg/cm<sup>2</sup>. En otras muestras si se pudo comprobar que la resistencia a la compresión mejoró notablemente, tal es el caso de la muestra de CP con fibra de polipropileno que con la incorporación de un 35% llegó a tener un  $f'c$  de 218.53 kg/cm<sup>2</sup>. Siendo esta la que obtuvo mayor  $f'c$ , entre todas las muestras evaluadas.
  
5. Se ha demostrado que la aplicación de CP en pavimentos es viable de acuerdo con las investigaciones consultadas, los autores coinciden en que se puede

implementar en estacionamientos y vías de bajo tránsito debido a las características del CP, no obstante, mediante la incorporación de nuevos agregados se podría diversificar su implementación en proyectos de infraestructura vial. Su inclusión en los proyectos viales puede ayudar a mitigar problemas de encharcamiento, mejorar el manejo de la congestión vehicular en carreteras durante eventos de precipitación pluvial y contribuir a la gestión de almacenamiento de aguas pluviales. Cabe recalcar que un adecuado mantenimiento periódico de la vía contribuirá a evitar problemas de obstrucción en la estructura de CP.

## **5. Referencias bibliográficas**

- ACI 522R-10. (2010). Report on Pervious Concrete. Michigan: American Concrete Institute.
- AlShareedah, O., Nassiri, S., Chen, Z., Englund, K., Li, H., & Fakron, O. (2019). Field performance evaluation of pervious concrete pavement reinforced with novel discrete reinforcement. *Case Studies in Construction Materials*, 10, 1-11, doi: 10.1016/j.cscm.2019.e00231.
- Andres, V., Juli, G., Jato, E., & Rodriguez, H. (2018). Characterization of the infiltration capacity of porous concrete pavements with low constant head permeability tests. *Water (Switzerland)*, 10(4), art. no. 480. doi:10.3390/w10040480
- Arifi, E., Nur Cahya, E., & Setyowulan, D. (2020). The Influence of Various Materials to the Void Ratio of Pervious Concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 437(1), art. no. 012016. doi:10.1088/1755-1315/437/1/012016
- Batezini, R., & Baldo, J. T. (2015). Study on the hydraulic conductivity by constant and falling head methods for pervious concrete. *IBRACON de Estruturas e Materiais*, 8(3), 248-259. doi:https://doi.org/10.1590/S1983-41952015000300002
- Bonicelli, A., & Pianeta, L. (2019). Performance and Applications of Pervious Concrete Pavement Material as an Overlay on Existent Concrete Slabs. *IOP*

- Conference Series: Materials Science and Engineering, 471(3), 1-9, doi:10.1088/1757-899X/471/3/032061.
- Castro, J., Hernán, V., & Fernández, B. (2009). Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón. *Ingeniería de construcción*, 24(3), 271-284. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732009000300005>
- Chen, L.-M., Chen, J.-W., Chen, T.-H., Lecher, T., & Davidson, P. (2019). Measurement of Permeability and Comparison. *Water* (Switzerland), 11(3), art. no. 444. doi:10.3390/w11030444
- Costa, F. B., Lorenzi, A., Haselbach, L., & Silva Filho, L. C. (2018). Best practices for pervious concrete mix design and laboratory tests. *IBRACON de Estruturas e Materiais*, 11(5), 1151-1159. doi:<https://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952018000500013>
- Debnath, B., & Sarkar, P. (2020). Characterization of pervious concrete using over burnt brick as coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, 242, 1-12, doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118154.
- Febriani, L., & Sandy, D. (2020). Application of viscosity modifying admixture (VMA) in eco-friendly concrete. *Journal of Physics: Conference Series*, 1464(1), 1-6, doi: 10.1088/1742- 6596/1464/1/012051.
- Huang, B., Li, Y., Wu, C., & Tang, C. (2020). Determination of pervious concrete mix by strength. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 812(1), art. no. 012015. doi:DOI: 10.1088/1757-899X/812/1/012015
- Huang, B., Wu, H., Shu, X., & Burdette, E. (2010). Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 24(5), 818-823, doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.10.025.
- Joshi, T., & Dave, U. (2016). Evaluation of strength, permeability and void ratio of Pervious concrete with changing W/C ratio and aggregate size. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 7(4), pp. 276-284. Obtenido de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84995646310&partnerID=40&md5=0c8f476bd6be81d888332164583e7b>
- Kastro Kiran, V., & Anand, K. (2018). Study on identically voided pervious concrete made with different sized aggregates. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 310(1). doi:10.1088/1757-899X/310/1/012064

- Kayhanian, M., Li, H., Harvey, J., & Liang, X. (2019). Application of permeable pavements in highways for stormwater runoff management and pollution prevention: California research experiences. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 8(4), 358-372, doi: 10.1016/j.ijtst.2019.01.001.
- Kia, A., Wong, H., & Cheeseman, C. (2019). High-strength clogging resistant permeable pavement. *International Journal of Pavement Engineering*. doi:10.1080/10298436.2019.1600693
- Liu, D., Liu, X., Han, W., & Chen, J. (2019). Research on the anti-plugging property of permeable concrete pavement. *E3S Web of Conferences*, 57. doi:10.1051/e3sconf/20185701002
- Mazur, B., & Kotwa, A. (2019). Porous concrete as an anti-aquaplaning building material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(3). doi:10.1088/1757-899X/471/3/032027
- Moretti, L., Di Mascio, P., & Fusco, C. (2019). Porous concrete for pedestrian pavements. *Water (Switzerland)*, 11(10), 1-13, doi:10.3390/w11102105.
- Mulyono, T., & Anisah. (2019). Laboratory Experiment: Pervious Concrete for Permeable Pavement, Focus in Compressive Strength and Permeability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 366(1). doi:10.1088/1755-1315/366/1/012019
- Nadiatul Adilah, A., Ayman Mohammed, S., Ramadhansyah, P., Rokiah, O., & Hainin, M. (2020). The Influence of Steel Slag as Alternative Aggregate in Permeable Concrete Pavement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 712(1), 1-8, doi:10.1088/1757-899X/712/1/012011.
- Novak, J., Kohoutkova, A., Chylik, R., & Trtik, T. (2019). Study on pervious recycled aggregate fiber-reinforced concrete for airfield pavement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 770 (1), 1-7, doi:10.1088/1757-899X/770/1/012040.
- Prasad, K., Lahari Anisha, S., & Pavan Kumar, N. (2019). Experiment on mechanical properties of pervious concrete. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2 Special Issue 8), 1004-1007. doi:10.35940/ijrte.B1192.0882S819
- Ramana, N., Dana, S., & Pallavi, K. (2019). Performance of recycled aggregate in

pervious concrete. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9 (1), 233-238, doi:10.35940 / ijitee. A4003 .119119.

- Razzaghmanesh, M., & Beecham, S. (2018). A review of permeable pavement clogging investigations and recommended maintenance regimes. *Water (Switzerland)*, 10(3), art. no. 337. doi:10.3390/w10030337
- Ribeiro, A., Dos Santos, V., Pagnussat, D. T., & Brandalise, R. N. (2018). Assessment of a system for the prediction of water permeability. *Cerâmica*, 64(372), 519-525. doi:https://dx.doi.org/10.1590/0366-69132018643722445
- Sandoval, G., Galobardes, I., Schwantes-Cezario, N., Campos, A., & Toralles, B. (2019). Correlation between permeability and porosity for pervious concrete (PC). [Correlación de la permeabilidad y la porosidad para el concreto permeable (Cope)]. *DYNA (Colombia)*, 86(209), 151-159, doi:10.15446/dyna.v86n209.77613.
- Sappa, G., Ferranti, F., Lacurto, S., & De Filippi, F. (2019). A Method to Contrast the Impact of Extreme Precipitation: A Case Study from Central Italy. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(10), 1-7, doi:10.1088/1757-899X/471/10/102052.
- Sartipi, M., & Sartipi, F. (2019). Stormwater retention using pervious concrete pavement: Great Western Sydney case study. *Case Studies in Construction Materials*, 11, 1-8, doi: 10.1016/j.cscm.2019.e00274.
- Zhou, H., Li, H., Abdelhady, A., Liang, X., Wang, H., & Yang, B. (2019). Experimental investigation on the effect of pore characteristics on clogging risk of pervious concrete based on CT scanning. *Construction and Building Materials*, 212, 130-139, doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.03.310.
- Zhu, H., Wen, C., Wang, Z., & Li, L. (2020). Study on the permeability of recycled aggregate pervious concrete with fibers. *Materials*, 13(2), 1-18, doi:10.3390/ma13020321.