

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela profesional de ingeniería civil



Una Institución Adventista

Estudio y Evaluación del concreto permeable en un pavimento rígido según la Norma ACI 522R-10

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

Por:

Luis Fernando Llerena Torrejón

Juan Carlos Ticlla Sánchez

Asesor:

Ing. Giuliano Ricardo Moreno Patiño

Lima, noviembre 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

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 y Evaluación del concreto permeable en un pavimento rígido según la Norma ACI 522R-10” constituye la memoria que presenta los estudiantes Luis Fernando Llerena Torrejón y Juan Carlos Ticlla Sánchez 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 ese trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Lima, a los 21, noviembre del 2020.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Giuliano Ricardo Moreno Patiño', written over a faint dotted line.

Giuliano Ricardo Moreno Patiño

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a.....los.....19.....día(s) del mes de.....Noviembre.....del año 2020...siendo las.....18:00..... horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):..... Ing. Fiorella Maira Zapata Antezana....., el (la) secretario(a)..... Ing. Carlos Franck Yoctun Rios..... y los demás miembros: Ing. Roberto Roland Yoctun Rios..... 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 y Evaluación del concreto permeable en un pavimento rígido según la Norma ACI 522R-10". de los (las) egresados (as):

.....a)..... **LUIS FERNANDO LLERENA TORREJON**.....

.....b)..... **JUAN CARLOS TICLLA SÁNCHEZ**.....

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): **LUIS FERNANDO LLERENA TORREJON**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	14	C	ACEPTABLE	BUENO

Candidato/a (b): **JUAN CARLOS TICLLA SÁNCHEZ**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	14	C	ACEPTABLE	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. Fiorella Maira
Zapata Antezana



Secretario
Ing. Carlos Franck
Yoctun Rios

Asesor
Ing. Giuliano Ricardo
Moreno Patiño

Miembro

Miembro
Ing. Roberto Roland
Yoctun Rios

Candidato (a)
Luis Fernando Llerena
Torrejón

Candidato/a (b)
Juan Carlos Ticlla
Sánchez

Estudio y Evaluación del concreto permeable en un pavimento rígido según la Norma ACI 522R-10

Study and Evaluation of pervious concrete in a rigid pavement according to ACI Standard 522R-10

LUIS FERNANDO LLERENA TORREJÓN ^{a1}, JUAN CARLOS TICLLA SÁNCHEZ ^a

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

Resumen:

El presente artículo tiene como finalidad el estudio y evaluación de un pavimento rígido permeable que evacúe aguas pluviales por medio de su estructura, basado en la norma estadounidense del American Concrete Institute (ACI) 522R-10. Para ello se analizaron resultados obtenidos por cinco autores verificando que sus diseños realizados cumplan con los parámetros establecidos por la norma. Por lo que se concluyó que el diseño planteado por Bautista cumplió con los parámetros mínimos requeridos que señala la Norma CE. 010 – Pavimentos Urbanos, como son la resistencia a la compresión de 175 kg/cm² y el módulo de rotura de 37 kg/cm²; así como el coeficiente de permeabilidad que estipula la norma ACI 522R-10, cuyo rango es de 0.2 y 0.54 cm/s. Dicho diseño se puede aplicar para pavimentos rígidos.

Palabras claves: *Pavimento, rígido, vacíos, permeabilidad, resistencia.*

Abstract:

The purpose of this article is the study and evaluation of a rigid permeable pavement that evacuates rainwater through its structure, based on the American standard of the American Concrete Institute (ACI) 522R-10. For this, the results obtained by five authors were analyzed, verifying that their designs met the parameters established by the standard. Therefore, it was concluded that the design proposed by Bautista complied with the minimum required parameters indicated in the CE Standard. 010 - Urban Pavements, such as the compressive strength of 175 kg/cm² and the breaking modulus of 37 kg/cm²; as well as the permeability coefficient stipulated by the ACI 522R-10 standard, whose range is 0.2 and 0.54 cm / s. This design can be applied for rigid pavements.

Key words: *Pavement, rigid, voids, permeability, resistance.*

¹ Autor de correspondencia: Llerena Torrejon Luis Fernando
Km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lima
E-mail: Luisllerena@upeu.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Los pavimentos cubren alrededor del 30 %-45 % de las superficies urbanas. Por tanto, su gestión es fundamental en el bienestar social. De hecho, su relevancia está destinada a crecer en el futuro, dado que los pavimentos urbanos pueden desempeñar un papel decisivo en la mitigación de dos de los mayores desafíos de los próximos años: la urbanización y el cambio climático. (Jato et al. 2019).

El concreto permeable es un material fabricado de manera similar al concreto regular, pero utiliza menor cantidad de cemento con poco o sin agregados finos, permitiéndole espacios vacíos entre sus partículas, de ahí su comportamiento permeable. (Patiño 2013).

La ocupación del suelo en el medio urbano se caracteriza por el aumento del área impermeable, ocasionando el aumento del escurrimiento superficial (crecidas), la degradación de la calidad de las aguas urbanas y la disminución de la recarga de las aguas subterráneas. (Zegarra, Santos, and De Fátima 2015).

Una propuesta es la utilización de dispositivos de regulación del drenaje, en ese contexto, los pavimentos permeables son dispositivos que reducen el pico del escurrimiento superficial, aumentan la infiltración y la evaporación. (Andersen, Foster, and Pratt 1999).

PARÁMETROS NORMATIVOS- ACI 522R-10:

Relación agua-cemento

De acuerdo al ACI 522R-10 y según estudios realizados al concreto permeable este parámetro tiene una relación de agua-cemento que está entre 0.28 y 0.40. (American Concrete Institute 2010).

La relación agua cemento adecuada también depende del tamaño máximo del agregado utilizado, la granulometría, la relación agregado grueso/ cemento y el uso de aditivos. Por esta razón, se recomiendan relaciones agua cemento cercanas a 0.30, este valor puede variar ante la influencia de las variables anteriores. (Fernández and Navas 2011).

Porcentaje de vacíos

El término "concreto permeable" típicamente describe un material de decantación abierta casi cero que consiste en cemento portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes producirá un material endurecido con poros conectados, que varían en tamaño de 0.08 a 0.32 pulg. (2 a 8 mm), que permiten que el agua pase fácilmente. El contenido vacío puede variar de 15 a 35%. (American Concrete Institute 2010).

Resistencia a la compresión y capacidad de drenaje

De acuerdo al ACI 522R-10 el pavimento permeable tiene una resistencia a la compresión típicas de 400 a 4000 psi (2.8 a 28 MPa). La tasa de drenaje del pavimento de concreto permeable variará con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla, pero generalmente caerá en el rango de 2 a 18 galones. / min / ft² (81 a 730 l / min / m²). (American Concrete Institute 2010).

Relación agregado grueso-cemento

Relaciones bajas agregado/cemento implican que existe un mayor porcentaje de pasta, capaz de proveer mejores enlaces entre las partículas de agregado y con ello aumentar las resistencias. Sin embargo, este aumento porcentual de pasta implica que se rellene mayor cantidad de vacíos lo cual provocará disminuciones en la permeabilidad. (Fernández and Navas 2011).

La relación AG/c varía entre 4/1 y 8/1, llegando a la conclusión de que la permeabilidad no se ve seriamente afectada por esta variable mientras la pasta no provoque obstrucciones. Sin embargo, se descubrió que las relaciones AG/c que brindan resistencias aceptables para pavimentos se encuentran entre 4/1 y 5/1 como máximo. (Mulligan 2005).

DESARROLLO:

Los autores procedieron a realizar la dosificación para el diseño del concreto permeable, así como para la preparación de sus muestras que se requieren para los diferentes ensayos.

(Bautista 2018) para poder determinar la resistencia a la compresión elaboró 30 probetas cilíndricas y para flexión elaboró 24 vigas, realizándose el proceso de desencofrado a las 24 horas de su elaboración, colocándolas en una poza de curado a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, luego del curado se procedió a realizar los ensayos del concreto en estado endurecido, ensayándolas en la prensa hidráulica digital, tomando como base la NTP 339.034 para determinar la resistencia a la compresión del concreto en las probetas cilíndricas, así mismo se determinó la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas basándose en la NTP 339.078. Luego se procedió a realizar la determinación de la densidad y el contenido de vacíos para el concreto permeable endurecido basándose en la ASTM C-1754, finalmente se realizó el ensayo de infiltración siguiendo los parámetros establecidos en la norma ACI 522R-10.

(Amorós and Bendezú 2020) realizó el diseño de mezcla del concreto permeable con una resistencia de 210 kg/cm^2 , aplicando el método ACI 522R para poder aplicarlo como una alternativa de carpeta de rodadura en pavimentos. Para ello realizó diferentes diseños de mezcla en laboratorio hasta encontrar el diseño óptimo para obtener una resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 , el diseño de mezcla elegido contaba con las siguientes características: relación agua/cemento de 0.38, porcentaje de vacíos de 13%, 1.5% de aditivo Superplastificante y 7% de arena. Al concreto en estado fresco se le analizaron sus características de consistencia, densidad y contenido de vacíos; en el estado endurecido se realizaron los ensayos de compresión y permeabilidad, además de aplicarle una prueba de carga.

(Saavedra 2010) elaboró un concreto permeable de ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$). Los porcentajes que se estudiaron son 5%, 10% y 15% con respecto a la arena. En lo que se analizó la influencia de la sustitución del relave por arena en la resistencia a compresión y permeabilidad. Del mismo modo los diferentes materiales utilizados para conocer sus propiedades físicas y mecánicas, de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas y el ACI 522R-10. Para ello, se evaluaron cuatro mezclas de concreto permeable. De cada mezcla se elaboraron 9 probetas de $6'' \times 12''$ para el ensayo de resistencia a la compresión (ASTM C39 y ACI 522R-10); tres probetas de $4'' \times 8''$ para el ensayo de permeabilidad (ACI 522R-10). En el diseño de mezclas se han tomado como variables el porcentaje de vacíos, la relación a/c y el tipo de agregado grueso (forma y tamaño máximo).

(Príncipe 2018) trabajó con 27 probetas para compresión y 12 probetas para prueba de infiltración. Su metodología de análisis del comportamiento del concreto se basó en las normas ACI y ASTM respectivamente para el diseño de un pavimento permeable.

(Araujo and Roman 2017) evaluó la permeabilidad y la resistencia a la compresión del concreto permeable. Se realizó el diseño de mezcla del concreto permeable con 15% de

vacíos según la norma ACI 522R-10, se evaluó una muestra de concreto permeable, para los ensayos a compresión y se elaboró 4 probetas las cuales fueron ensayadas a los 7, 14 Y 28 días de curado según la norma ASTM C 39; ensayando un total de 12 probetas, para el ensayo de infiltración del concreto se elaboró 1 panel según la norma ASTM C 1701.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN SEGÚN LA NORMA ACI 522R-10.

Los resultados de las investigaciones fueron contrastados con la Norma ACI 522R-10, con la NTP y la ASTM utilizados para el desarrollo y obtención de resultados para su evaluación.

Determinando la resistencia a la compresión según la Norma NTP 339.034.

Tabla 1. Resultados de Resistencia a la Compresión

	Autores	N° probetas	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm ²)		
			7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
1	Bautista, Alessandro	10	107.22	134.76	177.98
2	Amorós, Carlos	8	203.65	241.91	280.56
3	Saavedra, Falcón	9	138.21	162.24	179.76
4	Príncipe, Max	27	115.60	123.40	146.60
5	Araujo, Helder	12	92.00	102.00	159.00

Fuente. Elaboración propia.

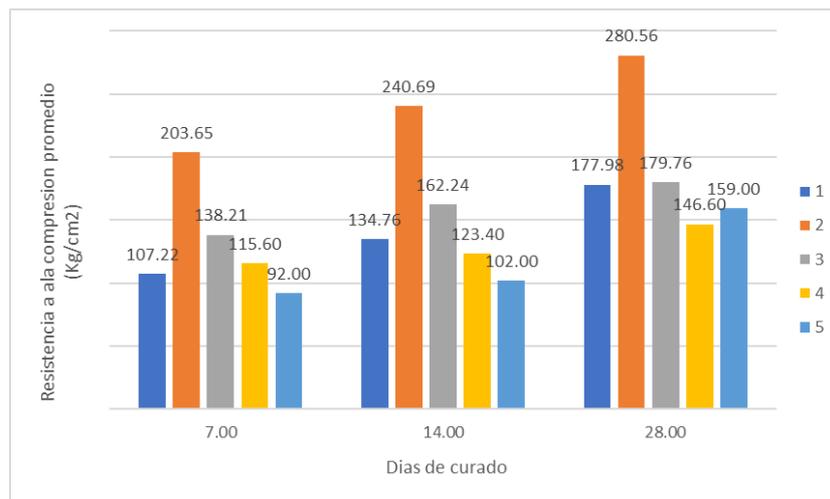


Gráfico 1. Resultados de Resistencia a la Compresión. **Fuente.** Elaboración propia.

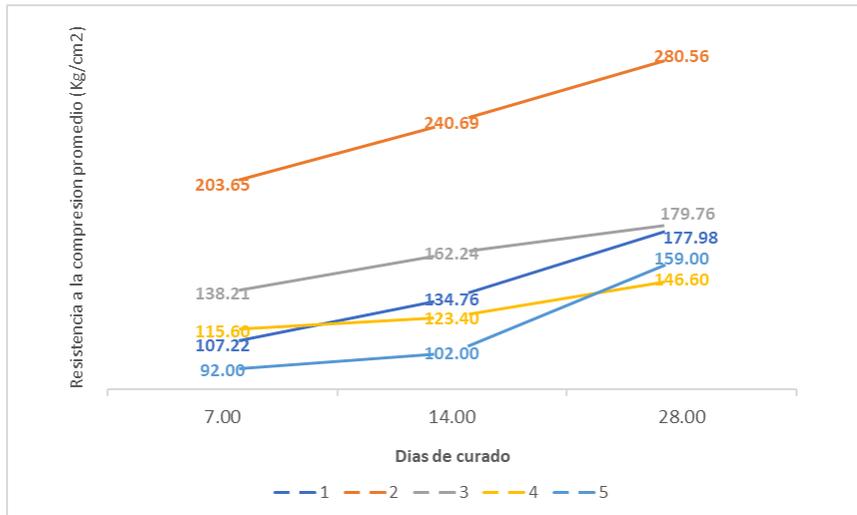


Gráfico 2. Resultados de Resistencia a la Compresión. **Fuente.** Elaboración propia.

Como se puede observar en los gráficos y tomando como referencia la norma técnica CE.10 pavimentos urbanos (ICG 2010) nos dice que la resistencia mínima para un pavimento especial es de 175 kg/cm². Por lo que podemos decir que la resistencia alcanzada por Bautista con un valor de 178.98kg/cm², Amorós con un valor de 280.56kg/cm² y Saavedra con un valor de 179.76kg/cm² superando la resistencia mínima. Teniendo en cuenta que cada autor tomo un diseño de mezcla diferencia.

Determinando el contenido de vacíos según la Norma ASTM C1754.

Tabla 2. Resultados de Porcentaje de Vacíos

Autores		Relacion de Vacios (%)
		28 DÍAS
1	Bautista, Alessandro	19.04%
2	Amorós, Carlos	13.00%
3	Saavedra, Falcón	22.58%
4	Príncipe, Max	26.20%
5	Araujo, Helder	15.00%

Fuente. Elaboración propia.

Como se puede observar en los resultados y tomando como referencia la norma ACI Standard 522R-10 que nos dice que el rango de un concreto permeable es de 15 a 35%. Podemos decir que el contenido de vacíos de los diseños realizados por los autores está dentro del rango mínimo requerido en excepción del del autor Amorós el cual tiene un 13% de contenido de vacíos.

Determinando la capacidad de infiltración según la Norma ACI 522R-10.

Tabla 3. Resultados de Permeabilidad

Autores		k (cm/s)
1	Bautista, Alessandro	0.20
2	Amorós, Carlos	1.61
3	Saavedra, Falcón	1.42
4	Príncipe, Max	1.36
5	Araujo, Helder	0.50

Fuente. Elaboración propia.

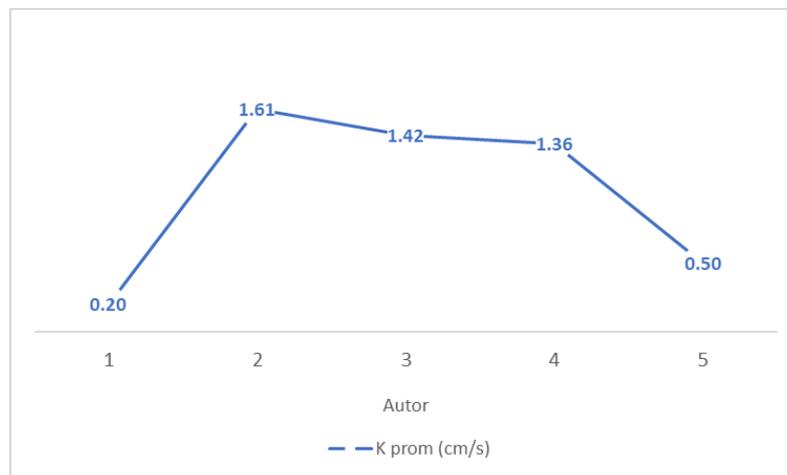


Gráfico 3. Resultados de Permeabilidad. **Fuente.** Elaboración propia.

Como se puede observar en el gráfico y tomando como referencia la norma ACI Standard 522R-10 que nos dice que El rango de un concreto permeable es de 0.20 a 0.54 cm/s. Podemos decir que Bautista con un a infiltración de 0.20cm/s y Araujo con una infiltración de 0.50 cm/s. cumplen con los parámetros mínimos requeridos. Mientras que los autores restantes superan dicho rango exponencialmente.

CONCLUSIONES:

Analizando los resultados obtenidos se concluye que las resistencias obtenidas por los cinco autores que varían entre los valores de 146.60 kg/cm² (Príncipe) y 280.56 kg/cm² (Amorós) a los 28 días de curado, por lo que cumplen con los parámetros establecidos por la norma ACI Standard 522R-10 la cual establece que la resistencia a la compresión es de 28 kg/cm² a 280 kg/cm². Por otro lado, al analizar los resultados con la norma C.E

010 – pavimentos urbanos solo tres de los autores analizados (Bautista con un valor de 178.98kg/cm², Amorós con un valor de 280.56kg/cm² y Saavedra con un valor de 179.76kg/cm²) cumplen con el parámetro mínimo establecido para resistencia a la compresión que es de 175kg/cm².

La permeabilidad obtenida por Bautista 0.20 cm/s y Araujo 0.50 cm/s cumplen los parámetros establecidos por la norma ACI Standard 522R-10 que varían de 0.20 cm/s a 0.54 cm/s el cual tiene una estrecha relación con el contenido de vacíos y la resistencia que pueden llegar a tener a los 28 días de curado.

Finalmente, al hacer la comparación entre los autores analizados se llegó a la conclusión que el diseño que cumple con los parámetros mínimos y máximos es el diseño del autor Bautista con una resistencia a la compresión de 178.98kg/cm² y una infiltración de 0.20 cm/s. en un tiempo de curado de 28 días.

REFERENCIAS:

American Concrete Institute. 2010. “ACI 522R-10 Report on Pervious Concrete.” 38. Retrieved (<https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/51663557>).

Amorós, Carlos Enrique, and José Carlos Bendezú. 2020. “Diseño de Mezcla de Concreto Permeable Para La Construcción de La Superficie de Rodadura de Un Pavimento de Resistencia de 210 Kg / cm².”

Andersen, C. T., I. D. L. Foster, and C. J. Pratt. 1999. “The Role of Urban Surfaces (Permeable Pavements) in Regulating Drainage and Evaporation: Development of a Laboratory Simulation Experiment.” *Hydrological Processes* 13(4):597–609.

Araujo, Helder, and Darwin Mijael Roman. 2017. “Diseño de Un Concreto Permeable Con Agregado Grueso Del Río Huallaga En La Ciudad de Tarapoto, Provincia Y Departamento de San Martín, 2019.”

Bautista, Alessandro Jesus. 2018. “Diseño de Pavimento Rígido Permeable Para La Evacuación de Agua Pluviales Según La Norma ACI 522R-10.” 157.

- Fernández, Roberto J., and Alejandro Navas. 2011. "Diseño de Mezclas Para Evaluar Su Resistencia a La Compresión Uniaxial Y Su Permeabilidad." *Infraestructura Vial* 13(24):40–49.
- ICG. 2010. *Norma Técnica Ce. 010 Pavimentos Urbanos*.
- Jato, Daniel, Valerio C. Andrés, Jorge Rodríguez, and Daniel Castro. 2019. "Pavimentos Urbanos Permeables." *Revista de Obras Publicas* 166(3607):32–36.
- Mulligan, Ann. 2005. "Attainable Compressive Strength of Pervious Concrete Paving Systems." (2005):132.
- Patiño, Oscar. 2013. "El Concreto Permeable: Uso Y Estándares." *Mente & Materia* 4(2219–9861):22–23.
- Príncipe, Max André. 2018. "Comportamiento Del Concreto Permeable Con 20% de Vacíos Utilizando Agregado Grueso de Tres Canteras - Huaráz."
- Saavedra, Falcón Ever. 2010. "Resistencia de Un Concreto Permeable $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ Sustituyendo 5%, 10% Y 15% de Relave Por Agregado Fino."
- Zegarra, Jorge Luis., Jeferson Santos, and Miriam De Fátima. 2015. "Escurrimiento En Pavimentos de Bloques de Suelo-Cemento: Un Abordaje Experimental." *Ingeniería, Investigación Y Tecnología* 16(1):35–47.