

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Evaluación de la resistencia de un concreto permeable aplicando microsílíce
como aditivo según la norma ACI 522-R10**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Jose Martin Ayala Mas

ASESOR

Juan Jacobo Sanchez Bautista

<https://orcid.org/0000-0003-2820-8789>

Chiclayo, 2024

**Evaluación de la resistencia de un concreto permeable aplicando microsílíce
como aditivo según la norma ACI 522-R10**

PRESENTADA POR
Jose Martin Ayala Mas

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Wilson Martin Garcia Vera
PRESIDENTE

Fidel Ortiz Zapata
SECRETARIO

Juan Jacobo Sanchez Bautista
VOCAL

Dedicatoria

Este logro no habría sido posible sin mi familia, su constante apoyo, aliento y amor incondicional fueron un elemento importante para mí. Cada paso en este viaje académico ha estado marcado por su presencia, inspirándome a alcanzar nuevas alturas y superar desafíos.

A través de sus palabras de aliento, paciencia y comprensión, han sido mi roca en los momentos difíciles y mi mayor celebración en los triunfos. A cada uno de ustedes, mi familia, les dedico este logro con todo mi corazón. Que esta tesis sea un tributo a nuestra unión, a nuestro amor y a la fuerza que nos impulsa a seguir adelante juntos.

Agradecimientos

Doy gracias a Dios Padre omnipotente, por la vida y la salud que siempre me otorga.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia por su inquebrantable apoyo y ánimo durante todo el proceso de mi carrera universitaria. Su amor, fuerza, comprensión y paciencia han sido mis pilares de fuerza durante los momentos difíciles. Su fe en mí ha sido una fuente constante de motivación, impulsándome a buscar la excelencia en cada aspecto de mi vida.

A mis padres, sus sacrificios y aliento interminable me han moldeado en la persona que soy hoy. Su fe inquebrantable en mis habilidades ha alimentado mi determinación para perseguir mis sueños incansablemente. Estoy profundamente agradecido por su guía, sabiduría y amor incondicional.

A mis hermanos, su apoyo constante, comprensión y camaradería han hecho que este viaje no solo sea soportable, sino también agradable. Su creencia en mis capacidades me ha dado la confianza para superar obstáculos y alcanzar mis metas.

A mis tíos, abuelos y mi primo hermano, gracias por su aliento, comprensión y creencia en mis habilidades. Sus palabras de ánimo y actos de amabilidad me han mantenido en marcha, incluso durante los momentos más difíciles.

También, quiero agradecer a mi mentor espiritual, el Obispo de Emérito de Lambayeque y Ex Canciller de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Jesús Moliné Labarta, por ser siempre mi guía, apoyo y un gran amigo en toda mi trayectoria de vida.

Estoy profundamente agradecido con cada uno de ustedes por ser una parte significativa de mi trayecto. Su apoyo ha sido invaluable, y me siento increíblemente afortunado de tenerlos en mi vida.

Tesis Final_AYALA_7.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%	11%	1%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	Submitted to University of North Carolina, Greensboro Trabajo del estudiante	1%
3	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to uni Trabajo del estudiante	1%
7	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	idoc.pub Fuente de Internet	

Índice

Resumen	6
Abstract	7
Introducción.....	8
Revisión de literatura.....	8
Materiales y métodos	11
Resultados y discusión	38
Ensayo a tracción diametral	40
Ensayo para módulo de elasticidad.....	45
Ensayo para Penetración de Cloruros.....	58
Conclusiones	67
Recomendaciones	69
Referencias.....	70
Anexos	72

Resumen

El concreto permeable se puede ver como una innovación relevante en el sector constructivo debido a su capacidad para filtrar líquidos, siendo ideal para pavimentos en áreas de poco tráfico. Esta investigación se centra en evaluar la resistencia del concreto permeable al agregar micro sílice, un aditivo multifuncional que mejora la cohesión y resistencia del material. La realización fue muestras para los ensayos de compresión, tracción diametral, penetración de cloruros, módulo de elasticidad y permeabilidad en muestras de concreto permeable convencional y modificado. Los resultados indican que la micro sílice incrementa significativamente la resistencia a la compresión y diametral, así como el módulo de elasticidad. Sin embargo, la penetrabilidad a cloruros sigue siendo moderada, subraya la relevancia de tomar en cuenta la durabilidad del concreto en condiciones de exposición a cloruros.

Palabras clave: concreto, permeable, sílice, resistencia, permeabilidad, huecos, cloruros, elasticidad.

Abstract

Pervious concrete is a relevant innovation in construction due to its ability to filter liquids, making it ideal for pavements in low-traffic areas. This research focuses on evaluating the strength of pervious concrete by adding micro silica, a multifunctional admixture that improves the cohesion and strength of the material. Compression, diametral tensile, chloride penetration, modulus of elasticity and permeability tests were carried out on samples of conventional and modified pervious concrete. The results indicate that microsilica significantly increases the compressive and diametral strength, as well as the modulus of elasticity. However, chloride penetrability remains moderate, highlighting the importance of considering the durability of concrete under chloride exposure conditions.

Keywords: Concrete, permeable, silica, strength, permeability, voids, chlorides, elasticity.

Introducción

El concreto es los elementos más empleados en el planeta y a lo largo de la historia se ha venido innovando cada vez más para que pueda trabajar en diferentes contextos de la construcción. Una vez esas innovaciones es el concreto permeable, que se ha vuelto una buena opción para el sector constructivo por la capacidad especial que tiene de filtrar grandes cantidades de líquidos. Pueden ser usados principalmente como pavimento en lugares con poco tráfico, estacionamientos, senderos y caminos de transeúntes y/o ciclistas.

El concreto permeable es muy buen filtrador de líquidos, pero su resistencia no tiene gran relevancia, el foco principal de esta investigación es evaluar la resistencia que tiene un concreto permeable adicionando micro sílice, por ello, en esta tesis evaluaré el impacto que el concreto permeable tiene en su resistencia, elaborando para una resistencia de 150 kg/cm² usando un aditivo incorporador de Micro Sílice. Este aditivo posee múltiples funciones, entre las que se incluye su capacidad para plastificar el concreto, puede también actuar como agente que reduce significativamente la cantidad de agua necesaria y retarda el fraguado del concreto. Este aditivo, está hecho a base de humo de sílice permite una fuerte unión interna y capacidad para retener agua en la mezcla fresca de concreto. Al incorporarse este aditivo a base de sílice podemos obtener un hormigón permeable con una vida útil prolongada, una resistencia superior al congelamiento y a la acción de la sal durante el deshielo, incremento y mejora en las resistencias finales, así como una mayor capacidad para resistir la abrasión y disminución a la incorporación de cloruros.

Revisión de literatura

ANTECEDENTES:

Metodologías empleadas para la producción de concreto permeable usando parcialmente materiales reciclados como agregados - Ayala Lopez, Gil Ahumada, Cornejo Ramos y Muñoz Perez, 2022.

El propósito de esta revisión es resumir y analizar la documentación académica sobre métodos innovadores para elaborar y preparar concreto permeable, considerando su uso en pavimentos y reemplazando porcentualmente la piedra con materiales reutilizados por ejemplo caucho (5% y 8%), cenizas volantes (0% a 70% del volumen de cemento) y fibra de carbono (0,27% y 0,4% de la masa de piedra). La proporción ideal de cenizas volantes mejora la microestructura y la resistencia del hormigón. En resumen, el hormigón permeable presenta valores de 17,5 MPa en la capacidad para soportar fuerzas de compresión, 2,6 MPa en la capacidad de resistir a la tracción y 6,1 mm/s en permeabilidad, lo que lo convierte en una opción valiosa y útil para mejorar la construcción de pavimentos. [1]

Diseño de mezcla de concreto permeable para la construcción de la superficie de rodadura de un pavimento de resistencia de 210 kg/cm², 2019.

El hormigón permeable, a diferencia del hormigón tradicional, posee una alta proporción de huecos que permiten el paso del agua, eliminando problemas de permeabilidad insuficiente y evitando daños estructurales por obstrucciones y fugas. Se analizaron la consistencia, densidad y propiedades de huecos del hormigón fresco y endurecido, junto con ensayos de capacidad para resistir compresión, penetración y flexión. [2].

Evaluación de un concreto permeable adicionando diferentes porcentajes de puzolana de vidrio reciclado para su aplicación en veredas y ciclovías en el distrito de Requichiclayo 2021.

El hormigón permeable es una variedad de concreto que presenta una elevada permeabilidad, que tiene la capacidad de filtrar H₂O, resolviendo problemas de permeabilidad insuficiente en estructuras tradicionales y evitando daños por bloqueos y fugas. En este estudio, se desarrolló una mezcla de hormigón permeable con capacidad para resistir fuerzas de hasta de 210 kg/cm², para reemplazar escalones de pavimento. Las propiedades evaluadas incluyeron asentamiento, temperatura, densidad teórica y endurecida, resistencia a fuerzas y permeabilidad. Se dedujo, con piedra de tres cuartos y 10% de arena, una relación a/c de 0.35 permitió alcanzar las propiedades óptimas para ciclovías y senderos peatonales.[3].

BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS

Concreto permeable

El concreto permeable, denominado concreto sin arena o con escaso contenido de arena, es una combinación de cemento Portland, piedra, arena y aditivos. La falta o mínima cantidad de arena en la mezcla resulta en una estructura porosa con numerosos espacios vacíos, permitiendo así el paso libre del agua y el aire.

Debido a la falta de arena, el concreto obtiene una estructura hueca a través de la cual los líquidos y el aire pueden entrar al subsuelo o al depósito de captación. Al carecer de agregado fino provoca que el concreto tenga un sistema de poros, permitiendo que el agua y los vientos atraviesen el concreto hacia el subsuelo o un tanque de recolección. [4]

Propiedades del concreto permeable en estado fresco

- **Asentamiento:** Generalmente es nulo; sin embargo, se han registrado valores entre 20 y 50 mm. La prueba de asentamiento, que puede realizarse según la norma ASTM C143, no se usa para evaluación de calidad en el concreto permeable al igual que sucede con el concreto estándar, este valor solo se toma como una referencia, ya que la mezcla resulta demasiado rígida y, en la mayoría de los casos, la medición del asentamiento no es aplicable.
- **Peso unitario:** Es aproximadamente el 70% del peso del concreto normal. Su obtención se realiza con respecto a norma ASTM C1688.
- **Fraguado:** En el concreto poroso es más corto, lo que a veces requiere el uso de aditivos químicos para asegurar una colocación adecuada. [5]

Propiedades en estado endurecido

- **Porosidad:** Es la medición del espacio vacío entre sus componentes. Para que sea permeable su proporción de huecos sea superior al 15%.
- **Permeabilidad:** Depende de los sistemas del material. La compactación en exceso reduce la porosidad al cerrar los huecos fundamentales para filtrar líquidos. [5]

Características físicas

La capacidad de resistir fuerzas está proporcionada por sus componentes, la fuerza de compactación y por porcentaje de huecos. El grafico 1 muestra la influencia de la resistencia y contenido de huecos.

Beneficios del concreto permeable

Medioambientales:

Su elevada porosidad del hormigón permeable puede resolver el problema del escurrimiento superficial del agua de lluvia y, se usa como sistema de pavimento de concreto poroso, previene inundaciones. Otra ventaja asociada su habilidad para filtrar los contaminantes del coche, evitando que contamine zonas adyacentes como ocurriría con superficies impermeables. Gracias al alto albedo del hormigón permeable se consigue el efecto isla de calor debido a que su estructura porosa permite reducir el aire y la circulación del aire. [5]

Económicos:

El hormigón permeable puede servir como alternativa a los estacionamientos y minimizar la requerida para la construcción de fosos para guardar aguas pluviales. Este sistema en sí actuaría como terreno de detención, reduciendo precios de construir sistemas de almacenamiento. [5]

Estructural:

La estructura porosa de hormigón permeable proporciona a los vehículos suficiente tracción y reduce el deslizamiento incluso en días de lluvia, garantizando la seguridad de automovilistas y peatones. El hormigón permeable es duradero y puede durar muchos años (de 20 a 30 años) si se cuida adecuadamente. [5]

Materiales y métodos

Cemento tipo I

El Portland más común y versátil del mercado. Consiste principalmente en clínker de cemento, que se obtiene triturando fusión de piedra y arena, con la adición de pequeñas cantidades de yeso y otros aditivos para regular el endurecimiento. [6]

Agregado Grueso

Este elemento deberá tenerse mediante destrucción de piedra sus elementos tienen que ser limpios, resistentes y duraderos. [7]

Agregado Fino

Todo aquel elemento que sobrepase tamiz número 200.

Para elaborar un concreto permeable se usa poco o nada de agregado fino. [8]

H2O

Uno de los componentes más relevantes en concreto endurecido, es un elemento que no se puede ignorar porque influye en la resistencia y el cambio del material de construcción. [9]

Micro sílice

Tiene dióxido de silicio activado ultrafino. También proporciona al hormigón fresco una buena cohesión interna y retención de agua. La capacidad de bombeo y acción reológica mejoran significativamente. [11]



Fuente: propia

Tipo de investigación

Realizada por el alumno José Martín Ayala Mas, está dado con un foco e de tipo investigativo y a la vez cuantitativo.

Diseño de Investigación

Esta investigación es de carácter prospectivo, debido a que es experimental. Se han llevado a cabo y experimentos en laboratorio con el objetivo principal de evaluar la resistencia de un concreto permeable al aplicar micro sílice. Los ensayos realizados incluyen el examen para evaluar la capacidad para soportar fuerzas de compresión, tracción diametral, penetración de cloruros, módulo de elasticidad y permeabilidad. Se aplicaron tanto a un concreto permeable convencional como a uno modificado con un 15% de micro sílice.

Población y muestra

f'c = 150 kg/cm2						
Ensayos	Probetas	Días de Prueba de probetas/ N° de Probetas			Sumatoria	
		7	14	28		
Resistencia a la Compresión	Concreto Permeable Normal	3	3	3	9	18
	Concreto Permeable con Microsilice	3	3	3	9	

Fuente: propia

f'c = 150 kg/cm2			
Ensayos	Probetas	Tiempo de Prueba de probetas/ N° de Probetas	Sumatoria
		28	
Tracción Diametral	Concreto Permeable Normal	3	6
	Concreto Permeable con Microsilice	3	

Fuente: propia

f'c = 150 kg/cm2			
Ensayos	Probetas	Tiempo de Prueba de probetas/ N° de Probetas	Sumatoria
		28	
Permeabilidad	Concreto Permeable Normal	3	6
	Concreto Permeable con Microsilice	3	

Fuente: propia

f'c = 150 kg/cm2			
Ensayos	Probetas	Tiempo de Prueba de probetas/ N° de Probetas	Sumatoria
		28	
Penetración de Cloruros	Concreto Permeable Normal	3	6
	Concreto Permeable con Microsilice	3	

Fuente: propia

f'c = 150 kg/cm2			
Ensayos	Probetas	Tiempo de Prueba de probetas/ N° de Probetas	Sumatoria
		28	
Módulo de Elasticidad	Concreto Permeable Normal	3	6
	Concreto Permeable con Microsilice	3	

Fuente: propia

Se tiene un total de 42 muestras de concreto permeable patrón y concreto permeable adicionando micro sílice en la presente investigación.

Variables independientes y dependientes

	Variable	Def. Conceptual	Def. Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Escala de medición	Instrumento
Variables Dependientes	Concreto Permeable	Es un concreto con alta porosidad	Empleado en aplicaciones donde las superficies de concreto permiten el paso del agua de lluvia y otros orígenes a través de ellas.	Clasificación en laboratorio	Análisis granulométrico	cm	Razón	Observación, cálculo, análisis y recopilación de datos en fichas de cálculo.
					Contenido de vacíos	%	Razón	
Variables Independientes	Aditivo incorporador de Sílice	Es un aditivo ultra fino que tiene como Adición mineral Sílice	Incorpora partículas de sílice reactiva extraordinariamente finas. La existencia de este compuesto proporciona una fuerte unión interna y una notable retención de agua en el hormigón recién mezclado. Mejora significativamente la capacidad de bombeo y el comportamiento reológico. En la fase endurecida del hormigón, el humo de sílice establece una conexión química con la cal libre (CaOH ₂).	Ensayos de Laboratorio para la evaluación de la resistencia	Realizar una experimentación para estudiar la capacidad de resistir fuerzas para hormigón permeable normal y con micro sílice 15%	kg/cm ²	Razón	
					Realizar la experimentación tracción diametral para concreto permeable normal y añadiendo micro sílice al 15%	kg/cm ²	Razón	
					Realizar experimentación de permeabilidad para concreto permeable normal y añadiendo micro sílice al 15%	cm/s	Razón	
					Realizar el ensayo módulo de elasticidad para concreto permeable normal y añadiendo micro sílice 15%	kg/cm ²	Razón	
					Realizar el ensayo penetración de cloruros para concreto permeable patrón y con micro sílice 15%	Qs (coulombs)	Razón	

Fuente: propia

Instrumentos

Como herramientas de recolección de datos se utilizaron ensayos con áridos, vidrio coloreado (por ejemplo, puzolana), ensayos con hormigón fresco y ensayos con hormigón endurecido. Estas pruebas se realizarán según las normas técnicas peruanas, ACI 522R-10 y ASTM, para tener elevados resultados requeridos durante todo el proceso productivo de las distintas muestras. Las siguientes experimentaciones son estas:

Ensayo para la arena y piedra:

- Estudio de arena y piedra
- Porcentaje de humedad.
- Estudio de granulometría.
- Volumen por unidad de masa, peso relativo y capacidad para absorber de la piedra.
- Volumen por unidad de masa, peso relativo y capacidad para absorber de la arena.

Densidad en estado suelto y compactado de la arena y piedra. Ensayos del Concreto en Estado Fresco

- Prueba de Slump mediante el Cono de Abrams.
- Fabricación, curado de testigos cilíndricos 6"x12" (15x30cm).
- Fabricación, curado de testigos cilíndricos 4"x8" (10x20cm).

Ensayos del Concreto en etapa de endurecimiento

- Capacidad de resistir fuerzas a compresión.
- Capacidad de resistir fuerzas diametrales
- Penetración cloruros
- Módulo de elasticidad
- Permeabilidad

PRODUCCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL DE CONCRETO PERMEABLE PATRÓN Y ADICIONANDO MICRO SÍLICE

EXPERIMENTACIÓN DE PIEDRA Y ARENA

Como toda elaboración de concreto, siempre se inicia con el ensayo de los agregados.

La piedra y arena vienen a ser los componentes más importante y crítico de la construcción con concreto permeable, ya que constituyen la mayor cantidad de concreto permeable. Por eso, las propiedades son analizadas y determinadas mediante las experimentaciones descritas anteriormente, estos datos nos darán la mano para hacer una configuración apropiada y factible de concreto poroso.



Fuente: propia

Los procesos fueron estos:

1. Observamos la bolsa de áridos a analizar en el lugar donde previamente fue almacenada para que no se contamine con factores externos.
2. Coloque la masilla sobre un piso debidamente limpio y déjela caer aprox. 20 cm y forma así una estructura cónica o piramidal, lo que la hace lo más homogénea posible.
3. Usando una varilla la dividimos en 4 partes iguales, haciendo el medio en forma de cruz, posteriormente elegiremos 2 partes opuestas con las mismas dimensiones posibles.
4. Utilizando estas piezas seleccionadas, repita operación hasta alcanzar una proporción importante y tome unos especímenes como representación de aprox. 3 kilogramos.
5. Los desechos recolectados de la sección opuesta no seleccionada se devuelven a la fuente de suministro (bolsa).

Contenido de Humedad (NTP 399.185)

El motivo de este examen es determinar su contenido de humedad por evaporación de piedra y arena después del secado. Esta cantidad de agua abarca la humedad que se encuentra en la superficie presente en los huecos de piedra y arena, también enfatiza que la norma no tiene en cuenta compuestos en el agua que tienden a evaporarse al mezclarse con el árido.

Los procesos fueron estos:

1. Luego de extraer la muestra homogénea opuesta, se separa el relleno en la bandeja, se procede a pesar la menor cantidad a ensayar.
2. La piedra de (TM) de 3/4" tiene masa de 500 gramos y la arena tiene masa de 500 gramos.
3. Para determinar el contenido de humedad del material mineral, es necesario que el material mineral esté húmedo. Si no está mojado, tanto la limpieza mineral fina como la gruesa se deben saturar con agua que ya esté mojada. Por lo tanto, sólo se pesaron muestras individuales.
4. La muestra húmeda pesada se coloca en un gabinete y se seca a 110 ± 5 °C (110 °C) durante 24 horas hasta que se obtiene una muestra seca.
5. Una vez transcurrido el tiempo de secado, dejar enfriar unos minutos y luego pesar cada muestra.

Granulometría (NTP 400.012)

El propósito de la prueba es calcular el índice de permeabilidad para distintos tamaños de piedra y arena, los resultados ayudan a desarrollar su curva granulométrica. Al mismo tiempo, puede determinar examinar la idoneidad de los áridos en función de estándares de calidad y verificar si cumplen con los criterios establecidos para las mezclas.

Agregado Fino

1. Para el ensayo, las muestras de árido fino deberán pasar por horno con temperatura de 110 ± 5 °C en 24 horas, los especímenes deben estar completamente secas.
2. Pesar aprox. 500g de masilla fina en un recipiente pesado y envasado con precisión.
3. Luego de obtener la muestra seca a tamizar, activar la serie apropiada de tamices en orden descendente (3/8", No. 4, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100 y No. 200) y sus respectivas experiencias.
4. Una vez que los tamices estén en orden, vierta el agregado fino seco previamente pesado con la tapa sobre el tamiz primario superior y muévelo con un movimiento circular aprox. 3 a 5 minutos.
5. Después de completar el paso anterior, pese el material restante en cada orificio de la pantalla, comenzando desde la pantalla original superior y avanzando hacia abajo, repitiendo este proceso hasta llegar a la pantalla con el orificio más pequeño.

Agregado Grueso

1. Para la experimentación, las muestras con árido crudo deben pasar por un horno a 110
2. ± 5 °C durante 24 horas, ya que las muestras deben estar secas.
3. Aprox. Se pesan 2000 gramos de agregado grueso en un recipiente y luego se pesan para obtener una tara precisa.
4. Cuando la muestra seca está lista para su tamizado, se activan las series de tamices correspondientes (3/4", 1/2", 3/8". No. 4, No. 8 y No. 16) con orden decreciente con su malla.
5. Después de disponer los tamices, vierta el agregado grueso seco previamente pesado con la tapa sobre el primer tamiz superior y muévelo con un movimiento circular aprox. 3 a 5 minutos.
6. Después de completar el paso anterior, pese el material restante en cada orificio de la malla, comenzando con la malla original superior y avanzando hacia abajo, repitiendo este proceso hasta llegar a la malla con el tamaño de poro más pequeño.

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)						
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	13.51	2.7	2.7	97.3	95	100
Nº 08	2.360	80.4	16.1	18.8	81.2	80	100
Nº 16	1.180	109.58	21.9	40.7	59.3	50	85
Nº 30	0.600	117.83	23.6	64.3	35.7	25	60
Nº 50	0.300	99.21	19.8	84.1	15.9	10	30
Nº 100	0.150	45.4	9.1	93.2	6.8	2	10
Fondo		10.06	2.0	95.2	4.8		
Módulo de Fineza				3.038			
Abertura de malla de referencia				9.500			

Ilustración 2 - Tabla de granulometría del agregado fino - Fuente propia

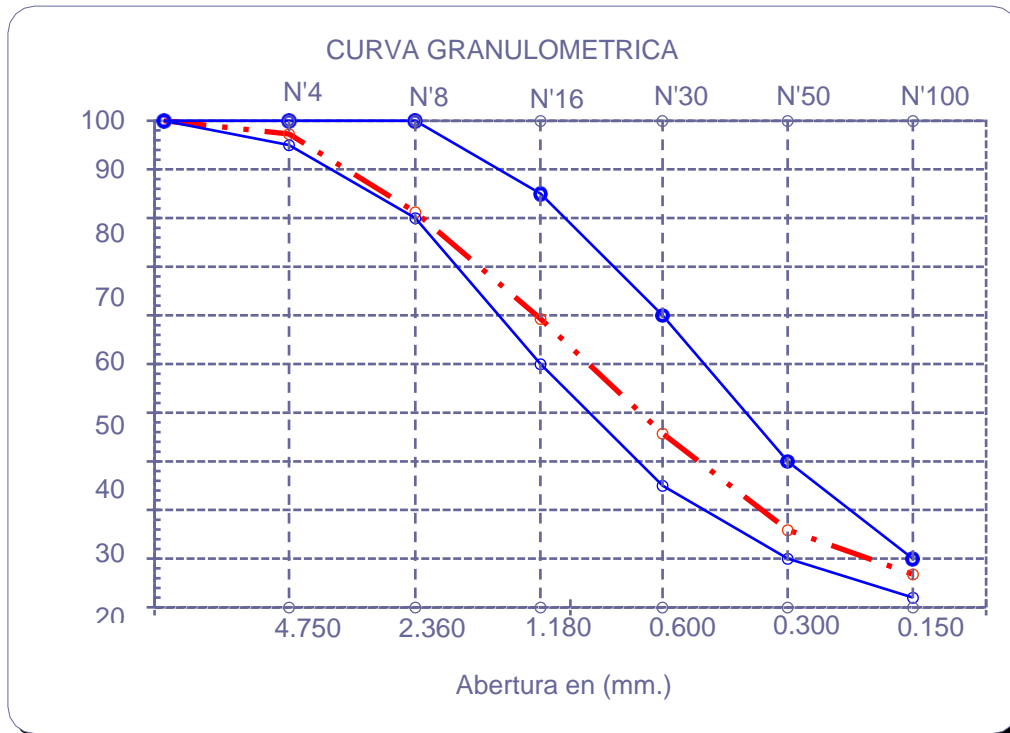


Ilustración 3 - Curva granulometria del agregado fino - Fuente

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(% Acum. Ret.	(% Acum. Que Pasa	Especificaciones USO 89	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	151.1	7.6	7.6	92.4	90.0	100.0
3/4"	19.00	585.9	29.4	37.0	63.0	40.0	85.0
1/2"	12.70	945.5	47.5	84.5	15.5	10.0	40.0
3/8"	9.52	237.2	11.9	96.4	3.6	0.0	15.0
Nº 04	4.75	70.2	3.5	99.9	0.1	0.0	5.0
Nº 08	2.36	0.0	0.0	99.9	0.1	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	99.9	0.1	0.0	0.0
Fondo		2	0.1	100.0	0.0		
Tamaño Maximo			1 1/2"	38.00			
Tamaño Maximo Nominal			1"	25.00			

Ilustración 4 - Tabla de granulometría del agregado grueso – Fuente propia

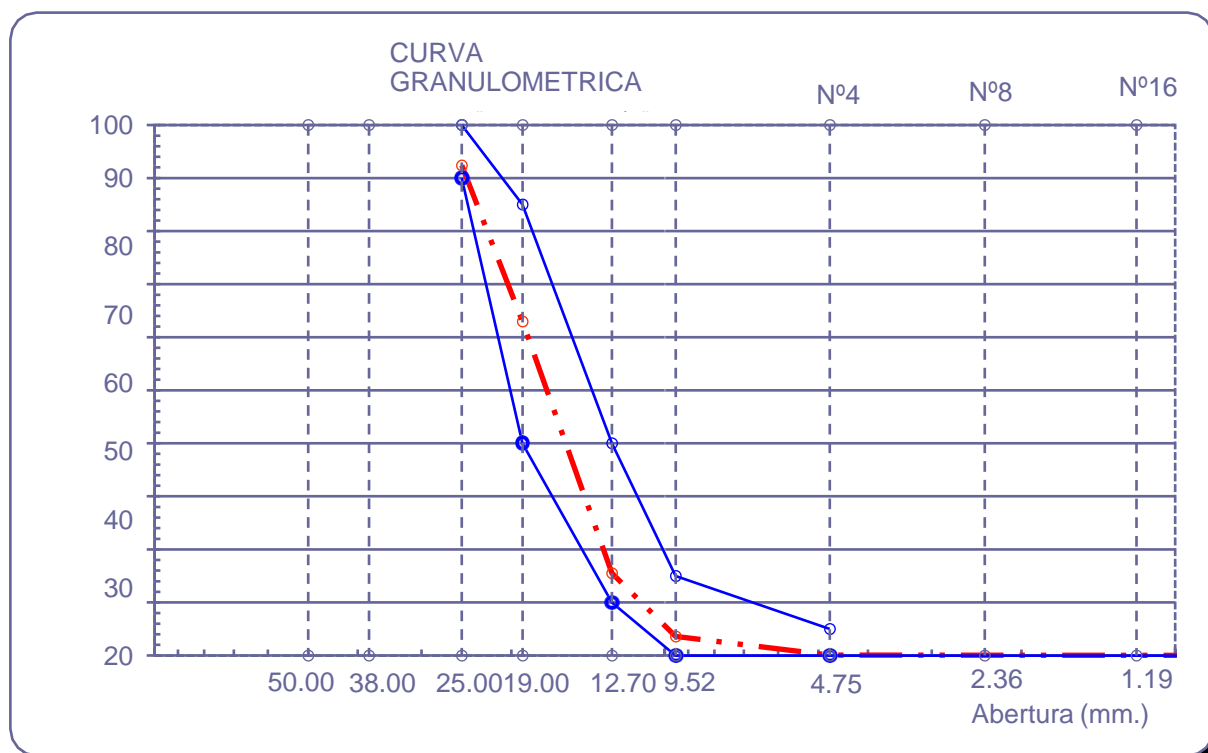


Ilustración 5 - Curva granulométrica del agregado grueso - Fuente propia

1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8000	7990
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8000	7990
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00553	0.00553
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1445	1444
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1420	

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	9240	9360
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9240	9360
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00553	0.00553
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1670	1691
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1652	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	2000.1	2000.1
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1966.5	1966.5
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.7	1.7
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	1.71	

Ensayo : Peso unitario del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	7830	7750
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material	(gr.)	7830	7750
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1438	1424
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1425	

B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8360	8440
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material	(gr.)	8360.0	8440.0
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1536	1550
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1537	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso

Referencia: Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	2000.32	2000.32
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1992	1991.83
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.4	0.4
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.43	

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino

Referencia: Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

I .- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco -	(g)	1002.7	1002.7
2.- Pesc Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Fra	(g)	697.48	697.48
3.- Peso del Agua	(g)	305.2	305.2
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del F	(g)	692.61	692.61
5.- Peso del Frasco	(g)	197.48	197.48
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	495	495
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II .- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm3)	2.542
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm3)	2.567
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm3)	2.607
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.98

Ensayo: Peso específico y Absorción del agregado grueso

Referencia: Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

I .- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	4710	4710
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	4762	4762
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del	(g)	3840	3840
4.- Peso de la canastilla	(g)	920	920
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	2920	2920

II .- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm3)	2.557
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm3)	2.585
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm3)	2.631
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	1.10

Ensayo: Contenido de humedad del agregado fino

Referencia: Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

I .-

Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	2000.1	2000.1
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1966.5	1966.5
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.71	1.71
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	1.71	

Ensayo: Contenido de humedad del agregado grueso

Referencia: Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

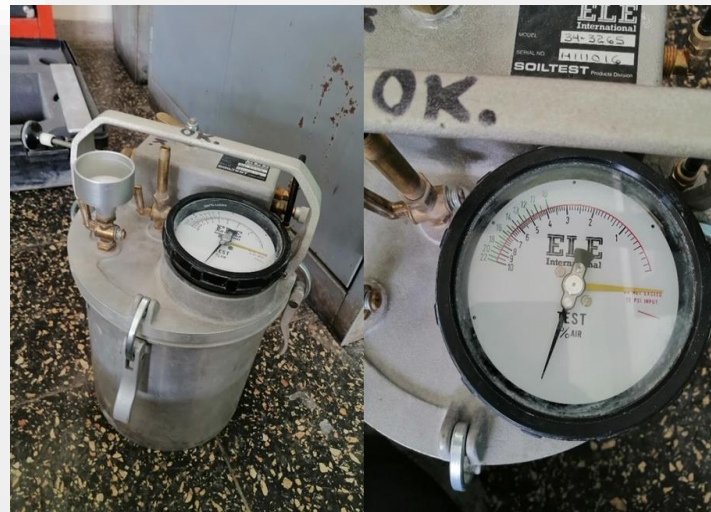
I .- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	4720	4720
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	4700	4700
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.4	0.4
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.43	

Ensayo de contenido de vacíos %:

La porosidad es una medida de los espacios vacíos entre los agregados. La condición para que un concreto sea permeable es que el contenido de vacíos sea mayor al 15%.

Para resultados de esta tesis se ensayará mediante la Olla de Oscar Washington Tabarez. Para examinar el contenido de huecos en porcentaje de un concreto permeable convencional y un concreto permeable con micro sílice.



Fuente: propia

Es un método de prueba implica determinar el contenido de vacíos del hormigón fresco. Esta prueba mide el contenido de aire de una mezcla con condición recién mezclada, eliminando el aire que puede haber en los huecos de las partículas de pasta.

Para objetivos de esta tesis se realizó la combinación de hormigón permeable en condición recién mezclada incorporándole Micro Sílice y se medirá cuanto porcentaje de vacíos tiene dicha mezcla.



Fuente: propia

PROBETAS DE CONCRETO PERMEABLES DE 6" x 12"



Fuente: propia

PESO DE CONCRETO PERMEABLE PATRÓN DE 6" x 12"



Peso en KG de Concreto Permeable Patrón – Fuente: Propia

PRUEBA DE SLUMP:



Fuente: propia

CONCRETO PERMEABLE	SLUMP
Concreto Patrón Permeable	0"
Concreto Permeable 15% Micro Sílce	0"

CONFIGURACIÓN DE CONCRETO POROSO PATRÓN Y CON MICROSÍLICE

Peso específico del cemento: 3150 kg/m³

Peso específico de la Micro Sílice: 2200 kg/m³

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS			
	A.fino	A.grueso	Unidades
PEM	2.542	2.557	gr/cm ³
PUSS	1420	1425	kg/m ³
PUCS	1652	1537	kg/m ³
%H	1.71	0.43	%
%A	0.98	1.10	%
TMN	-	1"	
MF	3.037	-	

Paso I: Elección de la filtración que el concreto permeable requiere.

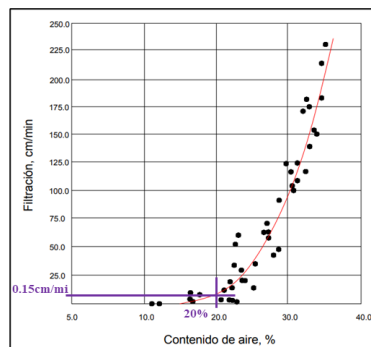
Según la campaña 1997/1998 La precipitación máxima en 24 horas en la región centrada en la ciudad de Chiclayo fue de 114 mm, la duración de las precipitaciones fue de 10 horas y la intensidad de las precipitaciones anuales fue de 9,16 mm. Teniendo en cuenta la capacidad de colmatación de los pavimentos permeables, fuerza de lluvia calculada es de 91,6 mm/h.

Filtración requerida: 91.60

mm/h Filtración requerida:

0.15 cm/min

Paso II: Obtención del porcentaje de vacíos.



Fuente: [51] – y Adaptado de ACI 522R-10, ACI 211.3R-02

Figura #1: Relación entre el contenido de aire y la tasa de infiltración.

Según el gráfico anterior, la tasa de filtración requerida es de 91,6 mm/h y obtenemos una proporción de vacíos de aproximadamente el 20%. También tenga en cuenta que las dimensiones del agregado grueso utilizado (número de eje 67) están dentro de los rangos especificados en ACI 522R-10 y ACI 211.3R-02.

% de huecos: 15 %

Paso III: Verificación de capacidad de resistir fuerzas compresoras de la configuración.

Seleccionado el % de huecos en función de la fuerza de lluvia estimada, se toma en cuenta la capacidad de resistir fuerzas compresoras.

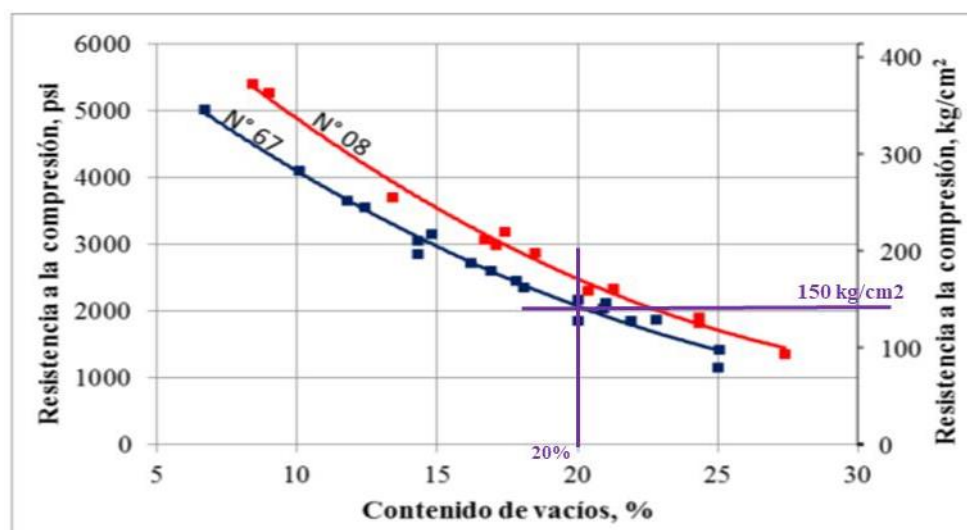


Ilustración 10 - Fuente norma ACI 522 R

referencia, debido a que las secciones que se muestran en la figura son las mismas que las obtenidas. de la falla Victoria – Pátapo.

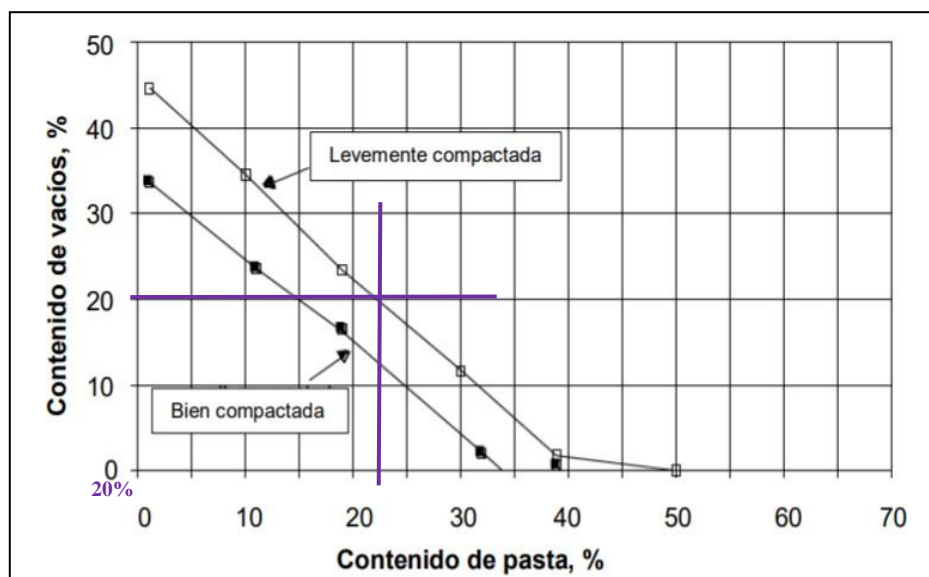
F'c referencial: 150 kg/cm²

Paso IV: Elección de la relación H₂O y material cementante. Para un concreto poroso se debe utilizar una relación H₂O y material cementante mínima (0,30-0,40). (ACI 522R-10). En cualquier caso, si se agrega demasiada agua, se producirá filtración de la lechada y bloque de la red de poros, entonces la cantidad de H₂O agregada tiene que controlarse cuidadosamente al preparar el concreto permeable. Además, si no hay suficiente humedad durante la producción del concreto permeable, se humedecerá tanto que la pasta se separará fácilmente del agregado. A/C: 0.35

Además, considerando los resultados de la relación agua-cemento en concreto permeable, cabe destacar los siguientes puntos:

- La relación agua/cemento de Jacinto Aquino es de 0.30, lo que incrementa resistencia a fuerzas compresoras.

Paso V: Cálculo de agua (Cantidad de pasta= Cantidad de Cemento + Cantidad de Agua) Para el tipo de compactación se decidió seleccionar la situación más severa relacionada con el nivel de compactación leve, baja prevalencia de la condición de compactación y la falta de compactación suficiente, no hay garantía de que se logre una compactación suficiente.



% Pasta inicial= 22 %

Partiendo de la siguiente ecuación expresado con la relación agua/cemento, tenemos: Donde:

-) V_p : Volumen de pasta (%).
-) c : Masa de material cementante, m³ de mezcla (kg).
-) a : Masa de H₂O, m³ de mezcla (kg).
-) γ_c : Densidad del material cementante (kg/m³).
-) γ_a : Densidad exacta de H₂O (kg/m³). $\gamma_c = 3150$ kg/m³
(densidad del cemento) $\gamma_a = 1000$ kg/m³ (densidad del agua)

Reemplazando el cantidad pasta final y la relación H₂O/material cementante en la ecuación anterior tenemos:

$$0.21 = 0.000317 * c + 0.000350 * c$$

Dando como resultado:

$$C = 314.63 \text{ kg}$$

$$a = 110.12 \text{ Lts}$$

Paso VI:

Densidades (m³ de hormigón y Condiciones áridas). Cantidad total, m³ de hormigón.

$$C = 314.63 \text{ kg} = 0.100 \text{ m}^3; 3150 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{H}_2\text{O} = 110 \text{ lt/m}^3 = 0.110 \text{ m}^3 1000 \text{ kg/m}^3$$

A. EFECTIVA= A.DISEÑO-AP(TOTAL)

=118.80 lts

Paso VIII: Configuración de Mezcla por estados húmedos

P. HÚMEDO. Ag. Fino= 165.47 kg/m³ concreto

P. HÚMEDO. Ag. Grueso= 1479.17 kg/m³ concreto

AGUA= 118.80 lts 0.1188

C= 314.63 kg 7.4030

7.40bls/m³

Nuevo H₂O/material cementante = 0.378 lts/bls

Paso IX: Dosificación en Peso

1:0.53:4.70:0.38 lts/bls

Volumen testigo = 0.0053

m³

Insumos para 1 testigo

Material cementante 1667.51 gr

Arena 876.99 gr

Piedra 7839.58 gr

H₂O 629.64 ml

Mi tema de investigación es hacer un concreto permeable resistente. El concreto permeable una de sus mayores fortalezas es su capacidad de filtrar líquidos a través de su estructura porosa. Según indica la norma ACI 522 R-10 que es una entidad técnica normativa que rige los lineamientos técnicos en torno al concreto, para que un concreto permeable se considere correcto, su porcentaje de vacíos debe oscilar entre 15% a 35%, a mayor porcentaje de vacíos que tenga el concreto permeable, menor será su resistencia final de este.

Entonces una de las desventajas del concreto permeable es que su resistencia es baja debido a que tiene mucho porcentaje de vacíos, poros o huecos. Teniendo en cuenta estos antecedentes, el desafío es realizar un concreto permeable que tenga una resistencia significativa, sin que este pierda su capacidad de filtrar líquidos y se considere concreto permeable según la norma ACI 522 R-10. Por ello he considerado incorporar micro sílice al concreto permeable ya que una de las propiedades de este producto es mejorar las resistencias finales a los concretos. Sin embargo, una de las propiedades de la micro sílice es hacer impermeabilizante al concreto para que este pueda tener una mayor resistencia final.

Entonces, se tiene que evaluar en cálculos y ensayos en laboratorio una dosificación optima de micro sílice, que el cual será adicionado al diseño de mezcla del concreto permeable sin que este pierda su habilidad de filtración de líquidos y que a la vez gane una mejor resistencia final.

Parámetros:

- 1- Se considera concreto permeable según la norma ACI 522 R-10 a los concretos que su porcentaje de vacíos oscilen entre 15% a 35%.
- 2- A mayor porcentaje de vacíos, menor resistencia final en el concreto.
- 3- A menor porcentajes de vacíos, mayor resistencia final en el concreto.
- 4- A mayor porcentaje de adición de Micro Sílice en el concreto, mayor resistencia final.
- 5- A menor porcentaje de adición de Micro Sílice en el concreto, menor resistencia final.

Solución:

Según la ficha técnica del producto Micro Sílice de la marca Sika, este recomienda incorporar entre 5%-10% de Micro Sílice a la mezcla de concreto. Siguiendo el parámetro N°4, he considerado incorporar el porcentaje máximo recomendado por la ficha técnica de Micro Sílice y evaluar cuanto de porcentaje de vacíos se obtiene en el concreto en estado endurecido.

La fórmula para calcular el porcentaje de vacíos del concreto permeable es la siguiente:

$$\% \text{ de Vacíos} = \left[1 - \left(\frac{K * (A - B)}{\delta_W * L * D^2} \right) \right] * 100$$

Donde:

L: Longitud de la muestra (mm).

A: Masa en seco de la muestra (gr).

D: Diámetro de la muestra (mm).

K: valor adimensional de $1'274,240$.

B: Masa sumergida de la muestra (gr).

δw : Densidad del agua a la temperatura de la poza (kg/m³).



Reemplazando los datos:

Se obtiene un porcentaje de vacíos de 22.4778257% con la adición de Micro Sílice al 10%.

Este porcentaje de vacíos está en el rango de la norma ACI 522 -R10 como se explica en el parámetro N°1 que dice que los porcentajes de vacíos deben oscilar entre 15% a 35%.

Sin embargo, tomando en cuenta el parámetro N°3 que dice que, a menor porcentaje de vacíos, mayor resistencia final, he considera tomar en cuenta en el diseño de mezcla hacer un concreto permeable con el porcentaje de vacíos mínimo permitido que indica la norma ACI 522 R-10 que es de 15% de vacíos.

Entonces haciendo una regla de 3 simple inversa tomando en cuenta el anterior ensayo que se obtuvo un 22% de vacíos en el concreto adicionando Micro Sílice al 10%, y considerando que se requiere un concreto con un porcentaje de vacíos de 15%, tenemos:

10% MS \longrightarrow 22.4% de Vacíos

X%? MS \longrightarrow 15% de Vacíos

$$10 \times 22 = X * 15$$

$$\frac{10 * 22}{15} = X$$

$$14.93 \% = X$$

$$15.00 \% = X$$

Entonces, se obtiene un 15% de dosificación de Micro Sílice para lograr un 15% de porcentaje de vacíos en un concreto para que se considere permeable según indica la Norma ACI 522 R-10.

Corroborando en la práctica:



$$\begin{aligned} & \% \text{Contenido de Vacíos} \\ & = \left[1 - \left(\frac{K * (A - B)}{\delta_w * L * D^2} \right) \right] * 100 \} \\ & = 15.061249 \% \end{aligned}$$

Resultados y discusión

Resultados de concreto permeable patrón y adicionando micro sílice al 15%.

Ensayo a compresión simple

Se elaboró muestras cilíndricas de dimensiones 6”x12” de concreto permeable patrón yadicionando micro sílice al 15% para ensayarlas en las edades de 7, 14 y 28 días. Según indicala NTP 339.034.

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	f'c kg/cm ²
01	CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	07/10/2023	14/10/2023	7	53
02	CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	07/10/2023	14/10/2023	7	57
03	CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	07/10/2023	14/10/2023	7	55
04	CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	08/10/2023	22/10/2023	14	66
05	CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	08/10/2023	22/10/2023	14	69
06	CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	08/10/2023	22/10/2023	14	65
07	CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	08/10/2023	05/11/2023	28	77
08	CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	08/10/2023	05/11/2023	28	74
09	CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	08/10/2023	05/11/2023	28	77

Fuente: propia

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	f'c kg/cm ²
01	CONCRETO PERMEABLE 15% MICRO SÍLICE	07/10/2023	14/10/2023	7	90
02	CONCRETO PERMEABLE 15% MICRO SÍLICE	07/10/2023	14/10/2023	7	91
03	CONCRETO PERMEABLE 15% MICRO SÍLICE	07/10/2023	14/10/2023	7	87
04	CONCRETO PERMEABLE 15% MICRO SÍLICE	08/10/2023	22/10/2023	14	105
05	CONCRETO PERMEABLE 15% MICRO SÍLICE	08/10/2023	22/10/2023	14	103
06	CONCRETO PERMEABLE 15% MICRO SÍLICE	08/10/2023	22/10/2023	14	109
07	CONCRETO PERMEABLE 15% MICRO SÍLICE	08/10/2023	05/11/2023	28	147
08	CONCRETO PERMEABLE 15% MICRO SÍLICE	08/10/2023	05/11/2023	28	156
09	CONCRETO PERMEABLE 15% MICRO SÍLICE	08/10/2023	05/11/2023	28	153

Fuente: propia

	Resistencia a la compresión F'c		
Edades	7 días	14 días	28 días
Concreto Permeable Patrón	53	64	77
	56	69	76
	55	69	80
Resistencia Promedio	54.43	67.46	77.53

Fuente: propia

	Resistencia a la compresión F'c		
Edades	7 días	14 días	28 días
Concreto Permeable con MicroSílice al 15%	103	121	161
	91	125	151
	87	127	152
Resistencia Promedio	93.86	124.34	154.45

Fuente: propia

Como se puede observar en los respectivos cuadros de resultados obtenidos la experimentacióna fuerzas compresoras del hormigón permeable normal y adicionando micro sílice al 15%, la resistencia obtenida para un concreto permeable patrón

convencional es muy baja debido a que:

- No existe un agente intermediario que puedan generar una mejor cohesión en la mezcla para un concreto permeable. Según Amorós y Bendezú la elaboración de un concreto permeable requiere de ciertos aditivos plastificantes para mejorar la cohesión entre los materiales del mismo y generar una mejor resistencia. Sin embargo, Pereyra elaboró un concreto permeable adicionando puzolana de vidrio reciclado y sus resistencias obtenidas fueron medianamente aceptables respecto al $F'c$ de diseño que fue de 150 kg/cm². [2] y [3]
- En mi investigación, al incorporar micro sílice al 15% con respecto al peso del cemento en el diseño de mezcla, la resistencia obtenida a los 28 días sí llega al $F'c$ de diseño que fue de 150 kg/cm². Por tanto, es necesario la aplicación de un aditivo para lograr resistencias más óptimas en un concreto permeable convencional.

Ensayo a tracción diametral

Se elaboró muestras cilíndricas de dimensiones 6"x12" de concreto permeable patrón yadicionando micro sílice al 15% para ensayarlas en la edad de 28 días. Según indica la NTP 339.084.

Código	Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	Diámetro (d) (cm)	Altura (h) (cm)	Carga (P)(Kg)	f'c (Kg/cm ²)
CP-01	CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	12/09/2023	19/09/2023	28	15.10	30	6252.5	9
CP-02	CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	12/09/2023	19/09/2023	28	15.10	30	5062.2	7
CP-03	CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	12/09/2023	19/09/2023	28	15.10	30	7097.6	10
CP-04	CONCRETO PERMEABLE 15% MS	12/09/2023	26/09/2023	28	15.10	30	13318.2	19
CP-05	CONCRETO PERMEABLE 15% MS	12/09/2023	26/09/2023	28	15.10	30	13283.3	19
CP-06	CONCRETO PERMEABLE 15% MS	12/09/2023	26/09/2023	28	15.10	30	12144.1	17

Fuente: propia

Se aprecia las resistencias a la compresión diametral, la capacidad de compresión aumentó en un 111.42% adicionando micro sílice al 15% con respecto a un concreto permeable patrón convencional. Al incorporar micro sílice permite que el material tenga mejores propiedades mecánicas, lo cual es importante en todo concreto.

Ensayo de Permeabilidad

Se elaboró muestras cilíndricas de dimensiones 4"x8" de concreto permeable patrón y adicionando micro sílice al 15% para ensayarlas en la edad de 28 días. Según indica la norma ASTM C-469. Teniendo los siguientes resultados:

Dimensiones de las muestras = 4" x 8"; 10.00 cm – ancho;

19.50 cm - altura h1 (tubería de menor longitud) = 11.50 cm

h2 (tubería de mayor longitud) = 45.00 cm

Diametros de tuberías de ensayo = 10.20 cm

Diametro promedio de las muestras =

10.00 cm Radio de la muestra = 5.00 cm

Diametros de tuberías de ensayo =

10.20 cm Radio de tuberías de

ensayo = 5.10 cm

Área del testigo = 78.5398 cm²

Área del conducto a ensayar = 81.7128 cm²

La permeabilidad se halla mediante la siguiente formula:

Donde:

K: Coeficiente de Permeabilidad o Conductividad Hidráulica (cm/s)

L: Longitud una muestra (cm)

a: Área de la tubería de carga (cm²)

t: Tiempo de transición de h1 a h2 (seg.)

A: Área del testigo (cm²)

h1: Elevación del conducto de menor longitud (cm)

h2: Elevación del conducto de mayor longitud (cm)

Concreto Permeable	Muestra	L: Longitud de la Muestra (cm)	Radio de la muestra (cm)	A: Área de la muestra (cm ²)	a: Área de la tubería de ensayo (cm ²)	t: Tiempo calculado de filtración de la muestra (seg)	h1: Tubería de menor longitud (cm)	h2: Tubería de mayor longitud (cm)	Permeabilidad (cm/s)
Concreto Permeable Patrón	Probeta N°01	19.47	5	78.54	81.71	32.84	11.50	45.00	0.37
	Probeta N°02	19.45	5	78.54	81.71	30.77	11.50	45.00	0.39
	Probeta N°03	19.38	5	78.54	81.71	31.29	11.50	45.00	0.38
Concreto Permeable con Micro Sílice al 15%	Probeta N°04	19.71	5	78.54	81.71	47.12	11.50	45.00	0.26
	Probeta N°05	19.82	5	78.54	81.71	48.63	11.50	45.00	0.25
	Probeta N°06	19.77	5	78.54	81.71	49.82	11.50	45.00	0.24

Tasa de Filtración (cm/s)	
Edad	28 días
Concreto Permeable Patrón	0.37
	0.39
	0.38
Tasa de Filtración Promedio	0.38

Tabla N°9: Fuente propia

Tasa de Filtración (cm/s)	
Edad	28 días
Concreto Permeable Micro Sílice 15%	0.26
	0.25
	0.24
Tasa de Filtración Promedio	0.25

Tabla N°10: Fuente propia

Tasa de Filtración (cm/s)	
Edad	28 días
Concreto Permeable Patrón	0.38
Concreto Permeable Micro Sílice 15%	0.25
Porcentaje de decremento en %	33.71 %

Tabla N°14: Fuente propia

Podemos visualizar la tasa de permeabilidad en un concreto permeable aplicando micro sílice al 15% decrece en un 33.71% con respecto a un concreto permeable convencional.

Esto es debido a que una de las propiedades de la micro sílice, que es la capacidad de resistir a la permeabilidad de varios medios dependiendo de su estructura interna de poros, además de aportar mejores propiedades mecánicas. Cuando la micro sílice entra en función con la mezcla del concreto, aporta mejores resistencias finales del concreto. Sin embargo, a pesar de que la tasa de permeabilidad disminuye respecto a un concreto permeable convencional, sigue siendo un hormigón poroso de acuerdo a ACI 522 R-10, debido a que los rangos para que cumpla con la normativa donde menciona que la lectura de filtración de un hormigón poroso oscila entre

0.20 a 0.54 cm/s con respecto al % de huecos que va desde 15% al 35%.

Se puede identificar en la data obtenida experimentación de permeabilidad la tasa de filtración promedio para un concreto permeable patrón es 0.38 cm/s y la tasa de filtración promedio para un concreto permeable aplicando micro sílice al 15% es 0.25 cm/s.

Ensayo para módulo de elasticidad

Se elaboró muestras cilíndricas de dimensiones 6"x12" de concreto permeable patrón y adicionando micro sílice al 15% para ensayarlas en la edadde 28 días. Según indica la norma ASTM C-469.

LECTURA	DEFORMACION		CARGA		Diámetro Cm	Altura Cm	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	ϵ (0.40 Δ Max)	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	E _c Kg/cm ²
	In	Cm	KN	Kgf								
L-1	0.0000	0.00	0	0	15.19	30.25	0.00	31.91	0.000234819	0.0000	8.787980746	125114.70
L-2	0.0005	0.0013	13.11	1337			7.38			0.00004		
L-3	0.0011	0.0028	26.29	2682			14.80			0.00009		
L-4	0.0016	0.0041	34.4	3509			19.36			0.00013		
L-5	0.0022	0.0056	47.68	4863			26.84			0.00018		
L-6	0.0029	0.0074	59.06	6024			33.24			0.00024		
L-7	0.0037	0.0094	70.35	7176			39.60			0.00031		
L-8	0.0044	0.0112	82.86	8452			46.64			0.00037		
L-9	0.0051	0.0130	93.58	9545			52.67			0.00043		
L-10	0.0059	0.0150	102.44	10449			57.66			0.00050		
L-11	0.0066	0.0168	111.21	11343			62.59			0.00055		
L-12	0.0074	0.0188	117.19	11953			65.96			0.00062		
L-13	0.0087	0.0221	130.32	13293			73.35			0.00073		
L-14	0.0103	0.0262	141.74	14457			79.78			0.00086		

Tabla 1- Muestra 1 Concreto Permeable Patrón a los 28 días – Fuente propia

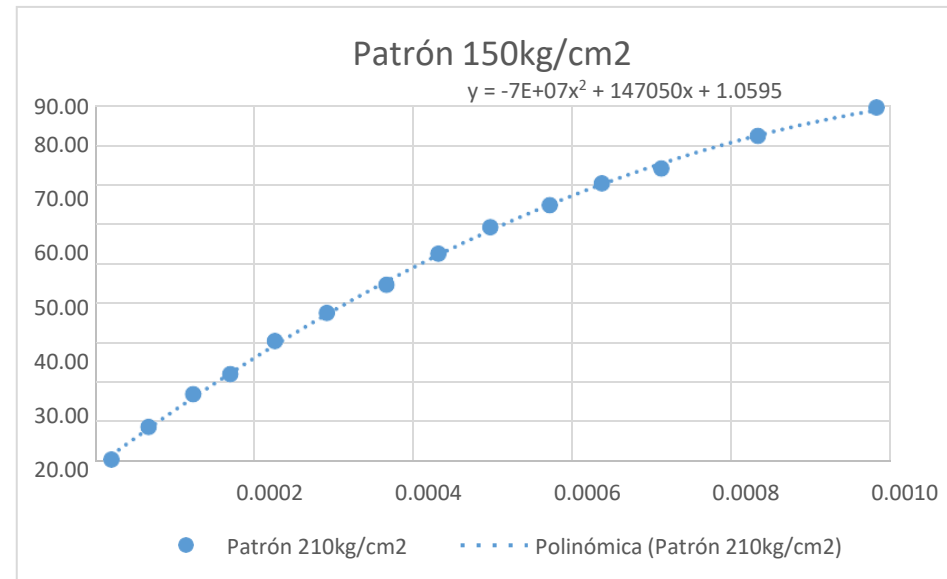


Gráfico 1 – Curva de Módulo de Elasticidad de la muestra 1 de Concreto Permeable Patrón a los 28 días – Fuente propia

Tabla 2 - Muestra 2 Concreto Permeable Patrón a los 28 días - Fuente propia

LECTURA	DEFORMACION		CARGA		Diámetro Cm	Altura Cm	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	ϵ (0.40 Δ Max)	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	E _c Kg/cm ²
	In	Cm	KN	Kgf								
L-1	0.000000	0.00	0	0	15.26	30.20	0.00	30.34	0.000235193	0.0000	8.34171006	118802.97
L-2	0.000500	0.0013	12.58	1283			7.02			0.00004		
L-3	0.001100	0.0028	25.23	2573			14.07			0.00009		
L-4	0.001600	0.0041	33.01	3367			18.41			0.00013		
L-5	0.002200	0.0056	45.76	4668			25.52			0.00019		
L-6	0.002900	0.0074	56.68	5781			31.61			0.00024		
L-7	0.0037	0.0094	67.51	6886			37.65			0.00031		
L-8	0.0044	0.0112	79.52	8111			44.35			0.00037		
L-9	0.0051	0.0130	89.8	9160			50.08			0.00043		
L-10	0.0059	0.0150	98.3	10027			54.82			0.00050		
L-11	0.0066	0.0168	106.72	10885			59.52			0.00056		
L-12	0.0073	0.0185	112.46	11471			62.72			0.00061		
L-13	0.0087	0.0221	125.06	12756			69.75			0.00073		
L-14	0.0102	0.0260	136.019	13874			75.86			0.00086		

Tabla 2- Muestra 2 Concreto Permeable Patrón a los 28 días – Fuente propia

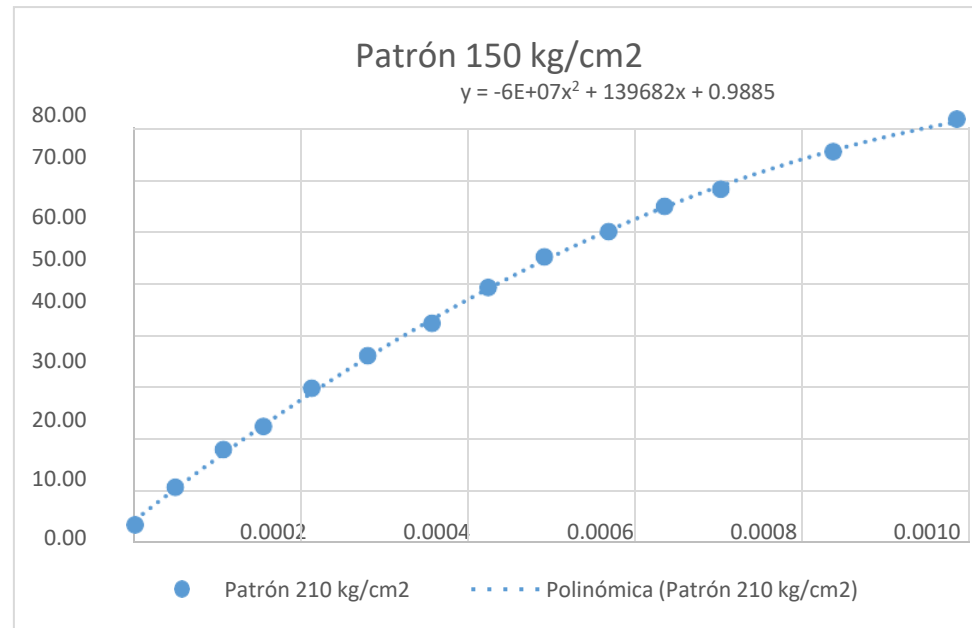


Gráfico 2 – Curva de Módulo de Elasticidad de la muestra 2 de Concreto Permeable Patrón a los 28 días – Fuente propia

LECTURA	DEFORMACION		CARGA		Diámetro Cm	Altura Cm	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	ϵ (0.40 Δ Max)	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	E _c Kg/cm ²
	In	Cm	KN	Kgf								
L-1	0.0000	0.00	0	0	15.14	30.10	0.00	30.85	0.000235988	0.0000	8.45312029	120415.26
L-2	0.0005	0.0013	12.59	1284			7.13			0.00004		
L-3	0.0011	0.0028	25.25	2576			14.31			0.00009		
L-4	0.0016	0.0041	33.04	3370			18.72			0.00014		
L-5	0.0022	0.0056	45.79	4671			25.94			0.00019		
L-6	0.0029	0.0074	56.72	5785			32.14			0.00024		
L-7	0.0037	0.0094	67.56	6891			38.28			0.00031		
L-8	0.0044	0.0112	79.58	8117			45.09			0.00037		
L-9	0.0052	0.0132	89.87	9167			50.92			0.00044		
L-10	0.0059	0.0150	98.37	10034			55.73			0.00050		
L-11	0.0066	0.0168	106.8	10894			60.51			0.00056		
L-12	0.0074	0.0188	112.54	11479			63.76			0.00062		
L-13	0.0087	0.0221	125.15	12765			70.91			0.00073		
L-14	0.0103	0.0262	136.12	13884			77.12			0.00087		

Tabla 3- Muestra 3 Concreto Permeable Patrón a los 28 días – Fuente propia

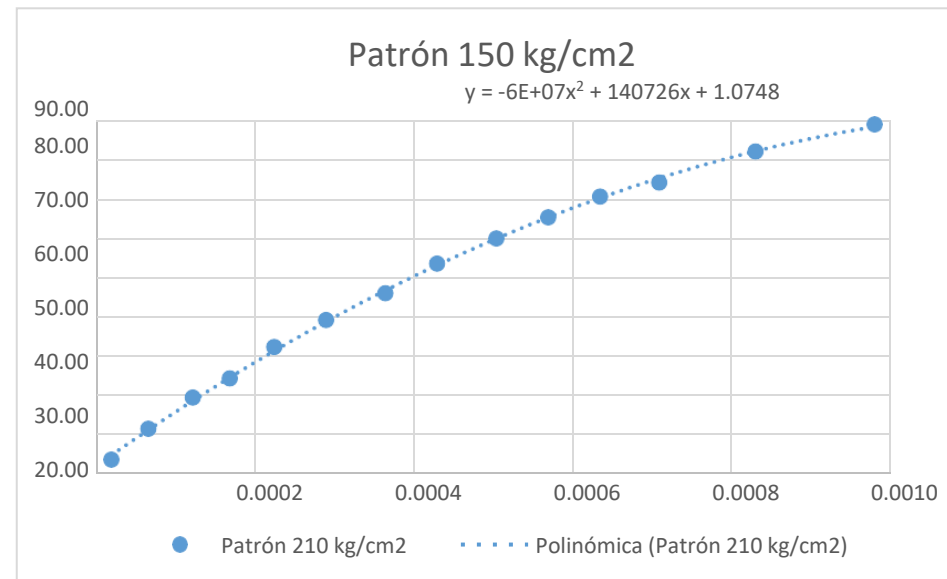


Gráfico 3 – Curva de Módulo de Elasticidad de la muestra 3 de Concreto Permeable Patrón a los 28 días – Fuente propia

Tabla 4 - Módulo de Elasticidad promedio de Concreto Patrón Permeable a los 28 días

IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	E_c Kg/cm ²	Promedio E_c Kg/cm ²
PC - $f'c= 150$ kg/cm ²	19/04/2024	17/05/2024	28	79.78	32	8.78798	0.000235	125114.70	121444.31
PC - $f'c= 150$ kg/cm ²	19/04/2024	17/05/2024	28	75.86	30	8.34171	0.000235	118802.97	
PC - $f'c= 150$ kg/cm ²	19/04/2024	17/05/2024	28	77.12	31	8.45312	0.000236	120415.26	

LECTURA	DEFORMACION		CARGA		Diámetro Cm	Altura Cm	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	ϵ (0.40 Δ Max)	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	E _c Kg/cm ²	
	In	Cm	KN	Kgf									
L-1	0.00000 0	0.00	0	0	15.10	30.10	0.00	64.06	0.00023243 8	0.0000	17.5561598 7	254901.18	
L-2	0.00050 0	0.0013	26.01	2653			14.81						0.00004
L-3	0.00110 0	0.0028	52.16	5320			29.71						0.00009
L-4	0.00160 0	0.0041	68.24	6960			38.87						0.00014
L-5	0.00220 0	0.0056	94.59	9648			53.88						0.00019
L-6	0.00290 0	0.0074	117.16	11950			66.73						0.00024
L-7	0.00360	0.0091	139.54	14233			79.48						0.00030
L-8	0.00440	0.0112	164.37	16766			93.62						0.00037
L-9	0.00510	0.0130	185.63	18934			105.73						0.00043
L-10	0.00580	0.0147	203.2	20726			115.74						0.00049
L-11	0.00650	0.0165	220.61	22502			125.66						0.00055
L-12	0.00730	0.0185	232.47	23712			132.41						0.00062
L-13	0.00860	0.0218	258.51	26368			147.24						0.00073
L-14	0.0102	0.0258	281.17	28679			160.15						0.00086

Tabla 5 - Muestra 1 Concreto Permeable con Micro Sílice 15% a los 28 días - Fuente propia

LECTURA	DEFORMACION		CARGA		Diámetro Cm	Altura Cm	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	ϵ (0.40 Δ Max)	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	E _c Kg/cm ²	
	In	Cm	KN	Kgf									
L-1	0.0000	0.00	0	0	15.15	30.15	0.00	60.06	0.000223628	0.0000	16.48212422	250967.31	
L-2	0.0005	0.0013	24.54	2503			13.89						0.00004
L-3	0.0011	0.0028	49.22	5020			27.85						0.00009
L-4	0.0015	0.0038	64.4	6569			36.44						0.00013
L-5	0.0021	0.0053	89.26	9105			50.51						0.00018
L-6	0.0028	0.0071	110.57	11278			62.56						0.00024
L-7	0.0035	0.0089	131.69	13432			74.51						0.00029
L-8	0.0042	0.0107	155.12	15822			87.77						0.00035
L-9	0.0049	0.0124	175.18	17868			99.12						0.00041
L-10	0.0056	0.0142	191.77	19561			108.51						0.00047
L-11	0.0063	0.0160	208.19	21235			117.80						0.00053
L-12	0.0070	0.0178	219.39	22378			124.14						0.00059
L-13	0.0083	0.0211	243.96	24884			138.04						0.00070
L-14	0.0098	0.0250	265.35	27066			150.14						0.00083

Tabla 6 - Muestra 2 Concreto Permeable con Micro Sílice 15% a los 28 días - Fuente propia

LECTURA	DEFORMACION		CARGA		Diámetro o Cm	Altura Cm	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	ϵ (0.40 Δ Max)	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	E_c Kg/cm ²
	In	Cm	KN	Kgf								
L-1	0.0000	0.00	0	0	15.11	30.20	0.00	60.87	0.00023166 1	0.0000	16.739010 87	242938.56
L-2	0.0005	0.0013	24.75	2525			14.08					
L-3	0.0011	0.0028	49.63	5062			28.23					
L-4	0.0016	0.0041	64.93	6623			36.93					
L-5	0.0022	0.0056	90	9180			51.19					
L-6	0.0029	0.0074	111.48	11371			63.41					
L-7	0.0037	0.0094	132.78	13544			75.53					
L-8	0.0044	0.0112	156.4	15953			88.96					
L-9	0.0051	0.0130	176.62	18015			100.47					
L-10	0.0059	0.0150	193.34	19721			109.98					
L-11	0.0066	0.0168	209.9	21410			119.40					
L-12	0.0073	0.0185	221.19	22561			125.82					
L-13	0.0087	0.0221	245.97	25089			139.91					
L-14	0.0103	0.0261	267.53	27288			152.18					

Tabla 7 - Muestra 3 Concreto Permeable con Micro Sílice 15% a los 28 días - Fuente propia

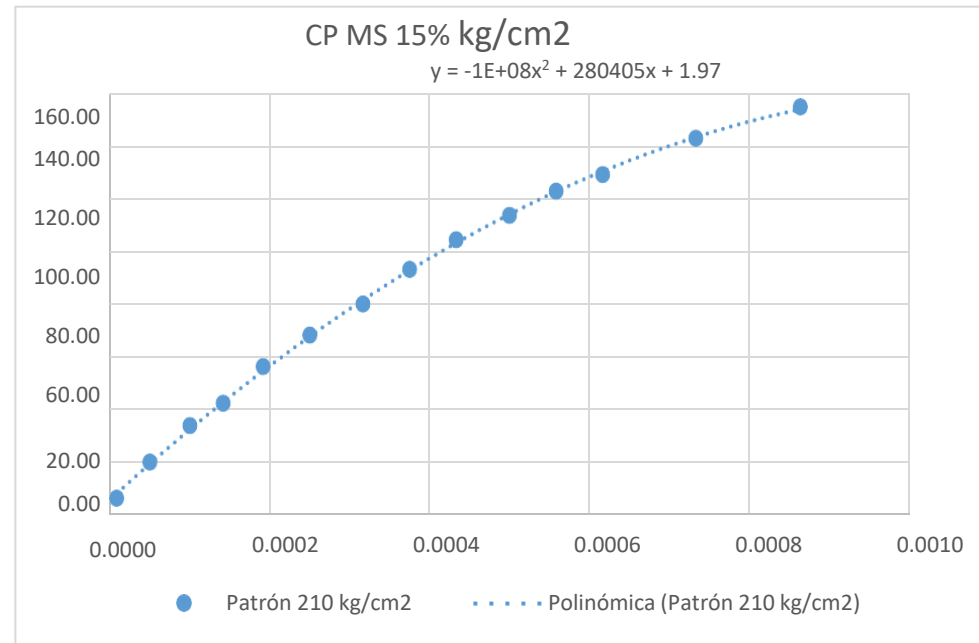


Gráfico 4 - Curva de Módulo de Elasticidad de la muestra 3 de Concreto Permeable con Micro Sílice 15% a los 28 días –

IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	E _c Kg/cm ²	Promedio E _c Kg/cm ²
PC - f'c= 150 kg/cm ² +15% MICROSILICE	19/04/2024	17/05/2024	28	160.15	64.06	17.55616	0.000232	254901.18	249602.35
PC - f'c= 150 kg/cm ² +15% MICROSILICE	19/04/2024	17/05/2024	28	150.14	60.06	16.48212	0.000224	250967.31	
PC - f'c= 150 kg/cm ² +15% MICROSILICE	19/04/2024	17/05/2024	28	152.18	60.87	16.73901	0.000232	242938.56	

Tabla 8 - Módulo de Elasticidad promedio de Concreto Permeable con Micro Sílice 15% a los 28 días

Gráfica comparativa entre los resultados promedio del Concreto Permeable Patrón y adicionando Micro Sílice en el ensayo Módulo de Elasticidad – Fuente propia

EDAD	PC - $f'c= 150$ kg/cm ² + 15% MICROSILICE	PC - $f'c= 150$ kg/cm ²
28	249602.35	121444.31

Tabla 9 - Módulo de Elasticidad promedio de Concreto Permeable con Micro Sílice 15% a los 28 días

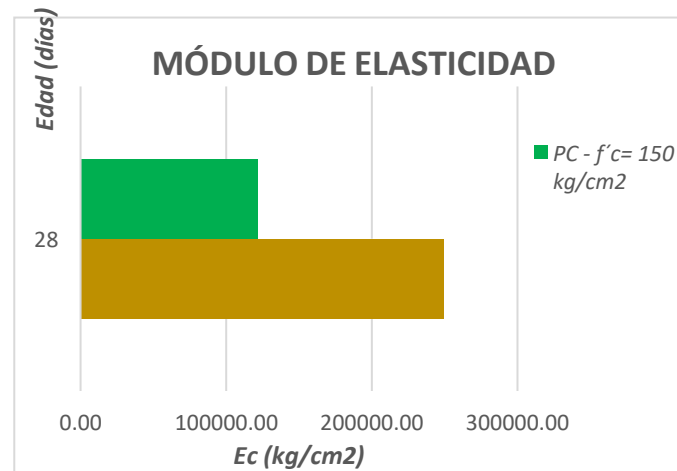


Gráfico 5 - Comparativa

Ensayo para Penetración de Cloruros

Se elaboró muestras cilíndricas de concreto permeable patrón y adicionando micro sílice al 15% con dimensiones de 4" x 8" y lo ensayamos como indica la norma ASTM C1202.

Datos ensayados para concreto permeable patrón:

DATOS DE LAS PROBETAS PARA EL ENSAYO DE PENETRACION DE ION CLORURO								
PROBETA_DP 150	DIÁMETRO				ESPESOR			
Muestra	D 1(mm)	D 2mm)	D 3(mm)	Dprom (mm)	e- 1(mm)	e- 2(mm)	e- 3(mm)	Dprom (mm)
DP-1	100.09	100.30	100.20	100.20	50.50	51.00	51.04	50.85
DP-2	100.13	100.51	100.34	100.33	51.50	51.26	51.34	51.37
DP-3	100.22	101.35	100.21	100.59	51.09	51.00	51.12	51.07

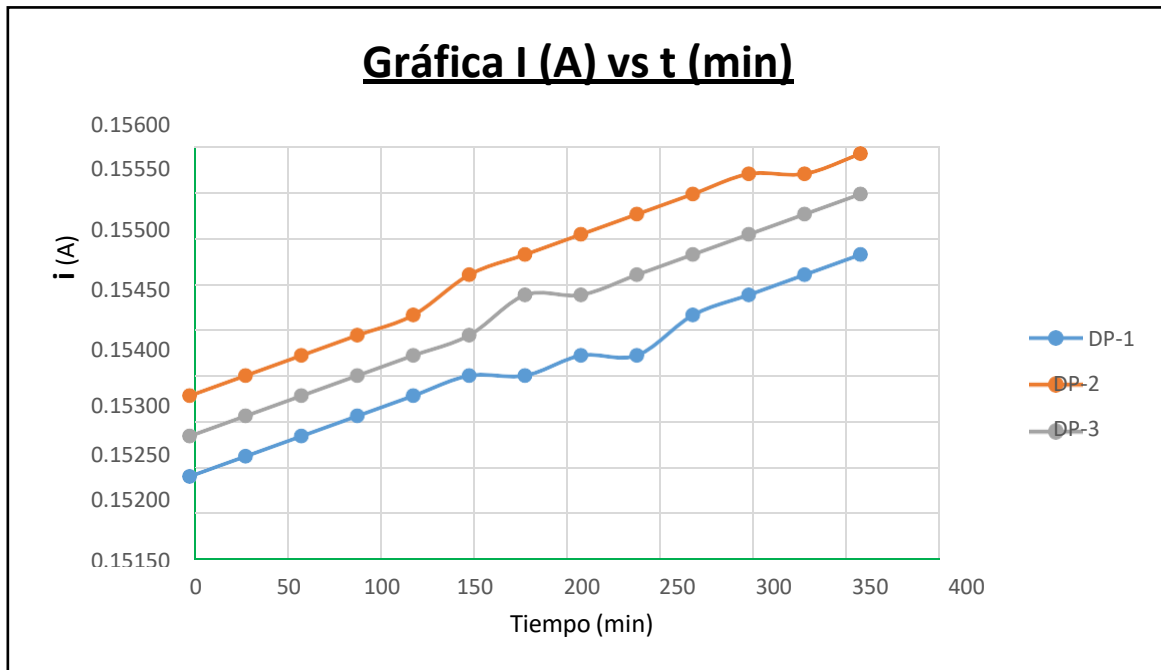
Tabla 10 - Dimensiones de las muestras para concreto permeable patrón a los 28 días

Tabla 14 - Carga de corriente evaluadas en las muestras

Registro de Datos		DP-1	DP-2	DP-3
Dato N°	t (30min)	in (A)	in (A)	in (A)
1	0	0.15202	0.15290	0.15246
2	30	0.15224	0.15312	0.15268
3	60	0.15246	0.15334	0.15290
4	90	0.15268	0.15356	0.15312
5	120	0.15290	0.15378	0.15334
6	150	0.15312	0.15422	0.15356
7	180	0.15312	0.15444	0.15400
8	210	0.15334	0.15466	0.15400
9	240	0.15334	0.15488	0.15422
10	270	0.15378	0.15510	0.15444
11	300	0.15400	0.15532	0.15466
12	330	0.15422	0.15532	0.15488
13	360	0.15444	0.15554	0.15510

Tabla 11 – Análisis de datos concreto permeable patrón a los 28 días

Tabla 25 - Curvas de corriente vs tiempo en las muestras de concreto permeable patrón



DETERMINACIÓN DE CARGA QUE PASA:

Muestras	Q (coulombs)
DP-1	3309.174
DP-2	3333.528
DP-3	3322.044

Qpromedio (Coulombs)=	3321.582
--------------------------	-----------------

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + 2I_{90} + 2I_{120} + 2I_{150} + \dots + 2I_{330} + I_{360})$$

Donde: Q = Carga pasada (coulombs)

I_0 = Corriente (amperios), inmediatamente después de aplicar la tensión
 I_t = Corriente (amperios), t minutos

después de aplicar la tensión

AJUSTES DEL VALOR DE LA CARGA:

Muestras	Qs (coulombs)
DP-1	2974.817
DP-2	2988.949
DP-3	2962.881

Qpromedio (Coulombs)=	2975.549
----------------------------------	-----------------

$$Q_s = Q \times \left(\frac{95}{D_{prom}}\right)^2$$

Donde:

Qs = Carga pasada (coulombs) a través de una muestra de 95 mm de diámetro

Q = Carga pasada (coulombs) a través de una muestra de Dprom de diámetro

COMPARACIÓN:

PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO BASADA EN LA CARGA PASADA	
CARGA PASADA (COULOMBS)	PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO
>4000	ALTA
2000 - 4000	MODERADA
1000 - 2000	BAJA
100 - 1000	MUY BAJA
<100	INELEGIBLE

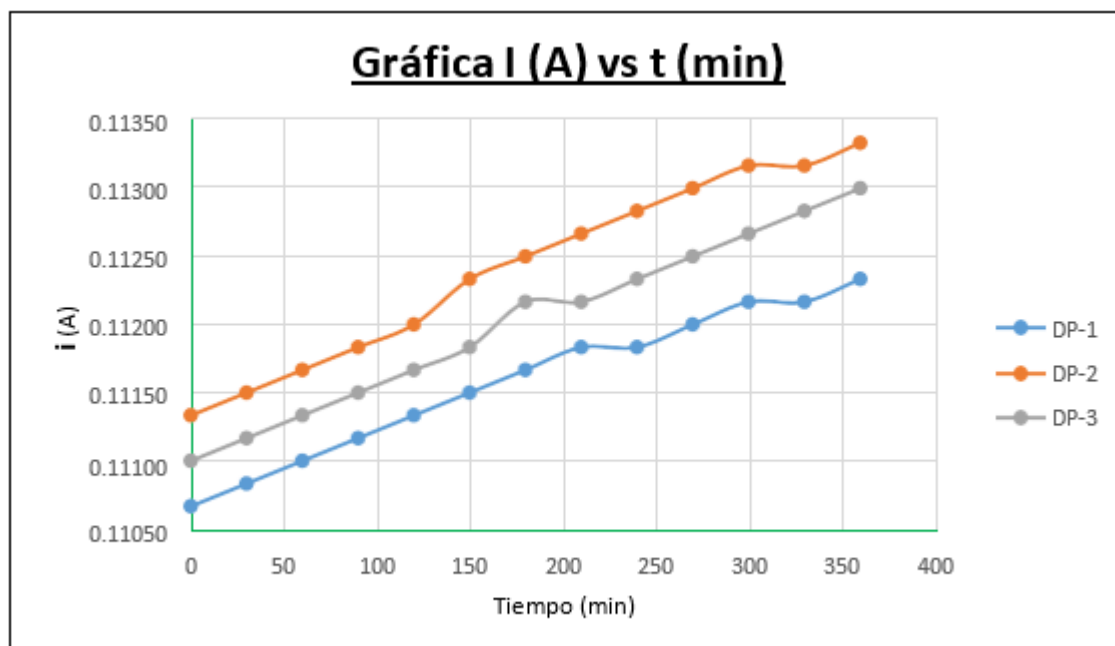
MUESTRAS	PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO
DP-1	MODERADA
DP-2	MODERADA
DP-3	MODERADA
EVALUACION NPROMEDIO	MODERADA

Datos ensayados para concreto permeable con micro sílice al 15%

DATOS DE LAS PROBETAS PARA EL ENSAYO DE PENETRACION DE ION CLORURO								
PROBETA_DP 150	DIÁMETRO				ESPEJOR			
Muestra	D 1(mm)	D 2mm)	D 3(mm)	Dprom (mm)	e- 1(mm)	e- 2(mm)	e- 3(mm)	Dprom (mm)
DP-1	100.10	100.15	100.11	100.12	50.11	50.00	50.21	50.11
DP-2	100.12	100.40	100.45	100.32	50.21	50.25	50.30	50.25
DP-3	100.30	101.10	100.20	100.53	50.15	50.23	50.45	50.28

Tabla 16 - Dimensiones de las muestras para concreto permeable Micro Sílice 15% a los 28 días

Registro de Datos		DP-1	DP-2	DP-3
Dato N°	t (30min)	in (A)	in (A)	in (A)
1	0	0.11072	0.11138	0.11105
2	30	0.11088	0.11154	0.11121
3	60	0.11105	0.11171	0.11138
4	90	0.11121	0.11187	0.11154
5	120	0.11138	0.11204	0.11171
6	150	0.11154	0.11237	0.11187
7	180	0.11171	0.11253	0.11220
8	210	0.11187	0.11270	0.11220
9	240	0.11187	0.11286	0.11237
10	270	0.11204	0.11303	0.11253
11	300	0.11220	0.11319	0.11270
12	330	0.11220	0.11319	0.11286
13	360	0.11237	0.11336	0.11303



DETERMINACIÓN DE CARGA QUE PASA:

Muestras	Q (coulombs)
DP-1	2411.046
DP-2	2428.866
DP-3	2420.253

Qpromedio (Coulombs)=	2420.055
----------------------------------	-----------------

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + 2I_{90} + 2I_{120} + 2I_{150} + \dots + 2I_{330} + I_{360})$$

Donde:

Q = Carga pasada (coulombs)

I_0 = Corriente (amperios), inmediatamente despues de aplicar la

tensión
 I_t = Corriente (amperios), t minutos despues de aplicar la
tensión

AJUSTES DEL VALOR DE LA CARGA:

Muestras	Qs (coulombs)
DP-1	2170.756
DP-2	2177.945
DP-3	2161.164

Qpromedio (Coulombs)=	2169.955
----------------------------------	-----------------

$$Q_s = Q \times \left(\frac{95}{D_{prom}}\right)^2$$

Donde:

Q_s = Carga pasada (coulombs) a través de una muestra de 95 mm de

diámetro Q = Carga pasada (coulombs) a través de una muestra de

D_{prom} de diámetro

COMPARACIÓN:

PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO BASADA EN LA CARGA PASADA	
CARGA PASADA (COULOMBS)	PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO
>4000	ALTA
2000 - 4000	MODERADA
1000 - 2000	BAJA
100 - 1000	MUY BAJA
<100	INELEGIBLE

MUESTRAS	PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO
DP-1	MODERADA
DP-2	MODERADA
DP-3	MODERADA
EVALUACION PROMEDIO	MODERADA

En este ensayo se evaluó la capacidad de resistir a fuerzas compresoras del concreto permeable a la penetración de cloruros es para analizar la durabilidad del mismo.

Este ensayo midió la cantidad de carga eléctrica que pasa a través de una muestra de concreto permeable en un período de 6 horas. Se correlaciona la cantidad de carga con la penetración de cloruros, donde una mayor carga indica una mayor penetración.

Se aplicó un voltaje constante de 60 V a un espécimen de concreto permeable saturada, sumergida en una solución de cloruros en un lado y una solución de hidróxido de sodio en el otro. La cantidad de corriente que pasa a través de la muestra se midió y se utilizó para calcular la resistencia a la penetración de cloruros.

Según los datos obtenidos en el ensayo Penetración de Cloruros, tanto las muestras de concreto permeable patrón y con micro sílice al 15% resultada una penetrabilidad moderada, a pesar de tener mucho contenido de huecos.

Conclusiones

- ✓ El análisis de la data proporcionados en las experimentaciones de fuerzas compresoras del concreto permeable sugiere varias conclusiones importantes sobre el uso de micro sílice como aditivo en la mezcla de concreto:
- ✓ El concreto permeable convencional presentó una resistencia a la compresión bajadebido a la falta de un agente que mejore la cohesión en la mezcla. La incorporación de aditivos plastificantes, como sugieren Amorós y Bendezú, es crucial para mejorar esta cohesión y, por ende, la resistencia del concreto permeable.
- ✓ En la investigación, al añadir un 15% de micro sílice, se logró alcanzar resistenciadeseada a los 28 días (150 kg/cm²), lo que indica que la micro sílice es efectiva para incrementar la capacidad de resistir fuerzas compresoras del concreto poroso. Esto se alinea con los resultados obtenidos por Pereyra, quien utilizó puzolana de vidrio reciclado para obtener resistencias medianamente aceptables.
- ✓ La adición de micro sílice incrementa significativamente la resistencia a la capacidad de resistir fuerzas diametrales en un 43.69% si lo comparamos el concreto poroso convencional.
- ✓ La incorporación de micro sílice al 15% en el concreto permeable aumenta significativamente el módulo de elasticidad, con un aumento del 105.53% si lo comparamos con el hormigón permeable convencional.
- ✓ La adición de micro sílice mejora la resistencia al estiramiento y la capacidad de soportar mayor flexión, resultando en una mayor rigidez y elasticidad del material.
- ✓ Las partículas de micro sílice densifican la matriz cementicia, mejorando la interconexión entre las partículas de cemento, piedra y arena. Esta densificación y mejora en la estructura interna del concreto incrementan su rigidez y contribuyen a un incremento del módulo de elasticidad.

- ✓ En el ensayo de penetración de cloruros, se midió la carga eléctrica que pasa a través de una muestra de concreto permeable en 6 horas con un voltaje constante

de 60 V. Los resultados mostraron que tanto el concreto permeable convencional como el modificado con micro sílice al 15% tienen una penetrabilidad moderada, a pesar de su alto porcentaje de vacíos.

- ✓ La penetrabilidad moderada sugiere que, aunque se mejora la estructura interna y rigidez con la adición de micro sílice, la durabilidad frente a la penetración de cloruros sigue siendo una consideración importante debido al diseño de mezcla poroso.
- ✓ La adición de micro sílice al concreto permeable mejora significativamente su módulo de elasticidad y rigidez, pero la penetrabilidad moderada a cloruros indica que se debe prestar atención a la durabilidad en condiciones de exposición a cloruros.

Recomendaciones

- ✓ Seguir las recomendaciones de Amorós y Bendezú y utilizar aditivos plastificantes en la mezcla de hormigón poroso para mejorar la cohesión entre los materiales y, consecuentemente, aumentar la resistencia.
- ✓ Llevar a cabo estudios a largo plazo para evaluar la durabilidad del concreto permeable con micro sílice, especialmente en condiciones adversas.
- ✓ Implementar la incorporación de micro sílice al 15% en el concreto permeable para aumentar significativamente el módulo de elasticidad y la rigidez del material.
- ✓ Adoptar el uso de micro sílice en proyectos que requieran alta resistencia al estiramiento y capacidad de soportar mayor flexión.
- ✓ Aprovechar la densificación de la matriz cementicia proporcionada por las partículas de micro sílice para mejorar la interconexión entre las partículas de cemento, piedra y arena, incrementando así la rigidez del concreto.
- ✓ Realizar evaluaciones periódicas de la capacidad de resistir fuerzas compresoras del hormigón poroso a la penetración de cloruros para analizar su durabilidad, especialmente en entornos expuestos a cloruros.
- ✓ Balancear la mejora en la rigidez y elasticidad del concreto con micro sílice con medidas adicionales para mitigar la penetrabilidad moderada a cloruros.
- ✓ Investigar posibles aditivos o modificaciones en el diseño de mezcla que puedan reducir la penetración de cloruros sin comprometer la permeabilidad, rigidez y elasticidad del concreto.
- ✓ Utilizar concreto modificado con micro sílice en aplicaciones donde la resistencia estructural es crítica, pero también considerar protección adicional contra cloruros en entornos marinos o expuestos a sales de deshielo.

Referencias

- [J. E. Ayala López, E. Gil ahumada, R. D. Cornejo Dolores y S. P. Muñoz Pérez,
1 «Metodologías empleadas para la producción de concreto permeable usando
] parcialmente materiales reciclados como agregados: una revisión literaria,» *Instituto
Tecnológico Metropolitano*, 7 Febrero 2022.
- [C. . E. Amorós Morote y J. C. Bendezú Ulloa, *Diseño de mezcla de concreto
2 permeable para la construcción de la superficie de rodadura de un pavimento de
] resistencia de 210 kg/cm²*, Lima, 2019.
- [F. A. Pereyra Valdera, *Evaluación de un concreto permeable adicionando diferentes
3 porcentajes de puzolana de vidrio reciclado para su aplicación en veredas y ciclovías
] en el distrito de Reque-Chiclayo 2021*, Chiclayo, 2023.
- [B. T. SIKA, «SIKA Building Trust,» Abril 2018. [En línea]. Available:
4 [https://mbcc.sika.com/es-pe/funciones-y-aplicaciones/producci%C3%B3n-de-
\] hormig%C3%B3n/tecnolog%C3%ADa-de-hormig%C3%B3n-permeable](https://mbcc.sika.com/es-pe/funciones-y-aplicaciones/producci%C3%B3n-de-hormig%C3%B3n/tecnolog%C3%ADa-de-hormig%C3%B3n-permeable). [Último
acceso: 15 Mayo 2024].
- [Construcción y Tecnología en Concreto, «Construcción y Tecnología en Concreto,»
5 21 Julio 2015. [En línea]. Available:
] [https://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm#:~:text=El%20concreto
%20permeable%20es%20un%20tipo%20especial%20de%20concreto%20con,de%2
Olas%20aguas%20de%20pluviales..](https://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm#:~:text=El%20concreto%20permeable%20es%20un%20tipo%20especial%20de%20concreto%20con,de%20Olas%20aguas%20de%20pluviales..) [Último acceso: 15 Mayo 2024].
- [Promart Homecenter, «Promart Homecenter,» 07 Marzo 2017. [En línea]. Available:
6 [https://www.promart.pe/blog/tipos-de-cemento-
\] portland#:~:text=El%20cemento%20Portland%20Tipo%20I,adiciones%20para%20r
egular%20el%20fraguado..](https://www.promart.pe/blog/tipos-de-cemento-portland#:~:text=El%20cemento%20Portland%20Tipo%20I,adiciones%20para%20regular%20el%20fraguado..) [Último acceso: 18 05 2024].
- [Cemento Yura, «Cemento Yura,» 05 Agosto 2015. [En línea]. Available:
7 <https://www.yura.com.pe/blog/agregados-para-la-elaboracion-de-concreto/>. [Último
] acceso: 18 Junio 2024].
- [Holcim, «Holcim,» 08 Julio 2015. [En línea]. Available:
8 <https://www.holcim.com.ec/agregados-arena-no-lavada>. [Último acceso: 05 Mayo
] 2024].

[Concrelab, «Concrelab Medición Confiable,» 21 Agosto 2014. [En línea]. Available:
9 <https://www.concrelab.com/agua-concreto/>. [Último acceso: 05 Agosto 2024].

]

[Dificonsa, «Dificonsa,» 07 Enero 2014. [En línea]. Available:
1 <https://www.dificonsa.com/portfolio/microsilica/>. [Último acceso: 03 Agosto 2024].

0

]

[SIKA, «SIKA,» 07 Febrero 2017. [En línea]. Available:
1 https://per.sika.com/dam/dms/pe01/f/sikafume_.pdf. [Último acceso: 09 Junio 2024].

1

]

Anexos

Cotización de agregados:



EL HORMIGÓN ROJAS SAC

RUC 20607451975

Dirección: vía de evitamiento KM 3.5, La Victoria

Cel.: 956182014, 957357166

Correo: el.hormigon.rojas@gmail.com



Fecha 11 de noviembre del 2024

Cotización N° 049 - 2024 - HRSAC/RPRV

Cliente : JOSÉ MARTÍN AYALA MAS
DNI : 71217997
Proyecto : Evaluación de la resistencia de un concreto permeable aplicando micro sílice como aditivo según la norma ACI 522-R10.

Estimado respecto a su requerimiento, nos permitimos ofrecerle los siguientes productos:

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total Parcial
ARENA AMARILLA GRUESA	M3	1	55.00	55.00
PIEDRA CHANCADA DE ½"	M3	1	75.00	75.00
CEMENTO CEMEX TIPO 1	KG	2	30.50	61.00
AGUA PUESTA EN OBRA	M3	1	20.00	20.00
TOTAL FINAL			211.00	

CONDICIONES COMERCIALES

Precios incluyen IGV para emitir factura o boleta

Validez de la oferta : 15 días.

Lugar : Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

Plazo de ejecución : según lo establecido por el cliente

Forma de pago : al contado

Moneda : Soles

CTA CORRIENTE BANCO INTERBANK: 748-3003140420

CCI BANCO INTERBANK: 003-748-003003140420-12

CUENTA DETRACCIONES BANCO DE LA NACIÓN: 00-250-035926

Atentamente,

EL HORMIGÓN ROJAS SAC.

 Lic. Adm. Rober P. Rojas Vera
GERENTE GENERAL

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE CONCRETO PERMEABLE PATRÓN Y ADICIONANDO MICRO SÍLICE

f'c = 150 kg/cm ²						
MATERIALES	MATERIALES		N° DE PROBETAS PATRÓN = 21			COSTO TOTAL CONCRETO PATRON PERMEABLE POR 21 PROBETAS
			PRECIO	TRANSPORTE	TOTAL	
CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	ARENA GRUESA AMARILLA	m ³	S/55.00	15	S/70.00	S/241.50
	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m ³	S/75.00	15	S/90.00	
	CEMENTO PORTLAND TIPO 1	1 bolsa de cemento	S/31.50	15	S/46.50	
	AGUA POTABLE	m ³	S/20.00	15	S/35.00	

f'c = 150 kg/cm ²			N° DE PROBETAS CON MICRO SÍLICE = 21			COSTO TOTAL CONCRETO PATRON PERMEABLE POR 21 PROBETAS
MATERIALES	MATERIALES		PRECIO	TRANSPORTE	TOTAL	
CONCRETO PERMEABLE CON MICRO SÍLICE	ARENA GRUESA AMARILLA	m ³	S/55.00	15	S/70.00	S/506.50
	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m ³	S/75.00	15	S/90.00	
	CEMENTO PORTLAND TIPO 1	1 bolsa de cemento	S/31.50	15	S/46.50	
	AGUA POTABLE	1.5 LITROS	S/20.00	15	S/35.00	
	MICRO SÍLICE (sika)	1 bolsa de 25 KG	S/250.00	15	S/265.00	

Para realizar las 21 muestras de concreto permeable patrón se tuvo un costo de 241.50 soles y para realizar las 21 muestras de concreto permeable con micro sílice se tuvo un costo de 506.50 soles, por lo tanto, se obtuvo un incremento del costo en 109.73% con respecto al costo de las muestras de concreto permeable patrón y adicionando micro sílice al 15%.

ENSAYOS DE LOS AGREGADOS:



Pesando el agregado grueso en el laboratorio de suelos de la USAT



Colocando las muestras al horno para el ensayo de peso específico en el laboratorio de suelos de la USAT



Midiendo con el vernier un molde de acero de 6"x12" pulgadas para el ensayo de pesosunitarios en la USAT



Moviendo la fiola con la muestra de agregado fino adentro para el ensayo de peso específico en el laboratorio de suelos de la USAT

ROTURA DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE CONCRETO PERMEABLE







ROTURA DE ENSAYO DE TRACCIÓN DIAMETRAL DE CONCRETO PERMEABLE







FICHA TÉCNICA DE MICRO SÍLICE

CONSTRUYENDO CONFIANZA



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

SikaFume®

Adición mineral - Microsílice

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaFume® es un aditivo para concreto en forma de polvo, basado en tecnología de humo de sílice.

USOS

SikaFume® se utiliza en concreto proyectado, estructural, prefabricado y otros campos de construcción de concreto en los que se requieren altas exigencias a la calidad en estado fresco y endurecido.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

SikaFume® contiene dióxido de silicio reactivo extremadamente fino. La presencia de esta sustancia imparte una gran cohesión interna y retención de agua en el concreto fresco. La capacidad de bombeo se mejora sustancialmente así como el comportamiento reológico. En el concreto endurecido, el humo de sílice forma un enlace químico con la cal libre (CaOH₂). La formación adicional de productos de hidratación da como resultado una matriz cementicia final significativamente más densa.

Con el uso de SikaFume®, el concreto mostrará las siguientes propiedades:

- Alta estabilidad del hormigón fresco.
- Mayor durabilidad.
- Excelente resistencia a la congelación y la sal de deshielo.
- Mayores resistencias finales.
- Mayor resistencia a la abrasión.
- Mayor estanqueidad en el concreto endurecido.
- Reducción a la penetración de cloruros.

SikaFume® no contiene cloruros ni otras sustancias que promueven la corrosión del acero y, por lo tanto, se puede usar sin ninguna restricción para la construcción de concreto reforzado y pretensado.

CERTIFICADOS / NORMAS

SikaFume® cumple los requisitos de las normas EN 13263-1 y ASTM C1240.

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Empaques	Bolsa de 25 kg Bolsa de 20 kg
Vida Útil	36 meses de vida útil a partir de la fecha de producción, si se almacena correctamente en el empaque original sellado, sin daños y sin abrir.
Condiciones de Almacenamiento	Almacenamiento en un ambiente seco.
Apariencia / Color	polvo gris o crema
Specific gravity	Peso específico: 2,200 kg/m ³

INFORMACIÓN TÉCNICA

Guía de Vaciado de Concreto	Se deben seguir las reglas estándar de buenas prácticas relativas a la pro-
------------------------------------	---

Hoja De Datos Del Producto
SikaFume®
Marzo 2022, Versión 01.03
021403031000000019

ducción y la colocación de concreto. Las pruebas de laboratorio deben llevarse a cabo en el sitio para realizar los ajustes que sean necesarios, consulte con el soporte técnico de Sika en tanto sea necesario.

Diseño de la Mezcla de Concreto	Cuando se usa SikaFume [®] , se debe tener en cuenta un diseño de mezcla adecuado y se deben probar y acondicionar su desempeño con los materiales locales.
Condiciones de Curado	Sugerimos, como en todos los concretos, seguir las instrucciones dadas en el ACI 308 para un correcto curado del concreto.
Compatibilidad	Compatible con todos los productos Sika.

INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

Dosificación Recomendada	5 - 10% en peso de cemento.
---------------------------------	-----------------------------

NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad

INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

MEZCLADO

Se dosifica y adiciona en la planta de concreto en forma similar al cemento u otros materiales cementicios. Puede dosificarse en una mezcladora central o mixer. Seguir el procedimiento indicado en la norma ASTM C94 o NTP 339.114, Especificación estándar para concreto premezclado.

RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto

Sika Perú
Habilitación Industrial
El Lúcumo Mt. "B" Lote 6
Lurín, Lima
Tel. (511) 618-6060

Hoja De Datos Del Producto
SikaFume[®]
Marzo 2022, Versión 01.03
021403031000000019

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A.C. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe. La presente edición anula y reemplaza la edición anterior, misma que deberá ser destruida.

SikaFume-es-PE-(03-2022)-1-3.pdf

