



Facultad de Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

Evaluación de la resistencia y permeabilidad de un hormigón poroso elaborado con fibras de plástico reciclado PET

Por

Constanza Camila Verdejo Loo

Trabajo de tesis para optar al Grado de Licenciado en
Ciencias de la Construcción y al Título de Ingeniero
Constructor

Profesor Guía: Gustavo Pacheco Hernández

Noviembre 2023

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primera instancia a mis padres, Sun Lang Loo y Jorge Verdejo y a mis hermanos, Evelyn González y Ricardo González, cada uno fue un pilar fundamental en mi vida y un gran soporte en los momentos más difíciles de este proceso. También agradecer a mi padrino Enrique O., quien estuvo siempre presente, apoyándome incondicionalmente.

Agradecer a mi profesor guía Gustavo Pacheco, quien siempre tuvo la disposición y dedicación de corregirme y resolver mis dudas en todo momento. A Don Víctor Escudero, quien me ayudó muchísimo en el laboratorio para realizar el desarrollo de esta investigación.

Agradecer a Christian Gómez, por acompañarme en esta etapa de mi vida, entregándome tanto amor, motivándome a ser mejor y a alcanzar mis objetivos.

Finalmente a mis amigos que conocí gracias a la Universidad, Dayna Carranza y Miguel Espinoza y a mis amigas de toda la vida, Fernanda Zurita y Victoria Rojas, gracias por estar, les agradezco el apoyo y la motivación que me entregaron a diario.

Gracias por creer en mí.

Constanza Verdejo Loo

Índice

GLOSARIO.....	5
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	10
1.1 Planteamiento del problema.....	10
1.2 Pregunta de investigación.....	11
1.3 Estudio del estado del arte.....	11
1.4 Objetivos	13
1.4.1 Objetivo general.....	13
1.4.2 Objetivos específicos	13
1.5 Hipótesis.....	13
1.6 Alcances.....	14
2. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 Hormigón poroso	15
2.1.1 Definición y características del hormigón poroso.....	15
2.1.2 Aplicaciones y uso de hormigón poroso	16
2.1.3 Ventajas y desventajas del hormigón poroso como pavimento.....	17
2.2 Diseño y dosificación de la mezcla de hormigón poroso.....	18
2.2.1 Diseño.....	18
2.2.2 Dosificación	19
2.3 Plásticos.....	19
2.3.1 Tipos de plástico.....	19
2.4 Plástico PET (Tereftalato de polietileno).....	21
2.4.1 Historia	21
2.4.2 Proceso de producción del PET	22
2.4.3 Características y propiedades del PET	23
2.5 Proceso de reciclaje del plástico	23
2.6 Hormigón reforzado con fibras	24
2.7 Ensayos	25
2.7.1 Docilidad.....	25
2.7.2 Porosidad	25
2.7.3 Resistencia a la compresión	26
2.7.4 Resistencia a la flexotracción.....	26
2.7.5 Permeabilidad	26
3. METODOLOGÍA.....	28

3.1	Diagrama de flujo.....	28
3.2	Diseño de la experiencia	29
3.3	Variables	30
3.3.1	Variables independientes.....	30
3.3.2	Variables dependientes	30
3.4	Identificación de materiales.....	30
3.4.1	Cemento	30
3.4.2	Árido grueso y fino	31
3.4.3	Agua	31
3.4.4	Fibras de plástico reciclado PET	32
3.5	Previo a la dosificación	34
3.5.1	Granulometría.....	34
3.5.2	Densidades	35
3.6	Dosificación.....	36
3.7	Elaboración de la mezcla.....	38
3.8	Curado de probetas.....	39
3.9	Ensayos	39
4.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	40
4.1	Granulometría	40
4.2	Densidad aparente	43
4.3	Densidad real	46
4.4	Docilidad de hormigón.....	50
4.5	Porosidad.....	51
4.6	Resistencia a la compresión	53
4.7	Resistencia a la flexotracción	55
4.8	Permeabilidad	57
5.	CONCLUSIONES.....	58
6.	RECOMENDACIONES	59
7.	BIBLIOGRAFÍA	60

GLOSARIO

Adición: Acción de añadir.

Árido: Material granulado que se utiliza como materia prima en la construcción principalmente.

Sostenibilidad: Cualidad de sostenible, especialmente las características del desarrollo que asegura las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de futuras generaciones.

Permeabilidad: Capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna.

Porosidad: Es una medida de espacios vacíos en un material.

Agregado grueso: Árido que queda retenido en el tamiz número 4 (4.75 mm)

Agregado fino: Árido que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en el tamiz número 200.

Probeta: Muestra de material endurecido, por regla general hormigón o roca, de dimensiones determinadas y conservada en condiciones preestablecidas, para posteriormente ser sometida a ensayos.

Curado: Conjunto de precauciones que deben aplicarse al hormigón fresco para eliminar las tensiones internas que se producen al endurecer.

Granulometría: Estudio de la distribución estadística de los tamaños de una colección de elementos de un material sólido fraccionado.

Tamaño máximo nominal: La abertura del tamiz inmediatamente superior a aquel tamiz que retenga el 15% o más del material.

Resistencia mecánica: La resistencia mecánica es la capacidad de los cuerpos para resistir las fuerzas aplicadas sin romperse.

Volumen real: Volumen del material compacto sin poros ni vacíos.

Volumen aparente: Cuando el volumen que se considera es de un sólido con poros o vacíos.

Lista de figuras

Figura 2.1.1: Estructura interna de hormigón poroso	15
Figura 2.1.2: Hormigón poroso	16
Figura 2.3: Tipos de plástico y uso.	20
Figura 2.4.1: Símbolo de identificación de tereftalato de polietileno	21
Figura 2.4.2: Diagrama de flujo de producción de PET	22
Figura 2.5: Proceso principal de reciclaje secundario	24
Figura 2.7: Representación gráfica del ensayo de permeabilidad	27
Figura 3.4.1: Cemento Polpaico	30
Figura 3.4.2: Gravilla y arena gruesa.....	31
Figura 3.4.4: Herramienta artesanal para obtener tiras de PET.....	32
Figura 3.4.5: Tiras de PET	33
Figura 3.4.6: Fibras de PET	33
Figura 3.7: Relleno de probetas	38
Figura 3.8: Curado de probetas cúbicas.....	39
Figura 4.1.1: Serie de tamices para árido fino.....	40
Figura 4.1.2: Tamizado árido grueso	41
Figura 4.2.1: Densidad aparente árido fino	43
Figura 4.2.2: Densidad aparente gravilla	44
Figura 4.3.1: Asentamiento natural arena.....	46
Figura 4.3.2: Masa de matraz, muestra y agua.....	47
Figura 4.3.3: Probeta con vaselina y plástico.....	48
Figura 4.4: Cono de Abrams	50
Figura 4.6: Ensayo de compresión	53
Figura 4.7.1: Ensayo de resistencia a la flexotracción.....	55
Figura 4.7.2: Rotura tercio central de probeta.....	56

Lista de tablas

Tabla 3.4.4: Estudios de distintas adiciones de PET	34
Tabla 3.6.1: Referencia de dosificación.	36
Tabla 3.6.2: Dosificación hormigón poroso	37
Tabla 3.6.3: Dosificación PET	37
Tabla 4.1.1: Granulometría arena.....	41
Tabla 4.1.2: Granulometría gravilla.....	42
Tabla 4.2.1: Densidad aparente suelta gravilla	44
Tabla 4.2.2: Densidad aparente compactada gravilla.....	45
Tabla 4.2.3: Densidad aparente suelta arena	45

Tabla 4.2.4: Densidad aparente compactada arena.....	45
Tabla 4.3.1: Densidad real arena	47
Tabla 4.3.2: Densidad real gravilla	48
Tabla 4.3.3: Densidad plástico PET.....	49
Tabla 4.3.4: Absorción de agua.....	49
Tabla 4.5.1: Promedio de masas	51
Tabla 4.5.2: Volúmenes y densidades	51
Tabla 4.8: Permeabilidad de hormigones.....	57

Lista de gráficos

Gráfico 4.1.1: Granulometría arena	42
Gráfico 4.1.2: Granulometría gravilla	43
Gráfico 4.5: Porosidad en porcentaje	52
Gráfico 4.6: Resistencia a la compresión en MPa.....	54
Gráfico 4.7: Resistencia a la flexotracción en MPa	56
Gráfico 4.8: Permeabilidad en m/s.....	57

RESUMEN

La presente investigación, se realizó con el fin de evaluar la resistencia mecánica, permeabilidad y porosidad de hormigones porosos con distintos porcentajes de adición de plástico reciclado, específicamente de tereftalato de polietileno (Pet).

Se plantea en primera instancia, evaluar si la adición de plástico Pet influye positivamente en la resistencia mecánica y permeabilidad de un hormigón poroso patrón. Para ello, se realiza una exhaustiva investigación previa sobre cómo afecta el plástico en el hormigón poroso, donde efectivamente existen evidencias de que el plástico influye de alguna manera en la resistencia de este. Es por esto, que se propone incorporar 0,08%, 0,10% y 0,12% de fibras de plástico Pet de dimensiones de 4x20mm, con el fin de evaluar en base a condiciones locales, el comportamiento de este.

Se realizaron 60 probetas en total, considerando ensayos para los 7 días y 28 días de curado y además probetas cúbicas de 20x20x20 cm para los ensayos de resistencia a la compresión y prueba de permeabilidad, y se utilizaron probetas prismáticas de 60x15x15 cm para los ensayos de flexo tracción.

Con respecto a los resultados, el hormigón poroso patrón alcanza una resistencia de 11,7 MPa, dentro de los resultados se destaca el aumento de la resistencia de compresión en el hormigón poroso que se le adiciona un 0,12% de Pet, donde alcanza una resistencia de 13,7 MPa.

En cuanto a los resultados del ensayo de flexotracción, el hormigón poroso patrón entregó una resistencia de 1,3 MPa, y el hormigón poroso más alto fue con 0,12% de adición de Pet, con 1,7 MPa.

Por otro lado, también se demostró que con mayor porcentaje de adición de Pet, disminuye su porosidad y permeabilidad. Sin embargo, a pesar de este factor, presentaron una adecuada capacidad drenante, en base a las características de un hormigón poroso.

Estos resultados, evidencian que la incorporación de fibras de plástico reciclado Pet a un hormigón poroso aporta positivamente en las propiedades mecánicas y la permeabilidad de éste. Esto permite aportar al desarrollo investigativo de los hormigones porosos, los cuales están limitados por su capacidad de resistencia, y además aporta a promover la sostenibilidad dentro de la industria de la construcción, reutilizando y reciclando residuos de consumo diario.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in order to evaluate the mechanical resistance, permeability and porosity of porous concrete with different percentages of recycled plastic addition, specifically polyethylene terephthalate (Pet).

It is proposed, in the first instance, to evaluate whether the addition of Pet plastic positively influences the mechanical resistance and permeability of a standard porous concrete. To do this, an exhaustive prior investigation is carried out on how plastic affects porous concrete, where there is indeed evidence that plastic influences its resistance in some way. This is why it is proposed to incorporate 0.08%, 0.10% and 0.12% of Pet plastic fibers with dimensions of 4x20mm, in order to evaluate its behavior based on local conditions.

A total of 60 specimens were carried out, considering tests for 7 days and 28 days of curing and also 20x20x20 cubic specimens for the compression resistance and permeability tests, and 60x15x15 cm prismatic specimens were used for the flexural tests. .

With respect to the results, the standard porous concrete reaches a resistance of 11.7 MPa, within the results the increase in compression resistance in the porous concrete that is added 0.12% of Pet stands out, where it reaches a resistance of 13.7 MPa.

Regarding the results of the flexural test, the standard porous concrete delivered a resistance of 1.3 MPa, and the highest porous concrete was that with 0.12% Pet addition, with 1.7 MPa.

On the other hand, it was also shown that with a higher percentage of Pet addition, its porosity and permeability decrease. However, despite this factor, they presented adequate drainage capacity, based on the characteristics of a porous concrete.

These results show that the incorporation of recycled PET plastic fibers into porous concrete contributes positively to its mechanical properties and permeability. This allows us to contribute to the research development of porous concretes, which are limited by their resistance capacity, and also contributes to promoting sustainability within the construction industry, reusing and recycling waste from daily consumption.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, la industria de la construcción enfrenta el desafío de reducir su impacto ambiental y promover la sostenibilidad en todos sus procesos, siendo esta una de las más grandes y que más impacto tiene, tanto a nivel ambiental, social y económico. Según estudios, se señala que a nivel internacional, el sector de la construcción genera cerca de un 30% del total de emisiones de gases de efecto invernadero y a nivel país, el sector Construcción podría potencialmente participar en cerca de 22,8% del total de las emisiones gases de efecto invernadero (Héctor Acuña et al, 2019). Con respecto al uso de materias primas, un 40% de lo que se extrae a nivel global, es destinado a la construcción, generando entre un 25% y un 40% de residuos, los cuales menos de un tercio son reutilizados o reciclados (CDT, 2021).

En este contexto, la industria de la construcción, tiene la capacidad de influir significativamente en la reducción de las emisiones de GEI, llevando a cabo prácticas sostenibles. Una de estas medidas, es la gestión de los recursos, donde es necesario gestionar de manera eficiente, reduciendo el consumo, reutilizando y reciclando las materias primas, generando un impacto positivo tanto en el ámbito social, como económico y ambiental.

Por otro lado, el plástico PET (tereftalato de polietileno) es un tipo de plástico utilizado en la fabricación de botellas de bebidas, envases de alimentos y otros productos de consumo. Aunque el PET es ligero, resistente y versátil, su uso indiscriminado y la mala gestión de residuos plásticos han contribuido significativamente a la contaminación ambiental.

En el año 2015 se alcanzó una producción total de 380 millones de toneladas de plástico y cada año, los fabricantes de bebidas producen más de 500 mil millones de botellas de plástico de un solo uso. (Greenpeace, 2023).

Uno de los principales problemas asociados con el PET es su alta duración en el medio ambiente. Aunque técnicamente es reciclable, muchos países como en Europa, por ejemplo, el PET no es circular, y a menos que se introduzcan cambios sustanciales en las políticas; y se eliminan las barreras técnicas y económicas, el PET podrá ser circulable (Napierska, 2021). Como resultado, gran cantidad de estos envases acaban en vertederos o se desechan de manera irresponsable, terminando en ecosistemas naturales como ríos, océanos y bosques.

Una reducción drástica del plástico innecesario, evitable y problemático es crucial para enfrentar la crisis global de contaminación, según una evaluación exhaustiva publicada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el año 2021.

Al utilizar plástico reciclado PET en la industria de la construcción, se reduce la cantidad de residuos plásticos que terminan en vertederos y en el medio ambiente, además requiere un menor consumo de energía que la producción de plástico nuevo, por lo que se disminuye la huella de carbono asociada.

Uno de los posibles usos del plástico reciclado PET y lo que se propone como investigación, es su incorporación en la confección de un hormigón de poroso, un hormigón mayormente utilizado en pavimentos permeables de tráfico ligero, los cuales son un sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS), el cual ofrece beneficios en términos de gestión del agua ya que logra captar, conducir, infiltrar y almacenar el agua, lo que ayuda a reducir el riesgo de inundaciones y a recargar los acuíferos subterráneos, restaurando el ciclo natural del agua, además reducen el efecto de isla de calor, mejorando la calidad ambiental de las ciudades.

De esta forma, se daría un uso al plástico desechado y se aportaría en el desarrollo investigativo de los hormigones porosos, los cuales son una alternativa viable, tanto para áreas urbanas y proyectos de infraestructuras que buscan soluciones más sostenibles que el hormigón convencional.

1.2 Pregunta de investigación

¿Qué influencia tiene el uso del plástico reciclado PET en la resistencia mecánica y en la permeabilidad de un hormigón poroso?

1.3 Estudio del estado del arte

Este estudio del estado del arte, examina la investigación existente sobre las propiedades de resistencia y permeabilidad de la adición de plástico reciclado PET en un hormigón permeable, para proporcionar una visión general de las investigaciones previas relacionadas a la temática.

Para realizar este estudio, se realizaron distintas búsquedas en bases de datos académicos y científicos, en base a palabras claves como “hormigón poroso”, “plástico reciclado PET”, “Hormigón poroso con plástico PET”. Se consideraron estudios de revistas científicas, tesis e informes relacionados al tema, de los cuales se seleccionaron los más relevantes, tanto internacionales como nacionales.

Dentro de estos, se destaca: “Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón” Javier Castro, Hernán de Solminihac, Carlos Videla y Bonifacio Fernández, donde hace referencia a distintos resultados en base a 18 mezclas de hormigón poroso en función

de la razón agua-cemento, donde considera que es recomendable utilizar entre 0.35 y 0.38, ya que mezclas con w/c menores, presentan muy baja resistencia y apreciable desprendimiento de áridos. Mezclas con w/c mayores, presentan escurrimiento de la pasta de cemento, disminuyendo el porcentaje de vacíos.

Otro artículo importante es el de una Revista de Ingeniería de Construcción titulada “Efecto de las fibras plásticas en la flexión de estructuras de pavimentos drenantes” (Fredy Reyes et. al. 2002) donde realizan distintas dosificaciones con dos tipos de tiras distintas, de 2mmx10mm y de 4mmx20mm, con distintos porcentajes y evaluaron sus resistencias y permeabilidad. De los resultados obtenidos, determinaron que la más adecuada era la tira de 4mmx20mm y que la cantidad de árido fino debe ser menor o igual a 15% del peso total de la mezcla y que el porcentaje adecuado de fibras era el de 0.10%. para alcanzar una mejor característica en cuanto al comportamiento ante los esfuerzos de compresión y flexión.

También se destaca la tesis “Influencia del uso de fibras Pet recicladas en las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico f'c 210 kg/cm², Chiclayo 2022”, Fran Luis Agip Zárate, Jhean Franco Bustamante Diaz, de la Universidad César Vallejo. Donde en 72 probetas, con diferentes dosificaciones se adiciona 1,5%, 3% y 6% de PET, demostrando que en 28 días, ante un 0,5% de adición de fibras de PET, se obtiene una mejora en las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico f'c 210 kg/cm².

Otra investigación relevante es la “Influencia de la adición del 0.2%, 0.3% y 0.4% de tereftalato de polietileno en las propiedades de resistencia y permeabilidad de pavimento de concreto” por Jazmín Alejandra Solórzano Ordinola y Marco Antonio Cerna Vásquez Junior. Esta investigación está directamente relacionada ya que diseña un hormigón patrón de f'c 280 kg/cm² y la compara con otro con adiciones de 0.3%, 0.4% y 0.5% de PET, la cual concluye en que, si se busca mayor resistencia, utilice menor porcentaje de PET y si se busca mayor flexión y permeabilidad, se utilice mayor porcentaje de PET, de todas formas, se demuestra que el PET influye significativamente en las propiedades del hormigón permeable.

Además, de la misma Universidad César Vallejo, se encontró otra tesis de título “Efecto del PET reciclado en la permeabilidad y resistencia de un pavimento rígido F'c 175 kg/cm².” De Joel Trujillo Alva, del año 2020. Donde se utilizó 0,05%, 0,10% y 0,15% de PET en dosificaciones para compararla con un hormigón permeable de resistencia f'c 175 kg/cm². El cual arrojó que mientras más porcentaje de PET, mayor es la resistencia a la compresión, mientras que la permeabilidad es menor.

Finalmente, otra tesis fundamental fue la de Dín Enaí Medina Torres la cual presenta la influencia de diferentes porcentajes de tiras de plástico en la permeabilidad, resistencia a la compresión y flexión del concreto permeable y su aplicación como pavimento rígido, Trujillo 2019.

Esta incorpora 0,05%, 0,10%, 0,15% y 0,20% de plástico en tiras de 2x20mm, donde recomienda utilizar tiras de 4x20mm y las propiedades mecánicas del hormigón mejora al incorporar un 0.10% de PET.

Teniendo en cuenta estas investigaciones se demuestra que la incorporación de fibras de plástico reciclado PET mezclado en distintas proporciones, influye de alguna manera en la resistencia y permeabilidad de este y que es necesario su investigación debido a los distintos resultados de este.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la resistencia mecánica y permeabilidad de un hormigón poroso con fibras de plástico reciclado PET y su aplicación como alternativa sostenible.

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar el porcentaje de porosidad de cada hormigón.
- Determinar la docilidad, permeabilidad, resistencia a la compresión y flexo tracción en las mezclas y probetas realizadas.
- Comparar los resultados de resistencia mecánica, permeabilidad y porosidad del hormigón poroso patrón y los hormigones con plástico reciclado Pet.

1.5 Hipótesis

Las fibras de plástico reciclado PET, influirán positivamente a la resistencia mecánica y permeable de un hormigón poroso.

1.6 Alcances

- En esta investigación se centrará en analizar los datos de resistencia a la compresión, flexo tracción y prueba de permeabilidad.
- Los ensayos se realizarán en el laboratorio de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad de Valparaíso.
- El plástico que se utilizará en esta investigación es Polietileno Tereftalato reciclado, en tiras de 4mmx20mm.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Hormigón poroso

2.1.1 Definición y características del hormigón poroso

El hormigón poroso es semejante en cuanto a los componentes básicos al hormigón convencional, pero se diseña de forma distinta para que quede con un índice de poros mayor. La estructura interna de este hormigón poroso, puede describirse como un conjunto de partículas de agregado grueso unidas entre sí por puentes constituidos por pasta cementicia, los cuales le otorgan la resistencia al hormigón (Carrasco et al., 2021.), esto se ve demostrado en la ilustración 2.1.1.

El hormigón poroso, según la ACI 522R, consiste en la mezcla de cemento portland, agregado grueso, poco o ningún agregado fino, aditivo y agua. De esta forma, se producirá un material con poros conectados entre sí, que varían en tamaño desde 2 a 8 mm. El contenido de vacíos puede variar de un 15 a un 35 %, con resistencias a compresión típicas de 2,8 a 28 MPa. Su velocidad de drenaje depende del tamaño del agregado y de la densidad de la mezcla, pero generalmente se encuentra en el rango de 81 a 730 L/min/m² (Porras, 2017).

Estas características permiten que estos tipos de hormigones puedan infiltrar el agua mediante los vacíos que se forman, para posteriormente llegar al suelo y de esta manera el agua no se retiene en la superficie.

En la siguiente figura, se demuestra gráficamente cómo quedan unidas las partículas de agregado grueso con la pasta cementicia.

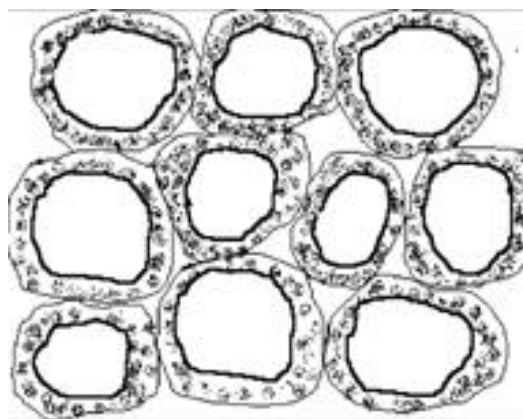


Figura 2.1.1: Estructura interna de hormigón poroso

Fuente: Carrasco et al., 2021



Figura 2.1.2: Hormigón poroso
Fuente: Elaboración propia.

2.1.2 Aplicaciones y uso de hormigón poroso

Las aplicaciones y el uso del hormigón poroso se dispondrán a todos los campos que requieran la existencia de elementos drenantes capaces de evacuar agua en un plazo relativo de tiempo, manteniendo al mismo tiempo unas determinadas condiciones resistentes (Aguado et al. 1997).

Los primeros hormigones porosos datan de mediados del siglo XIX, utilizándose por primera vez en Reino Unido en 1852, luego se vuelven a señalar en el año 1923 en Edimburgo donde hasta esa fecha principalmente se utilizó para las construcciones de viviendas y luego, a partir de la década de 1970, se empezó a utilizar en pavimentos para estacionamientos, caminos tránsito bajo, y banquetas (Carrasco et al., 2021).

Así es como el uso principal de un hormigón poroso es el pavimento drenante, el cual permite la evacuación volúmenes de agua superficial hacia las capas inferiores, la reducción de efectos de hidroplaneo y además la reducción de ruidos en calzadas. No obstante, aún existen limitaciones para

su uso en esta aplicación debido a que, al contener un mayor índice de huecos, se ve comprometida su resistencia, utilizándose de esta manera en pavimentos permeables de bajo tránsito como estacionamientos, pasos peatonales, decks para piscinas, corrales, etc.

2.1.3 Ventajas y desventajas del hormigón poroso como pavimento

a) Ventajas

- La principal ventaja de este pavimento poroso, es la capacidad de disminuir el escurrimiento de aguas pluviales para que estas lleguen a restaurar el ciclo natural del agua, recargando las capas freáticas, los acuíferos, etc.
- Ofrece una mayor seguridad vial, ya que este presenta la infiltración inmediata del agua, reduciendo la salpicadura del agua al vehículo, la niebla y el hidroplaneo.
- Absorben ruido, esto se debe a su estructura abierta, provocando una diferencia en el tiempo de llegada entre ondas sonoras directas y ondas sonoras reflejadas, haciendo que disminuya la intensidad a nivel de ruido (Carrasco et al., 2021).
- La estructura del hormigón poroso, proporciona un medio para que las bacterias anaeróbicas descompongan muchos de los contaminantes que se filtran desde los automóviles hacia el pavimento. (Carrasco et al., 2021).
- Contribuye a mejorar la calidad de aire de las ciudades, ya que reduce el calentamiento al producir un color más claro y menor densidad haciendo que refleje menos el calor y la luz y de esta forma disminuya el impacto de la isla de calor.

b) Limitaciones y desventajas

- La resistencia de este tipo de hormigón se ve limitada por el alto nivel de vacíos que presenta.
- Requiere de mayor mantenimiento para que no queden partículas adheridas entre la estructura del hormigón.

2.2 Diseño y dosificación de la mezcla de hormigón poroso

2.2.1 Diseño

Para el diseño de la mezcla, se tomarán en cuenta las siguientes características:

- Granulometría

La granulometría resulta fundamental para las propiedades que tendrá el hormigón poroso. Se debe utilizar árido grueso con ausencia casi total de finos, debe tener un tamaño bastante uniforme para obtener un porcentaje elevado de vacíos. (Cabello, 2015).

- Dosis de agua

La dosis de agua tiene un gran efecto en las propiedades de esta mezcla, ya que una cantidad insuficiente, quedará una mezcla sin consistencia y baja resistencia. Por otro lado, una cantidad excesiva de agua, la pasta que se genere sellará los vacíos.

- Dosis de cemento

La dosis de cemento tiene que ser la adecuada, ya que, ante una mayor cantidad de este, producirá un hormigón más resistente, pero disminuirá el porcentaje de vacíos en el hormigón. Una dosis recomendada varía entre 250-400 Kg/m³ (Cabello, 2015).

- Porosidad

Un alto porcentaje de vacíos aumenta la permeabilidad y disminuye la resistencia. Para que tenga porosidad debe contener al menos un 15% de vacíos y que no supere el 25% por la poca estabilidad de la mezcla. (Cabello, 2015).

2.2.2 Dosificación

En la actualidad no existen Normas Chilenas, ni existe un método universal para la dosificación de un hormigón poroso, sin embargo, hasta la fecha se han hecho múltiples proyectos e investigaciones sobre el tema. Esto ha permitido definir ciertos parámetros que se deben considerar, ya que, son los determinantes para la definir las proporciones de la mezcla.

- Relación agua/cemento

Esta relación es la fundamental para que la mezcla obtenga porosidad, se recomienda que sea de 0.35 a 0.38 según (Castro et al. 2009).

- Agregados

La clasificación de agregados se recomienda entre 9.5 y 20 mm, con agregado de un solo tamaño para mantener la estructura abierta del hormigón poroso. Además, se recomienda una relación finos/gruesos de una relación $0.05 < F/G < 0.3$ ya que si es menor a 0.05, queda débil y vulnerable a ataques químicos y si es mayor a 0.3, podrían llegar a disminuir su porosidad (Moreno, 2004)

- Dosis de cemento

La dosis de cemento mínima será de 340 kg.cem/m³ y la máxima de 370 kg.cem/m³ de hormigón elaborado. Esto según una cartilla de pavimentos permeables del SERVIU RM. (2006).

2.3 Plásticos

2.3.1 Tipos de plástico

Los plásticos se pueden clasificar de distintas maneras, una de estas es en las propiedades y selección del material para una aplicación determinada.

- a) Termoestables

Estos son materiales que adquieren un estado final reticulado, lo que los hace insolubles e incapaces de fundir. Así como es resistente térmico, presenta alta resistencia química, rigidez, dureza superficial, entre otros. (M. Beltrán & Marcilla, 2012)

- b) Elastómeros

Estos materiales son capaces de soportar deformaciones muy grandes recuperando su forma inicial una vez que se elimina el esfuerzo. Los elastómeros son materiales muy tenaces, resistentes

a aceites y grasas y al ozono, y presentan buena flexibilidad a bajas temperaturas (M. Beltrán & Marcilla, 2012)

c) Termoplásticos

Estos son polímeros lineales que pueden estar ramificados o no. Son capaces de fundir, por lo que son reciclables. Estos se emplean en cantidades muy grandes en comparación con otros tipos de plástico, los más frecuentes son PE, PP, PS y PVC. A continuación, se presentan los tipos de termoplásticos existentes:

						
PET	PEAD	PVC	PEBD	PP	PS	O
Tereftalato de polietileno	Poliétileno (alta densidad)	Cloruro de polivinilo	Poliétileno (baja densidad)	Polipropileno	Poliestireno	Bisfenol-A y otros
PET es comúnmente usado en botellas de condimentos o de bebidas como agua, refresco y energéticos.	PEAD es comúnmente usado en botellas de leche, jugo o champú, contenedores de detergente, bolsas de supermercado, y bolsas de cereal.	PVC puede ser flexible o rígido, y es usado para tuberías de drenaje, empaques para comida transparentes, plástico para envolver, juguetes de niños, manteles, pisos de vinilo, tapetes de juego para niños, y empaques de medicamentos en cápsula.	PEBD es usado para bolsas para lavandería, para pan, para periódico, para frutas y verduras, y para basura, así como para vasos de "papel" para bebidas y envases de "papel" para leche.	PP es usado para contenedores de yogurt, contenedores de comida de cafetería, muebles, maletas y aislamiento para ropa de invierno.	También llamado plumavit, unisel y más nombres, es usado para vasos, platos, contenedores para comida a domicilio, charolas para carne cruda, y material de relleno para envíos.	Cualquier artículo de plástico que no sea de los seis mencionados se pone en una misma categoría múltiple de plástico #7. Cosas como discos compactos, biberones de bebé, y faros de coche.
						

Figura 2.3: Tipos de plástico y uso.

Fuente: Plastic Oceans México

2.4 Plástico PET (Tereftalato de polietileno)

Este se distingue por el número 1 en la etiqueta como se muestra a continuación:



Figura 2.4.1: Símbolo de identificación de tereftalato de polietileno

Fuente: Petcore Europe. 2018.

2.4.1 Historia

Este polímero, conocido como tereftalato de polietileno, fue patentado como un polímero para fibra por J. R. Whinfield y J. T. Dickson en 1941. Para que luego, en 1955, comenzara la producción de fibras de poliéster (Quiminet, 2005)

Principalmente, el tereftalato de polietileno se utilizaba para películas de embalaje alrededor de la década de 1960, y luego a principios de la década de 1970, se desarrolló comercialmente la técnica de soplado de botellas orientadas biaxialmente.

Actualmente, el PET se ha diversificado en múltiples sectores sustituyendo a materiales tradicionalmente implantados o planteando nuevas alternativas de envasado impensables hasta el momento. Esto ha llevado a que haya un crecimiento exponencial en cuanto a la producción de este material.

2.4.2 Proceso de producción del PET

La fabricación de una botella de PET parte de la materia prima, estos son el etileno y paraxileno, los derivados de estas dos sustancias (etilenglicol y ácido tereftálico) se hacen reaccionar para obtener la resina PET. Esta resina en forma de gránulos, se funde y se inyecta en un molde para hacer la forma, el cual mediante un soplado de aire a alta presión, permite que se adapte la forma exacta del molde (Frank Welle, 2018). A continuación, se muestra un diagrama de flujo para la producción de PET.

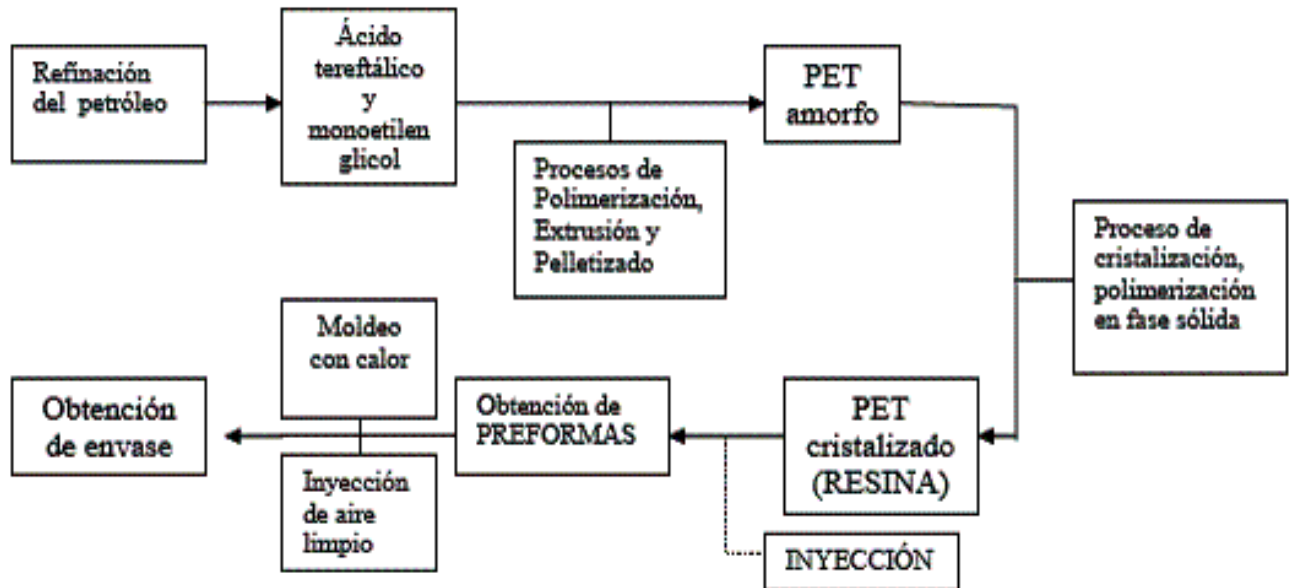


Figura 2.4.2: Diagrama de flujo de producción de PET

Fuente: Quiminet (2015).

2.4.3 Características y propiedades del PET

Las propiedades físicas del PET han sido las razones por las que el material ha alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas (QuimiNet, 2005)

Entre las características más fundamentales se encuentran:

- Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes
- Alta resistencia al desgaste
- Resistencia química
- Propiedades térmicas
- Buena barrera a CO₂
- Aceptable barrera a O₂ y a humedad
- Ligero

2.5 Proceso de reciclaje del plástico

El objetivo del proceso del reciclaje de PET, es el convertir nuevamente el material en una resina apta para su utilización, existen diferentes estrategias para manejarlos que buscan disminuir su cantidad e impactos que generan al medio ambiente.

La mayoría de los termoplásticos son reciclables. Sin embargo, cuando hay diferentes tipos de resinas mezclados en el proceso, este generalmente no es viable dado de que son miscibles. Es por esto que, el primer paso para reciclar es separar mediante el código que estos presentan.

Una vez ya separados, se procede a la recolección, donde puede ser selectiva, es decir, en distintos momentos se colectan diferentes materiales, o que el usuario lleve sus residuos a un punto de recolección (Vázquez et al. 2016).

La clasificación más aceptada de los procesos que se llevan a cabo para reciclar los plásticos se divide en cuatro categorías:

- Reciclaje primario o re-extrusión: reciclaje in situ, o reprocesamiento. Se realiza al introducir los residuos de origen post industrial, que se generan durante la producción, al proceso de extrusión con el fin de fabricar productos de material similar. (Vázquez et al. 2016).
- Reciclaje secundario o mecánico: procesos físicos de reciclaje, no se modifica la estructura química o la composición de los plásticos, pueden realizarse a partir de residuos post-industrias o post-consumo (Vázquez et al. 2016). El proceso general se muestra a continuación.

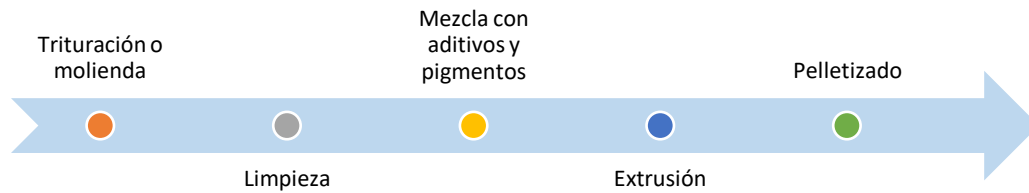


Figura 2.5: Proceso principal de reciclaje secundario
Fuente: Elaboración propia, extraído de Vázquez et al. 2016

- Reciclaje terciario o químico: los plásticos cambian su estructura y forman nuevas moléculas, que pueden ser similares o diferentes a los de origen. Estos nuevos monómeros pueden utilizarse como materias primas para la industria química para fabricar plásticos u otros tipos de productos (Vázquez et al. 2016).
- Reciclaje cuaternario o valorización energética: este proceso recupera de forma directa la capacidad calorífica de los residuos plásticos. Estos liberan mucha energía cuando reaccionan con el oxígeno durante la combustión, es decir, son muy buenos combustibles, comparables en algunos casos con otros derivados del petróleo (Vázquez et al. 2016).

2.6 Hormigón reforzado con fibras

Con el fin de contribuir a la sustentabilidad dentro de la industria de la construcción, se han llevado a cabo numerosas investigaciones acerca del hormigón poroso, algunos autores les han incorporado fibras de distintos plásticos, fibras de vidrios, entre otros. Generando impactos tanto positivos como a veces negativos en la resistencia mecánica e hidráulica de este, permitiendo que se amplíe las aplicaciones de este hormigón poroso.

Algunos de estas investigaciones se pueden demostrar en el punto 1.3 en el Estado del arte, donde se mencionan tesis acerca de dosificaciones de hormigón poroso con adiciones en distintos porcentajes de plástico.

Se destacan las siguientes proporciones para que exista una influencia positiva en la resistencia mecánica del hormigón:

- Adición de porcentajes de plástico de un 0,05% a un 3%
- Tiras de plástico de 4x20mm

2.7 Ensayos

Para evaluar la resistencia mecánica y la capacidad drenante de un hormigón, se debe llevar a cabo ciertos ensayos, estos estarán regidos por las Normas Chilenas vigentes.

2.7.1 Docilidad

Para medir la docilidad del hormigón, se realiza el cono de Abrams, de acuerdo a la NCh1019.Of2009. Este consiste en colocar el hormigón fresco en un molde con forma de tronco cónico, luego este se levanta dejando que el hormigón se asiente, para luego medir y registrar el asentamiento del hormigón, como la distancia vertical entre la altura original y la posición final del centro de la superficie superior del hormigón.

2.7.2 Porosidad

La porosidad hace referencia a la cantidad de espacios o poros en su estructura externa e interna de un material, esta se puede medir a partir de las densidades real y aparente del material de la siguiente forma:

$$P = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} * 100\%$$

Ecuación 1: Porosidad de un material
Fuente: Departamento de ambiente y recursos naturales
Facultad de ciencias agraria y forestales, 2019

Donde

- ρ_r = densidad real (kg/m³)
- ρ_a = densidad aparente (kg/m³)
- P = porosidad

Ahora, para obtener la densidad aparente del material esta se determina por el cociente entre la masa seca y el volumen aparente. Para obtener el volumen aparente esta se determina de la siguiente manera:

$$V_a = \frac{\text{Masa saturada} - \text{Masa sumergida}}{\text{Densidad agua}}$$

Ecuación 2: Volumen aparente
Fuente: Materiales de construcción, 2020

Para obtener la masa saturada, se debe introducir el material en un recipiente con agua hasta que sobrepase la muestra por al menos 24 horas, luego se debe retirar la muestra y pesar obteniendo la masa saturada.

Para obtener la densidad real, se debe obtener el cociente entre la masa seca y el volumen real, donde es necesario para obtener la masa seca, secar la muestra en un horno a temperatura constante entre 110°C por 24 horas.

2.7.3 Resistencia a la compresión

Para el ensayo de resistencia a la compresión, se tuvo como referencia la NCh1037.Of2009. Esta norma establece el método de ensayo a la rotura por compresión de probetas cúbicas y cilíndricas de hormigón. Es la capacidad de soportar una carga de aplastamiento en una determinada área, con una prensa a compresión.

2.7.4 Resistencia a la flexotracción

Para el ensayo de resistencia a flexo tracción, se utiliza la NCh1038.Of2009, el cual consiste en la rotura de probetas prismáticas de hormigón apoyadas. Primero se coloca la probeta sobre los elementos de apoyo, la cara de llenado debe quedar en un plano perpendicular centrada al de los elementos de apoyo. Luego, centrar el sistema de aplicación de la carga con la relación a la fuerza aplicada. Posteriormente, se debe colocar los elementos de aplicación de carga en contacto con la superficie de la probeta en los puntos correspondientes a los tercios y aplicar una carga entre un 3% y un 6% de la carga última estimada, para determinar si hay espacios entre la probeta y los elementos de aplicación o apoyo de carga y corregir. Aplicar la carga sobre la probeta de manera continua y sin golpes. La carga debe ser aplicada a una velocidad constante hasta el punto de rotura.

2.7.5 Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad del material para permitir la filtración de un fluido a través de sus poros interconectados; de ahí que dependa de la cantidad total de los poros, así como de su distribución, tamaño e interconectividad (Solís et al. 2019).

Para medir la permeabilidad del hormigón, se tomó como referencia la NCh2261.Of2009 y distintos métodos investigados previamente. Estos consisten en medir la aplicación de agua

constante en un equipo adaptado para este procedimiento, donde se mide el tiempo en que el agua aplicada penetra en la muestra. Para su cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 3: Permeabilidad

$$K * i * A = \frac{Vol}{t}$$

Este queda de la siguiente manera:

$$K = \frac{Vol}{(H1-H2)*A*t}$$

Fuente: Wittwer, 2014

Donde:

K = Permeabilidad (m/s)

Vol. = Volumen de agua

L = Largo de probeta

H1 = Altura entrada caudal

H2 = altura salida caudal

A = Área de la probeta

t = Tiempo en el que se recibe todo el caudal

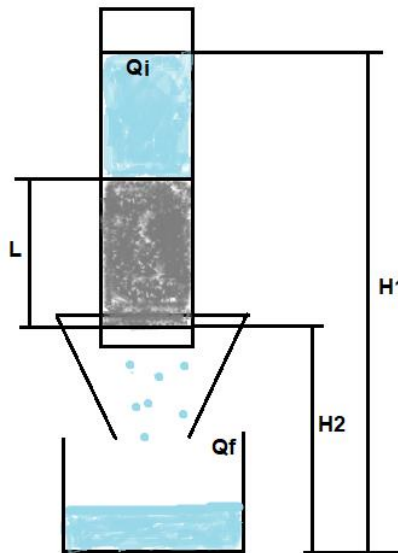
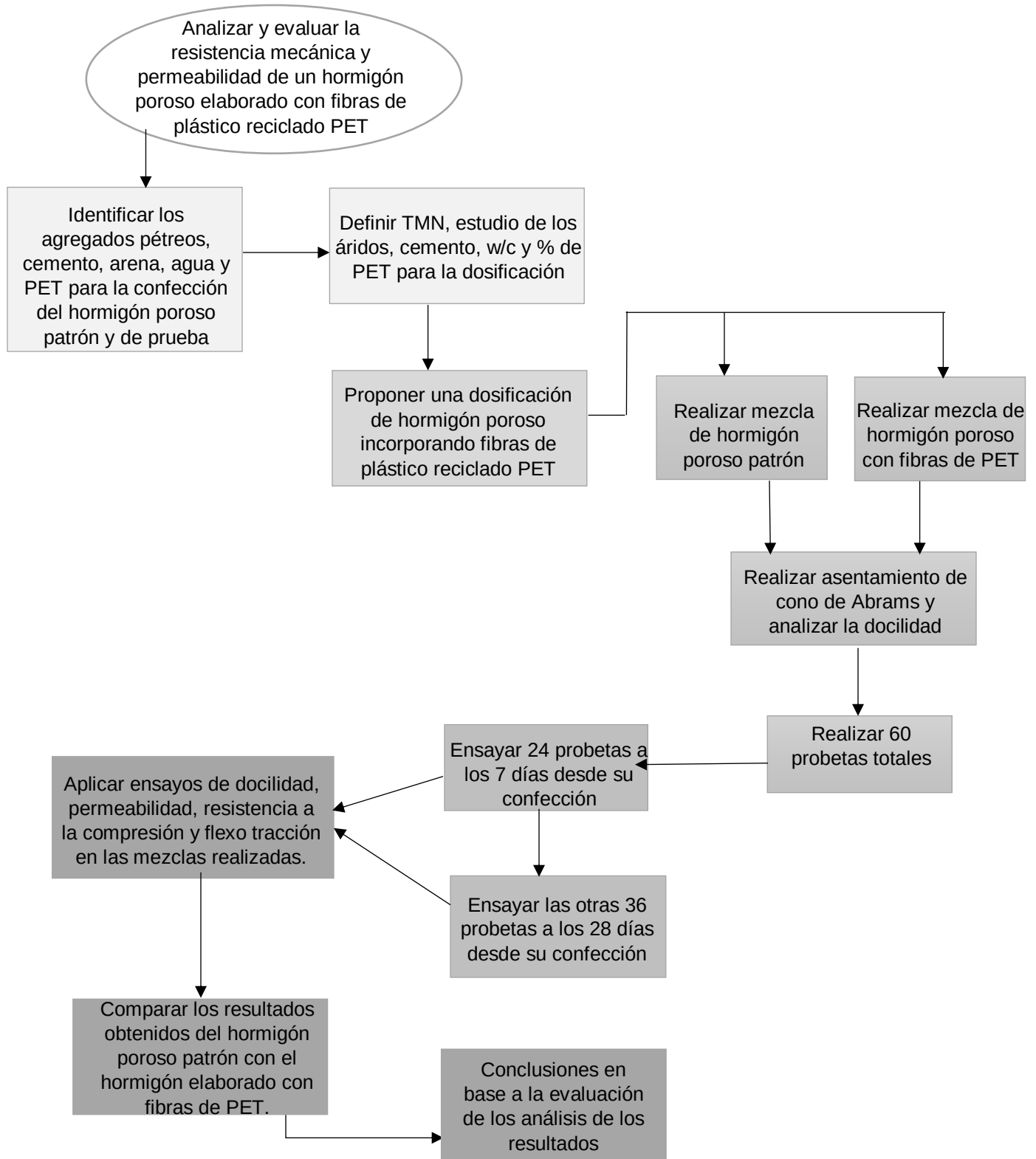


Figura 2.7: Representación gráfica del ensayo de permeabilidad

Fuente: Elaboración propia

3. METODOLOGÍA

3.1 Diagrama de flujo



3.2 Diseño de la experiencia

Esta investigación corresponde a un estudio experimental de laboratorio, donde se comparan los datos de los ensayos realizados a un hormigón poroso patrón con un hormigón poroso elaborado con fibras de plástico PET. De esta forma, analizando y evaluando los resultados, se podrá responder a la pregunta de investigación y a la hipótesis planteada anteriormente.

Se realizaron 60 probetas, las cuales se dividieron en los ensayos de resistencia mecánica y permeabilidad, además se dividieron en 2 grupos, 7 y 28 días de edad, como se muestra a continuación:

Tabla 3.2.1: Distribución de probetas 1er grupo

Ensayo	Hormigón Patrón	Hormigón poroso con adición de % de PET		
		0,08%	0,10%	0,12%
Resistencia a la compresión	3	3	3	3
Resistencia flexo tracción	3	3	3	3
Total probetas				24

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2.2: Distribución de probetas 2do grupo

Ensayo	Hormigón Patrón	Hormigón poroso con adición de % de PET		
		0,08%	0,10%	0,12%
Resistencia a la compresión	3	3	3	3
Resistencia flexo tracción	3	3	3	3
Permeabilidad	3	3	3	3
Total probetas				36

Fuente: Elaboración propia

Las probetas cúbicas de 20x20x20 cm, se utilizarán para todos los ensayos de resistencia a la compresión y la prueba de permeabilidad. Mientras que las probetas prismáticas de 60x15x15 cm, se utilizarán para todos los ensayos de flexo tracción.

3.3 Variables

3.3.1 Variables independientes

Las variables independientes se considerarán los porcentajes de agregado de plástico reciclado y la edad de las probetas que son 7 y 28 días.

3.3.2 Variables dependientes

Las variables dependientes se considerarán las propiedades mecánicas, en este caso la resistencia a la compresión, flexo tracción y la capacidad drenante del hormigón.

3.4 Identificación de materiales

3.4.1 Cemento

Uno de los materiales que se utilizaron fue cemento portland especial, marca Polpaico, el cual cumple con la NCh148.Of1999.

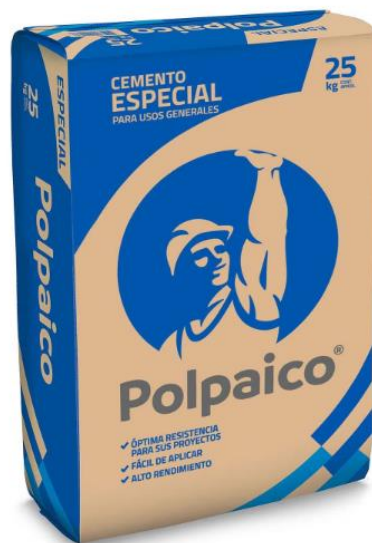


Figura 3.4.1: Cemento Polpaico

Fuente: Extraído de Easy

3.4.2 Árido grueso y fino

Se utilizará grava con un tamaño máximo nominal de 19 mm para los áridos gruesos y 4,75 mm para el árido fino. Se considerará una relación de fino/grueso de 0.05, como que planteó anteriormente en el punto 2.2.2.



Figura 3.4.2: Gravilla y arena gruesa
Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Agua

Para la mezcla, es necesario contar con agua potable, la cual es fundamental para el desarrollo de la investigación.

3.4.4 Fibras de plástico reciclado PET

En esta investigación se utilizó plástico PET, el cual fue recolectado previamente de habitantes del sector, o de reciclaje propio en el hogar, se limpiaron y luego fue cortado en tiras largas mediante una herramienta construida artesanalmente donde este permitía obtener el ancho deseado de 4 mm, luego se lijó para obtener rugosidad en el material y favorecer la adherencia de este. Finalmente, en cada tira, se cortó cada 20 mm, logrando la cantidad suficiente para las mezclas. Principalmente, se utilizaron botellas de agua y de bebidas de 3 litros, donde cada una aproximadamente entregaba 40 g de plástico, por lo que se utilizaron aproximadamente entre 19 a 20 botellas considerando pérdida.



Figura 3.4.4: Herramienta artesanal para obtener tiras de PET
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.4.5: Tiras de PET
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.4.6: Fibras de PET
Fuente: Elaboración propia

Para determinar el porcentaje de plástico PET que se agregó, se tomó en cuenta el estudio del arte realizado con anterioridad, donde se expuso que al menos 4 estudios de trabajo de título realizaron una investigación con 1,5%, 3%, 6%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, 0,05%, 0,1% y 0,15% de agregado de fibras de tereftalato de polietileno.

Tabla 3.4.4: Estudios de distintas adiciones de PET

Tesis	Adición de PET
Influencia del uso de fibras Pet recicladas en las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico $f'c$ 210 kg/cm ²	1,5% 3% 6% El mejor resultado con respecto a las propiedades mecánicas fue de 1,5%
Influencia de la adición del 0.2%, 0.3% y 0.4% de tereftalato de polietileno en las propiedades de resistencia y permeabilidad de pavimento de concreto	0,2% 0,3% 0,4% 0,5% El mejor porcentaje que recomienda es de 0.3%
Efecto del PET reciclado en la permeabilidad y resistencia de un pavimento rígido $F'c$ 175 Kg/Cm ²	0,05% 0,10% 0,15% Recomienda 0,10% para mejorar las propiedades mecánicas
Influencia de diferentes porcentajes de tiras de plástico en la permeabilidad, resistencia a la compresión y flexión del concreto permeable y su aplicación como pavimento rígido, Trujillo 2019	0,05%, 0,10%, 0,15% y 0,20% en tiras de 2x20mm Recomienda que sean tiras de 4x20mm y el que mejor resultado obtuvo fue de 0,10%

Fuente: Elaboración propia

En base a esta previa investigación, se propone incorporar 0,08%, 0,10% y 0,12% de plástico PET respecto al peso de la mezcla, ya que se utilizarán tiras de plástico distintas a las anteriores investigadas, con el fin de seguir con nuevas investigaciones y encontrar el porcentaje adecuado con tal de mejorar las propiedades mecánicas y su propiedad drenante.

3.5 Previo a la dosificación

3.5.1 Granulometría

Este ensayo es fundamental para llevar un control de la composición del hormigón, ésta se rigió por la norma NCh165.Of2009.

Para determinar la granulometría de los áridos, se debe considerar la masa de una muestra de ensayo, la cual se debe reducir por cuarteo en estado húmedo de acuerdo a la NCh164.Of2009. Posteriormente, se debe secar la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. De esta forma, se procede a tamizar la muestra y determinar la masa de las fracciones del árido retenido en cada uno de los tamices. Se calculan los porcentajes retenidos parciales y se expresa la granulometría.

3.5.2 Densidades

Para obtener la densidad de los áridos, así como la absorción de la humedad se considerarán las NCh1116.Of2008, NCh1117.Of2010 y NCh1239.Of2009. Esto será fundamental para determinar la dosificación de la mezcla.

3.5.2.1 Densidad aparente

Para determinar la densidad aparente, se tomó como referencia la NCh1116.Of2008. Primero se vaciará el árido en una medida de capacidad volumétrica especificada. Determinar la masa del árido suelto que llena esta medida. Posteriormente, se vacía y se vuelve a llenar, luego compactarla mediante 25 golpes con una varilla pisón metálica y volver a pesarla. Para calcular la densidad aparente, se debe dividir la masa del árido por el volumen de la medida.

3.5.2.2 Densidad real y absorción de agua

La densidad real, referenciada por la NCh1117.Of2010, del árido grueso se obtiene mediante el proceso sumergir la muestra en agua por un periodo de $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$ para saturarla, luego de ese tiempo, se coloca en el canastillo porta muestra, donde se debe sumergir en agua a $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y determinar por pesada sumergida, la masa de la muestra menos la masa del agua desplazada.

Luego, se retira la muestra y se seca superficialmente con un paño para inmediatamente pesar la masa del árido saturado superficialmente seco.

Finalmente, se seca la muestra en un horno a temperatura $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Enfriar a temperatura ambiente y determinar la masa del árido seco. Para calcular las densidades y la absorción de agua, se aplicaron las fórmulas especificadas directamente en las Normas

Con respecto a los áridos finos, se utilizó la NCh1239.Of2009 donde una vez seca la muestra, se debe sumergir completamente en agua a temperatura ambiente por un periodo de $24 \text{ h} \pm 4\text{h}$, terminado el tiempo, se debe extender el árido y revolver para un secado constante hasta alcanzar la condición suelta. Con el molde de forma cónica, llenar con el árido hasta que sobrepase la parte superior del molde, luego compactar con 25 caídas de pisón. Levantar el molde y la arena debe asentar según su talud natural. Medir y registrar la masa saturada superficialmente seca, colocar la muestra en un matraz y llenar con agua, agitar el matraz a fin de eliminar el aire, dejar reposar durante 1 hora. Medir y registrar la masa del matraz con la muestra y el agua.

Posteriormente, sacar la muestra del matraz y secar la muestra en un horno a temperatura $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, enfriar y medir la masa en condición seca. Llenar el matraz con agua y medir la masa del matraz con agua. Finalmente, aplicar las fórmulas especificadas en la Norma y obtener los resultados.

3.6 Dosificación

Con el fin de determinar las cantidades de agregado grueso, fino, cemento, agua y PET, se definió en base al estudio investigativo que se mencionó con anterioridad, debido a la falta de métodos de dosificaciones universales en Chile, se tomó como referencia una dosificación especificada para un hormigón normal de Chile Cubica. Estas proporciones son:

Dosificación Hormigón por metro cúbico					
	Resist. Mpa	Cemento kg	Gravilla kg	Arena kg	Agua lt
		127,5	1010	980	195
5	H5	170	1025	910	195
10	H10	230	1055	835	195
15	H15	275	1070	800	195
20	H20	340	1095	715	200
25	H25	380	1120	645	200
30	H30	440	1145	585	200

Tabla 3.6.1: Referencia de dosificación.

Fuente: Chilecubica

- Cemento: 350 kg/m³
- Grava: 1100 kg/m³
- Arena: 715 kg/m³
- Agua: 200 lt/m³

Además, hay que considerar la relación a/c que se definió como 0.35, la relación de finos/gruesos de 0.05 y la dosificación del cemento especificada en el punto 2.2.2.

Ahora bien, el volumen total de la dosificación será calculada por el volumen del número total de probetas especificadas en el punto 3.2, lo que da un volumen de total de 0,612 m³.

Por lo que queda de la siguiente manera:

Tabla 3.6.2: Dosificación hormigón poroso

Descripción	Cantidad	Unidad	0,612 m ³	Final
Dosis de cemento	350	kg/m ³	214	214
Dosis de grava	1100	kg/m ³	673	673
Dosis de arena	715	kg/m ³	437,58	34
Dosis de agua	200	lt/m ³	122,4	75

Fuente: Elaboración propia

Además, se calculó la dosificación de plástico en kilogramos según el tipo de hormigón y el volumen en m³ a realizar.

Tabla 3.6.3: Dosificación PET

Tipo hormigón	Volumen m ³	Peso total kg	kg PET
H.patón	0,153	250	0
H.0,08% PET	0,153	250	0,20
H.0,10% PET	0,153	250	0,25
H. 0,12% PET	0,153	250	0,30
		Total de kg PET	0,75

Fuente: Elaboración propia

3.7 Elaboración de la mezcla

Para la elaboración de la mezcla se considera la NCh1018.Of2009, donde antes de iniciar el mezclado, se debe colocar el árido grueso y parte del agua, enseguida enciende la betonera y se agrega el árido fino, el cemento y luego el resto del agua, mezclar por 3 minutos, reposar por otros 3 minutos y mezclar por 2 minutos más. Se debe cubrir la parte abierta del equipo para evitar la evaporación.

Una vez lista la mezcla, se procede a rellenar las probetas, estas son 36 probetas cúbicas de 20x20x20 cm. y 24 probetas prismáticas de 60x15x15 cm. Las probetas cúbicas se utilizarán para los ensayos de compresión y permeabilidad y las probetas prismáticas para los ensayos de flexo tracción.



Figura 3.7: Relleno de probetas

Fuente: Elaboración propia

3.8 Curado de probetas

Se determinó que se desmoldan las probetas al día siguiente, para enseguida empezar con su curado en un contenedor de agua por los 7 y 28 días siguientes.

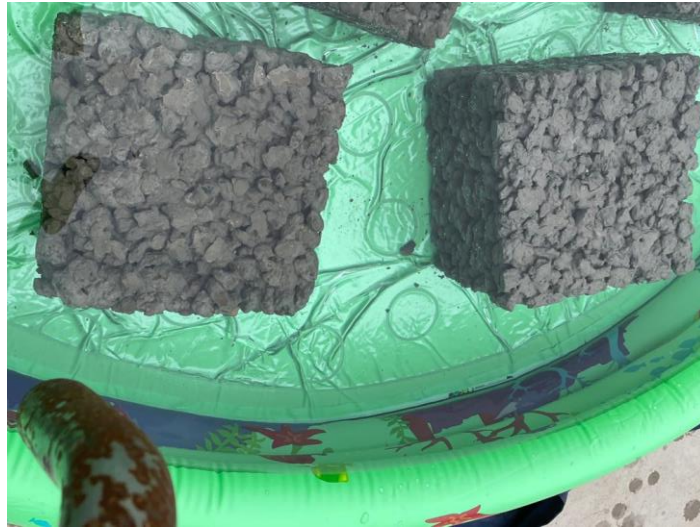


Figura 3.8: Curado de probetas cúbicas

Fuente: Elaboración propia

3.9 Ensayos

En la Investigación se realizarán los ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la flexotracción y la capacidad drenante del hormigón, los cuales están referenciados por las Normas Chilenas vigentes y explicados en punto 2.7 del Marco teórico.

4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se presentarán los resultados de los ensayos de resistencia mecánica y permeabilidad de las distintas mezclas, con el fin de analizar y evaluar tanto el de hormigón poroso patrón, como también el de hormigón poroso con fibras de PET.

4.1 Granulometría

Previo a la realización de la mezcla de hormigón, se deben caracterizar los áridos, parte de este proceso es realizar la granulometría de la gravilla y de la arena y de esta manera conocer los tamaños máximos nominales y la distribución de los distintos tamaños que posee el árido.

Para esto, se utilizó la serie preferida de tamices tanto para el árido fino y el árido grueso en base a la NCh165of2009.



*Figura 4.1.1: Serie de tamices para árido fino
Fuente: Elaboración propia*

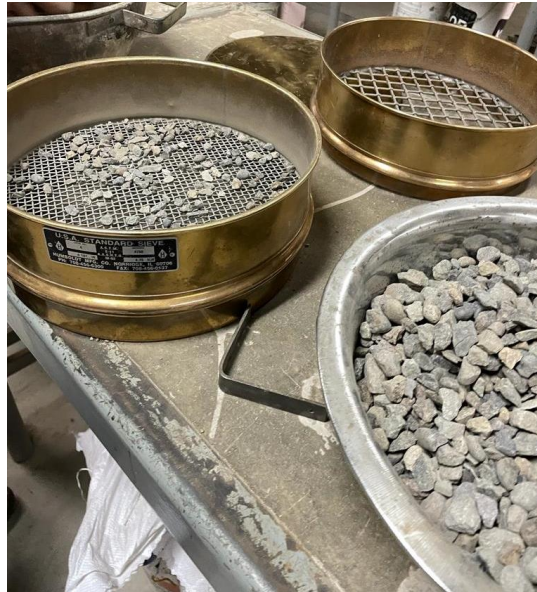


Figura 4.1.2: Tamizado árido grueso
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la granulometría de la arena, se puede observar que el tamaño máximo nominal es 4,75 mm debido a que es la primera malla por donde pasa 90% o más de masa de árido.

Tabla 4.1.1: Granulometría arena

Granulometría Arena					
Tamiz		Peso retenido (g)	% Retenido		% que pasa
NCh	ASTM		Parcial	Acumulado	
9,5 mm	3/8	7,2	1%	1%	99%
4,75 mm	N°4	24,4	4%	5,26%	95%
2,36 mm	N°8	89,8	15%	20,2%	80%
1,18 mm	N°16	188,4	31%	51,54%	48%
0,600 mm	N°30	159,4	27%	78,06%	22%
0,300 mm	N°50	91,6	15%	93,3%	7%
0,150 mm	N°100	29,3	5%	98,2%	2%
Residuo bajo malla n°100		11	2%	100,0%	0%
Masa real (g)		601,1			
Masa inicial (g)		604,9			
Error		1%			

Fuente: Elaboración propia

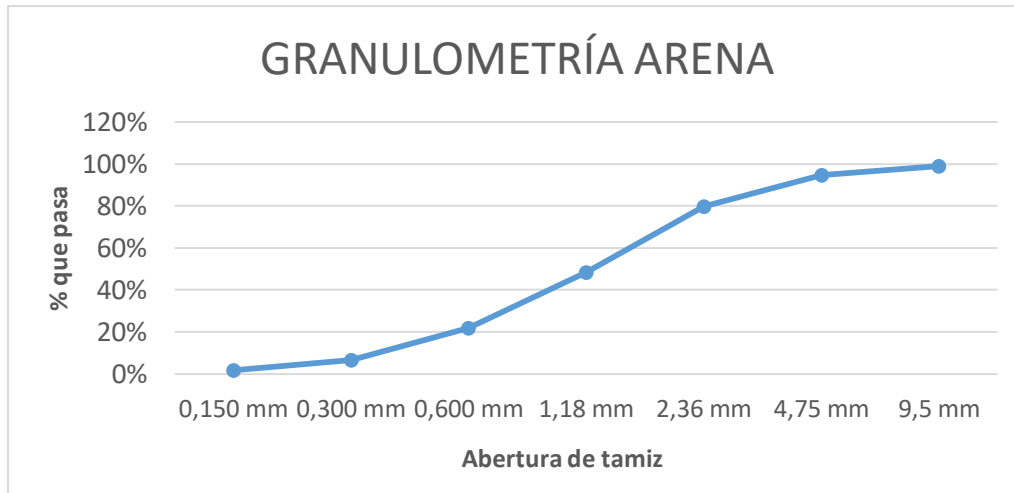


Gráfico 4.1.1: Granulometría arena (Tamiz mm, % que pasa)

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la granulometría del árido grueso, se observa que el tamaño máximo nominal es de 19mm por lo que cumple también con lo especificado anteriormente, y la distribución de este, principalmente se concentra en 2 tamaños, entregando una distribución más uniforme.

Tabla 4.1.2: Granulometría gravilla

GRANULOMETRÍA GRAVILLA					
Tamiz		Peso retenido (g)	% Retenido		% que pasa
NCh	ASTM		Parcial	Acumulado	
37,5 mm	1 1/2"	0	0%	0%	100%
19 mm	3/4	324,8	4%	3,9%	96%
9,5 mm	3/8	6707,5	81%	84,7%	15%
4,75 mm	N°4	1216,1	15%	99,3%	1%
Residuo bajo malla n°100		54,6	1%	100,0%	0%
Masa real (g)		8303,0			
Masa inicial (g)		8302,0			
Error		0%			

Fuente: Elaboración propia

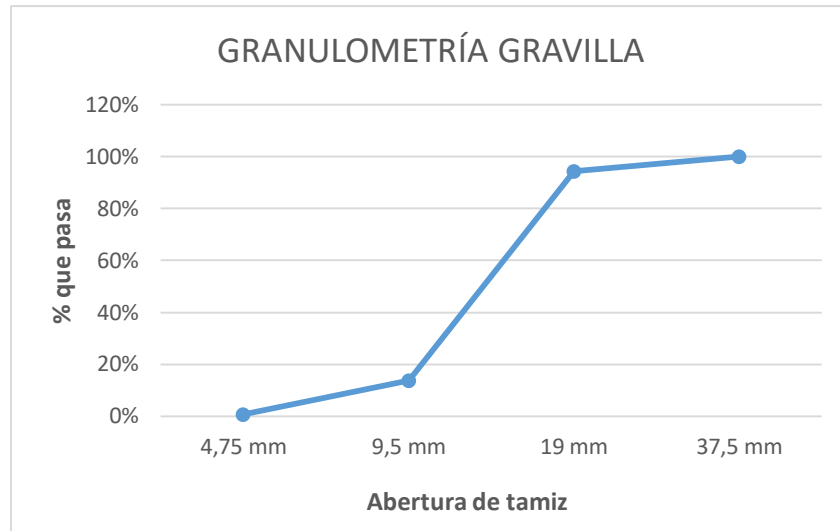


Gráfico 4.1.2: Granulometría gravilla (tamiz mm, % que pasa)

Fuente: Elaboración propia

4.2 Densidad aparente

Como parte de la caracterización de los áridos, se realizaron los ensayos para obtener la densidad aparente suelta y la densidad aparente compactada, como se ve en las siguientes imágenes.



Figura 4.2.1: Densidad aparente árido fino

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.2.2: Densidad aparente gravilla
Fuente: Elaboración propia

Para la densidad aparente, se realizaron 2 muestras hermanas de cada árido, donde la densidad aparente suelta de la gravilla da un promedio de 1531 kg/m³ y la densidad compactada da un promedio de 1574 kg/m³ donde varía 43 kg/m³.

Tabla 4.2.1: Densidad aparente suelta gravilla

DENSIDAD APARENTE SUELTA GRAVILLA			
	M1	M2	Promedio
Masa medida (kg)	7,8129	7,8129	7,813
Masa medida + gravilla (kg)	23,05	23,291	23,171
Volumen medida (m ³)	0,01003	0,01003	0,010
Densidad (kg/m ³)	1519,2	1543,2	1531,2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2.2: Densidad aparente compactada gravilla

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA GRAVILLA			
	M1	M2	Promedio
Masa medida (kg)	7,8129	7,8129	7,813
Masa medida + gravilla (kg)	23,5	23,7	23,602
Volumen medida (m3)	0,01003	0,01003	0,010
Densidad (kg/m ³)	1566,8	1581,5	1574,1

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la densidad aparente suelta de la arena, esta da 1373 kg/m³ y la compactada da 1631 kg/m³, donde se aprecia una diferencia mayor a la anterior.

Tabla 4.2.3: Densidad aparente suelta arena

DENSIDAD APARENTE SUELTA ARENA			
	M1	M2	Promedio
Masa medida (kg)	3,663	3,663	3,663
Masa medida + gravilla (kg)	10,7	10,8	10,759
Volumen medida (m3)	0,00517	0,00517	0,005
Densidad (kg/m ³)	1365,2	1379,9	1372,5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2.4: Densidad aparente compactada arena

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA ARENA			
	M1	M2	Promedio
Masa medida (kg)	3,663	3,663	3,663
Masa medida + gravilla (kg)	12,06	12,13	12,095
Volumen medida (m3)	0,00517	0,00517	0,005
Densidad (kg/m ³)	1624,2	1637,7	1630,9

Fuente: Elaboración propia

4.3 Densidad real

También se realizó el ensayo de la densidad real de los áridos, con los implementos que se muestran a continuación, donde los resultados se muestran en las siguientes tablas.



Figura 4.3.1: Asentamiento natural arena
Fuente: Elaboración propia

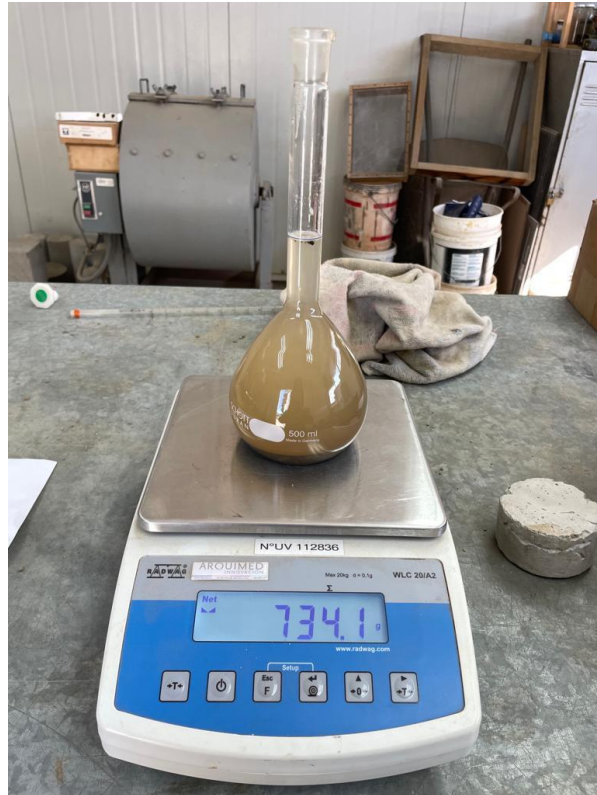


Figura 4.3.2: Masa de matraz, muestra y agua

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3.1: Densidad real arena

DENSIDAD REAL ARENA			
	Fórmula	M1	M2
Masa matraz + agua (g)	Ma	654,9	650,6
Masa muestra sss (g)	Msss	129,1	124,9
Masa seca (g)	Ms	127,6	123,4
Masa matraz + muestra + agua (g)	Mm	734,9	728,1
Densidad real árido saturado superficialmente seco (kg/m ³)	$\frac{M_{sss}}{Ma + M_{sss} - Mm} \times 1000$	2629	2635
Densidad real árido seco (kg/m ³)	$\frac{Ms}{Ma + M_{sss} - Mm} \times 1000$	2599	2603
Densidad neta (kg/ m ³)	$\frac{Ms}{Ma + Ms - Mm} \times 1000$	2681	2688

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3.2: Densidad real gravilla

DENSIDAD REAL GRAVILLA			
	Fórmula	M1	M2
Pesada sumergida (g)	M_{su}	1291,8	1289,9
Pesada al aire (g)	M_{sss}	2056,8	2051
Pesada seca (g)	M_s	2027,7	2023,4
Densidad real árido saturado superficialmente seco (kg/m ³)	$\frac{M_{sss}}{M_{sss} - M_{su}} \times 1000$	2689	2695
Densidad real árido seco (kg/m ³)	$\frac{M_s}{M_{sss} - M_{su}} \times 1000$	2651	2659
Densidad neta (kg/m ³)	$\frac{M_s}{M_s - M_{su}} \times 1000$	2755	2759

Fuente: Elaboración propia

Además se realizó la densidad del plástico PET, donde se utilizó vaselina líquida y no agua, ya que la vaselina posee menor densidad que el agua, por lo que se observa de mejor manera la densidad del plástico, entregando una densidad de 1020 kg/m³, la cual es un poco mayor que la densidad del agua.

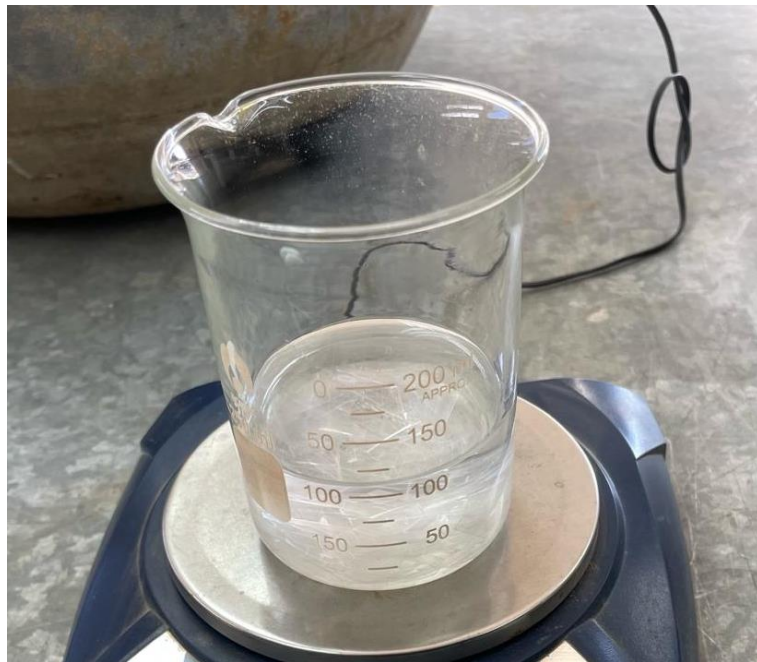


Figura 4.3.3: Probeta con vaselina y plástico

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3.3: Densidad plástico PET

	CANTIDAD
Masa probeta (g)	109,73
Masa probeta + vaselina (g)	200,33
Masa vaselina	90,6
Volumen vaselina (ml)	100
Densidad vaselina (kg/m ³)	906
Masa fibras (g)	10,2
Volumen desplazado (ml)	10
Densidad fibra PET (kg/m ³)	1020

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se obtuvo la absorción del agua en ambos materiales, y con esto se pudo hacer la corrección de humedad para la dosificación.

Tabla 4.3.4: Absorción de agua

Material	Fórmula	%
Gravilla	$(M_{sss}-m_{as})/m_{as} \cdot 100$	1,43
Arena	$(M_{sss}-m_s)/m_s \cdot 100$	1,2

Fuente: Elaboración propia

4.4 Docilidad de hormigón

Para obtener la docilidad del hormigón, se realizó el ensayo de Cono de Abrams, donde se mide el asentamiento del hormigón en estado fresco que obtuvo frente a compactaciones en el cono.

El resultado que se obtuvo fue de asentamiento cero, donde en la NCh1019 of 2009, se especifica que para asentamientos cero, esta norma no es aplicable, por lo que no es determinante realizar esta prueba para los demás tipos de hormigones porosos.

Este resultado, es parte de la medida de la trabajabilidad, pero no indica su calidad final necesariamente.



*Figura 4.4: Cono de Abrams
Fuente: Elaboración propia*

4.5 Porosidad

A continuación, se muestran los resultados de un promedio de medidas de las masas correspondientes.

Tabla 4.5.1: Promedio de masas

Tipo de hormigón	Masa sumergida (kg)	Masa saturada superficialmente seca (kg)	Masa seca (kg)
Patrón	8,39	14,40	13,36
0,08% Pet	8,97	15,39	14,21
0,10% Pet	8,89	15,35	14,19
0,12% Pet	8,85	15,32	14,15

Fuente: Elaboración propia

Luego, se obtuvo la densidad aparente y la real, en base al punto 2.7.2 del marco teórico. A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

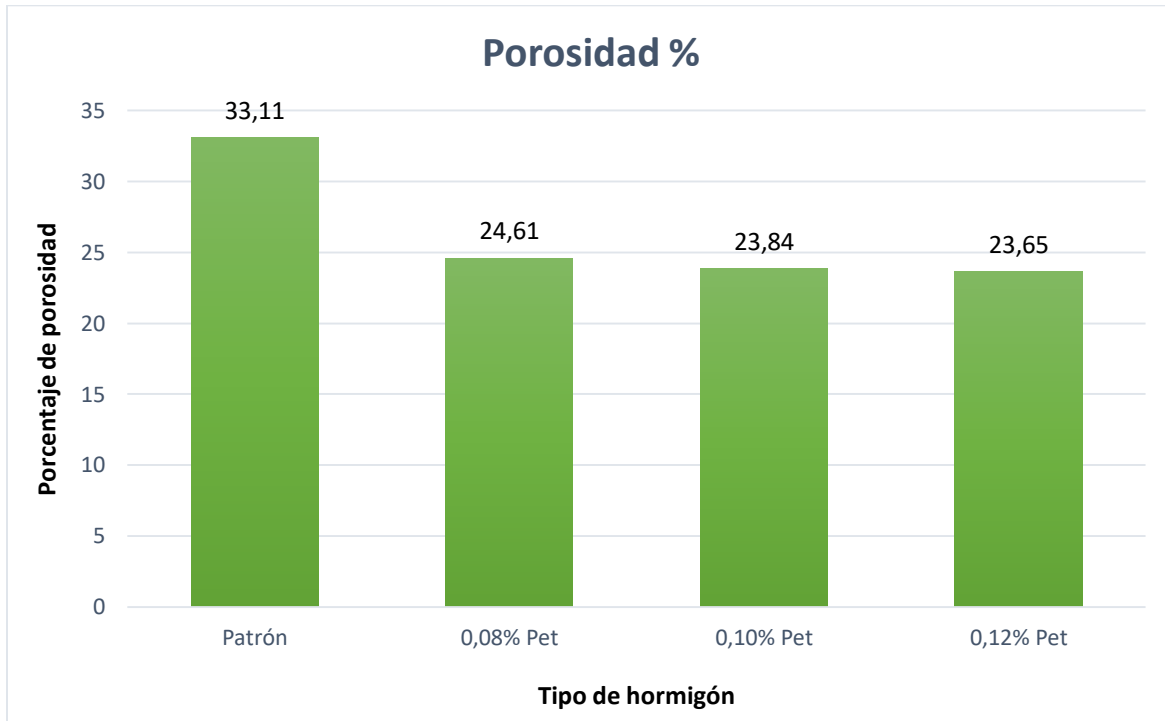
Tabla 4.5.2: Volúmenes y densidades

Tipo de hormigón	Volumen real (m ³)	Densidad real (kg/m ³)	Volumen aparente (m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)
Patrón	0,008	1670	0,00601	2223
0,08% Pet	0,008	1776	0,00642	2213
0,10% Pet	0,008	1774	0,00646	2197
0,12% Pet	0,008	1769	0,00647	2187

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la porosidad queda demostrado en el gráfico 4.5, donde se observa que al aumentar el porcentaje de plástico, la porosidad va disminuyendo, sin embargo, aún contiene un alto porcentaje de poros.

Gráfico 4.5: Porosidad en porcentaje (Tipo de hormigón, porosidad %)



Fuente: Elaboración propia

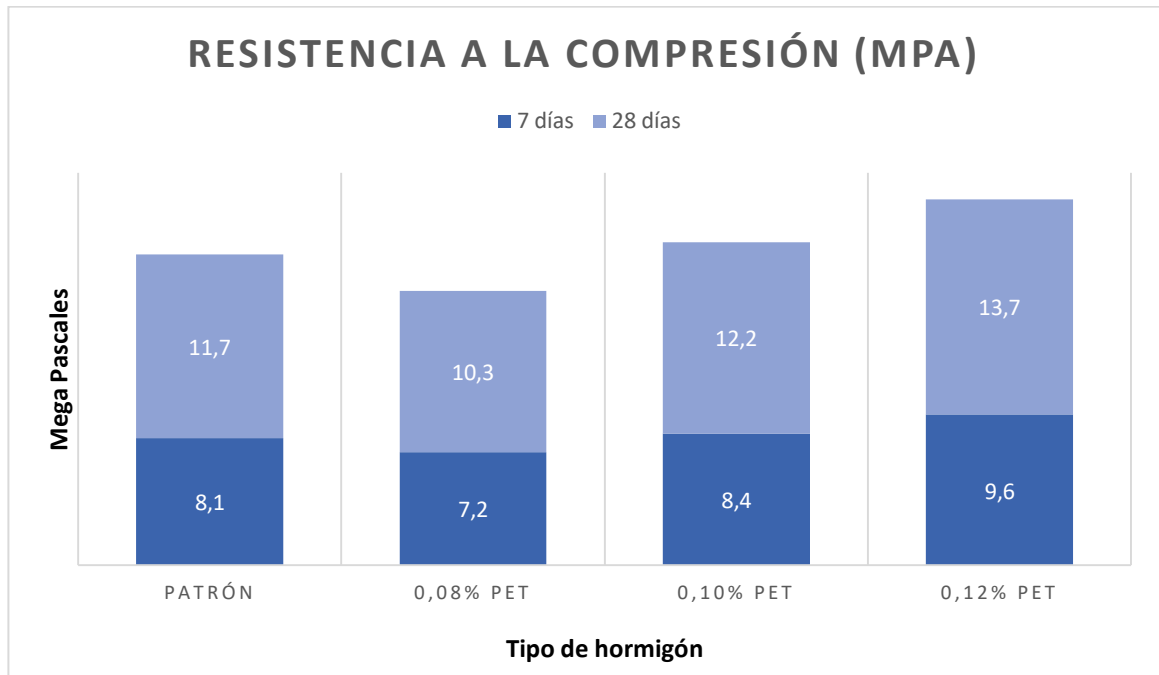
4.6 Resistencia a la compresión

Para los siguientes resultados, se realizó un promedio del total de probetas elaboradas, tanto para las probetas de 7 días de curado, como para las de 28 días de curado, donde se observa que el tipo de hormigón poroso, que alcanza una mayor resistencia a la compresión, es el que posee 0,12% de Pet, alcanzando 13,74 MPa.



*Figura 4.6: Ensayo de compresión
Fuente: Elaboración propia*

Gráfico 4.6: Resistencia a la compresión (Tipo de hormigón, MPa)



Fuente: Elaboración propia

4.7 Resistencia a flexo tracción

Para los resultados de ensayo de flexo tracción, también se realizó en base al promedio del total de probetas elaboradas, y se observa que al igual que anteriormente, alcanza una mayor resistencia el hormigón poroso con 0,12% de adición de plástico Pet.

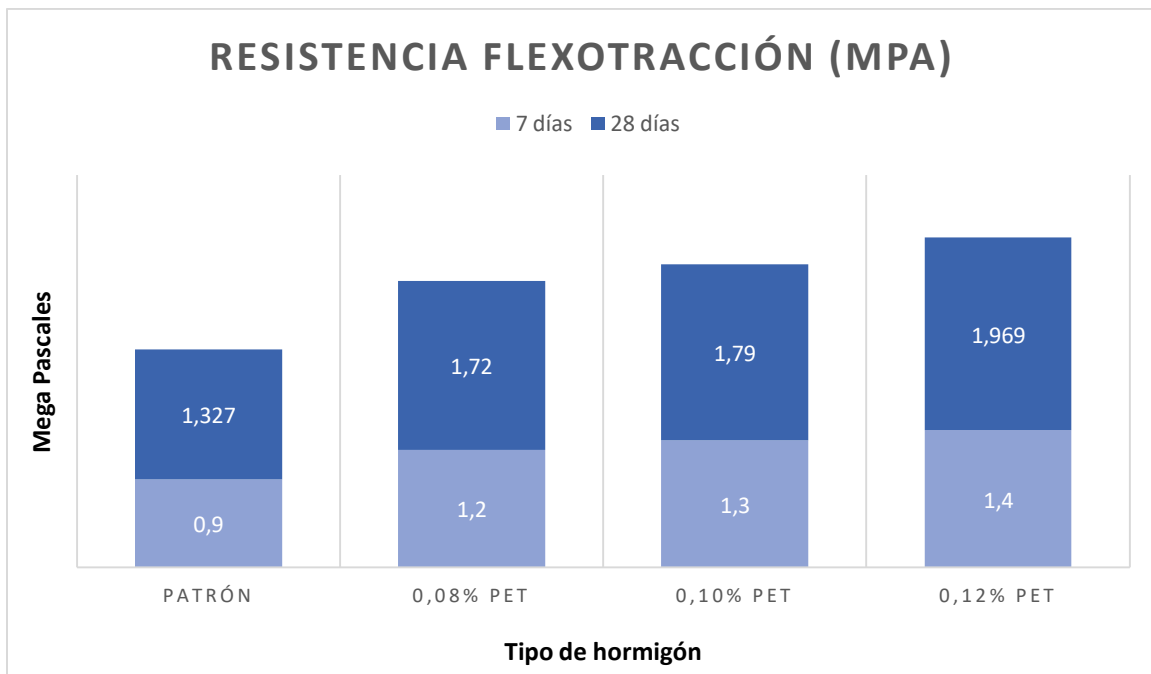


*Figura 4.7.1: Ensayo de resistencia a la flexo tracción
Fuente: Elaboración propia*



Figura 4.7.2: Rotura tercio central de probeta
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.7: Resistencia a la flexotracción en MPa (Tipo de hormigón, MPa)



Fuente: Elaboración propia

4.8 Permeabilidad

Para el ensayo de permeabilidad, se adaptó un equipo para medir el tiempo que se demora 1 litro de agua en pasar por cada probeta, considerando los parámetros determinados en el marco teórico, se obtienen los siguientes resultados:

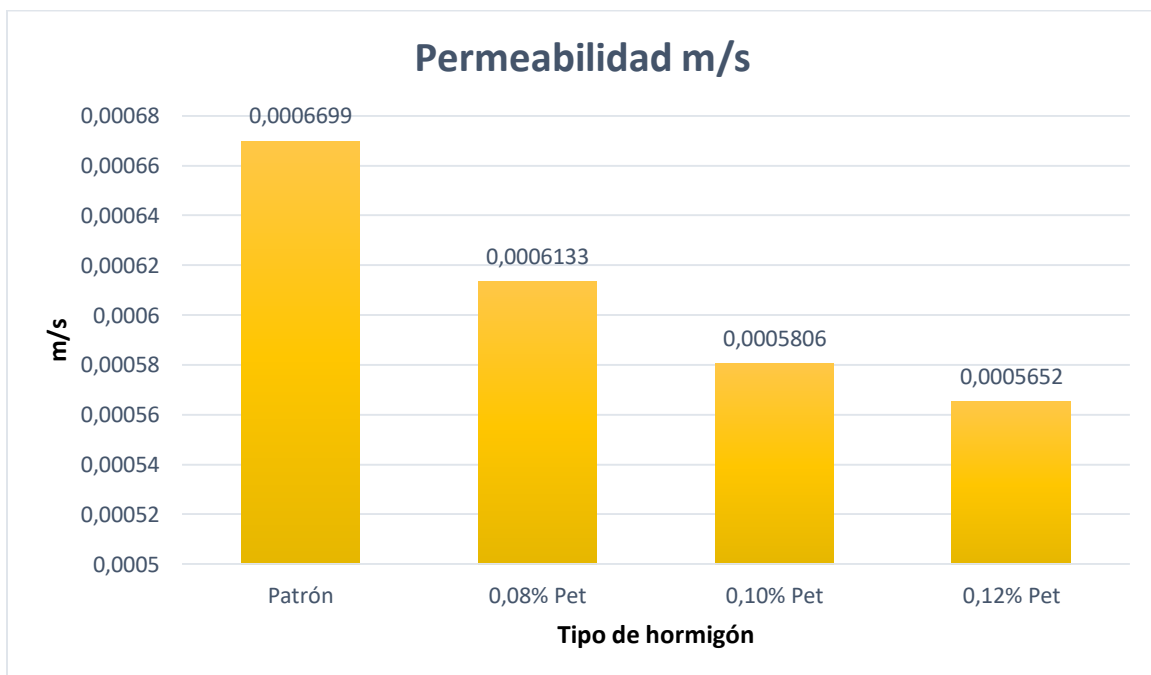
- Volumen: 0,001 m³ de agua
- Área: 0,04 m²
- H₁-H₂ = 0,377 m
- Largo: 0,197 m

Tabla 4.8: Permeabilidad de hormigones

Tipo de hormigón	Tiempo (s)	Permeabilidad (m/s)
Patrón	19,5	0,00066993
0,08% Pet	21,3	0,00061331
0,10% Pet	22,5	0,00058060
0,12% Pet	23,11	0,00056528

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.8: Permeabilidad en m/s



Fuente: Elaboración propia

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se demuestra que la incorporación de plástico Pet en la elaboración de un hormigón poroso es una alternativa viable dentro del punto sostenible en la construcción, siendo esta también, una forma de mejorar las propiedades mecánicas del hormigón poroso. A continuación, se exponen los resultados de la presente investigación:

Con respecto a la docilidad, se demuestra que el ensayo de Cono de Abrams no es el adecuado, por lo tanto, sólo se apreció visualmente el estado fresco del hormigón, donde se observó que la mezcla de cemento era la adecuada, ya que, era capaz de cubrir toda la superficie del agregado y no escurría.

En cuanto a la resistencia a la compresión del hormigón, se concluye que el plástico efectivamente aumenta la resistencia, considerando que el hormigón poroso patrón logra resistir 11,7 MPa, donde el hormigón poroso con 0,08% de adición de Pet incluso disminuye, pero el hormigón poroso con 0,12% de adición de Pet, aumenta en un 2% con respecto al hormigón patrón. Esto demuestra que ante un aumento de plástico Pet, aumenta la resistencia a la compresión.

En relación a la resistencia a flexo tracción, se concluye que el plástico Pet aumenta la resistencia, entregando un hormigón patrón con resistencia de 1,3 MPa, donde el hormigón con 0,012% de adicción de Pet aumenta mayoritariamente a 1,7 MPa. Se demuestra entonces que, ante una mayor adición de plástico Pet, esta mejora su resistencia a flexo tracción.

Por otro lado, en cuanto a los datos de porosidad, se observa que a medida que el plástico va en aumento, la porosidad disminuye. Sin embargo, el hormigón poroso con 0,12% de adición de Pet, el cual es la porosidad más baja, es de 23,65%, por lo tanto, sigue cumpliendo el rango de porosidad de este tipo de hormigón, lo cual indica que conserva su capacidad de drenaje y permeabilidad.

Con respecto a la permeabilidad de los distintos tipos de hormigones realizados, el hormigón poroso patrón, entrega una permeabilidad de 0,00066993 m/s, la cual indica una alta capacidad de drenaje, ahora bien, a medida que se incorporó el plástico Pet, la permeabilidad fue disminuyendo proporcionalmente.

Finalmente, se hace el análisis con respecto a las investigaciones expuestas en el estado del arte, donde distintos autores recomendaban principalmente adicionar 0,10% de Pet para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón. Sin embargo, en base a las distintas condiciones de laboratorio, materiales y procedimientos, el resultado en esta investigación fue distinto, al adicionar 0,12% de plástico Pet, esta mejora sus propiedades mecánicas, pero a la vez disminuye su permeabilidad.

En conclusión, se respalda la hipótesis de que la inclusión de fibras de plástico PET reciclado influye positivamente en la resistencia mecánica y permeabilidad de un hormigón poroso, demostrando de esta forma, que es posible utilizar el plástico que se consume a diario en un material de construcción, el cual termina siendo una alternativa sostenible y económicamente viable, que según las características y resistencia que este posee, pueda ser utilizado en diferentes ámbitos. Lo anterior, puede abrir nuevas perspectivas en la construcción de materiales resistentes y eficientes desde el punto de vista energético y sostenible.

6. RECOMENDACIONES

Se alcanzan distintas recomendaciones en base al desarrollo de la presente investigación, dentro de estas son las siguientes.

- 1) Considerar evaluar la docilidad en base a un ensayo distinto al Cono de Abrams o algún método visual específico que ayude a delimitar la trabajabilidad de este tipo de hormigón.
- 2) Se recomienda emplear mayores porcentajes de adición de fibras de plástico Pet con las mismas dimensiones, con el fin de identificar el porcentaje más adecuado con respecto a las características del hormigón poroso.
- 3) Se recomienda utilizar el mismo procedimiento de tratamiento previo a las fibras de plástico Pet para futuras investigaciones.
- 4) Se recomienda considerar el factor de compactación, ya que en esta investigación no se compactó directamente y es una variable fundamental para la resistencia de éste. Sin embargo, al existir un aumento en la compactación, esta tiene un impacto en la reducción del porcentaje de huecos, por lo tanto, en su permeabilidad.
- 5) Se recomienda y es necesario profundizar como país en alguna normativa que permita una dosificación universal y adecuada de hormigón poroso, ya que si bien, no es tan utilizado actualmente, en un futuro se puede convertir en una alternativa prometedora del punto de vista sostenible.

7. BIBLIOGRAFÍA

Revista técnica de medioambiente España (2022) El plástico PET está todavía lejos de la circularidad real en Europa.

ONU (2018) Plásticos de un solo uso: una hoja de ruta para la sostenibilidad.

Greenpeace (2019) Datos sobre la producción de plásticos.

Roland Geyer, Jenna R. Jambeck, Kara Lavender Law (2017). Producción, uso y destino de todos los plásticos jamás fabricados.

Programa Construye 2025 (2023). Estrategia Economía Circular.

Daniel Jato Espino, Valerio C. Andrés Valeri, Jorge Rodríguez – Hernández, Daniel Castro Fresno (2019). Pavimentos urbanos permeables.

Javier Castro, Hernán de Solminihaç, Carlos Videla, Bonifacio Fernández (2009) Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón.

SERVIU METROPOLITANO - Capítulo II B - Anexo B - Especificaciones técnicas generales para obras de pavimentación en hormigón poroso.

Héctor Acuña, Pablo Easton, Camila Ramos y Camilo Torres (2019). El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático Global (CChC)

CDT, 2021. Economía circular en construcción: Propuesta de estrategia sectorial 2021-2025.

Fredy Reyes, Andrés Torres, Grupo CECATA (2002). Efecto de las fibras plásticas en la flexión de estructuras de pavimentos drenantes.

Fran Luis Agip Zárate, Jhean Franco Bustamante Díaz (2022). Influencia del uso de fibras Pet recicladas en las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico $f'c$ 210 kg/cm², Chiclayo 2022.

Jazmin Alejandra Solórzano Ordinola y Marco Antonio Cerna Vasquez Junior (2022). Influencia de la adición del 0.2%, 0.3% y 0.4% de tereftalato de polietileno en las propiedades de resistencia y permeabilidad de pavimento de concreto.

Joel Trujillo Alva (2020). Efecto del PET reciclado en la permeabilidad y resistencia de un pavimento rígido $F'c$ 175 Kg/Cm².

Cabello, S., Zapata, P., Pardo, A., Campuzano, L., Espinoza, J., y Sánchez, C., (2015) Concreto poroso: Constitución, Variables influyentes y Protocolos para su caracterización. CUMBRES, Revista Científica. 1 (1) 64 – 69

Carrasco, M. F., Rautenberg, D. P., & Positieri, y. M. J. (2015). Hormigón drenante: diseño, características y aplicaciones. Revistahormigon.org.

Nelson Morno Reyes (2004). Caracterización del hormigón poroso para pavimentos drenantes. Proyecto de grado pregrado ingeniería civil. Universidad de los Andes, Bogotá D.C.

Maribel Beltrán Rico & Antonio Marcilla Gomis (2012). Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades. Universidad de Alicante.

Welle, F. (2018.). The facts about PET. Petcore-europe.org

José Porras Morales (2017). Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad

Solís-Carcaño, Rómel Gilberto, & Alcocer-Fraga, Miguel Angel. (2019). Durabilidad del concreto con agregados de alta absorción. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 20(4), 00003. Epub 15 de noviembre de 2019. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n4.039>

Alethia Vázquez Morillas, Rosa Ma. Espinosa Valdemar, Margarita Beltrán Villavicencio y Maribel Velasco Pérez (2016). El reciclaje de los plásticos.

Quiminet (2015). Proceso de producción del PET

Chilecubica – Dosificaciones de hormigones y morteros.

<https://www.chilecubica.com/estudio-costos/dosificaciones-de-hormigones-y-morteros/>

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN NCh 164 of 2009: Áridos para morteros y hormigones - Extracción y preparación de muestras

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN NCh 165 of 2009: Áridos para morteros y hormigones – Tamizado y determinación de granulometría

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN NCh 170 of 2016: Hormigón – Requisitos generales.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN NCh 1017 of 2009: Hormigón – Confección en obra y curado de probetas para ensayos de compresión, tracción por flexión y hendimiento.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN NCh 1019 of 2009: Hormigón determinación de la docilidad – Método asentamiento de cono de Abrams.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN NCh 1037 of 2009: Hormigón – Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN NCh 1038 of 2009: Hormigón – Ensayo de tracción por flexión.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN NCh 1116 of 2008: Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN NCh 1117 of 2010: Áridos para morteros y hormigones - Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las gravas

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN NCh 1239 of 2009: Áridos para morteros y hormigones las densidades real y neta y de la absorción de las arenas.