

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. EL PROBLEMA

1.1.1. Planteamiento del problema.

Con el aumento de la urbanización, ocurre una gradual impermeabilización del suelo, debido a la construcción de edificios, calzadas impermeables y rutas pavimentadas.

El uso indiscriminado de estas estructuras en áreas urbanas, disminuye la recarga natural de agua en los terrenos e incrementa el volumen y el caudal de escurrimiento superficial, aumentando el riesgo de provocar inundaciones en los sectores más bajos de las ciudades.

Los elementos de hormigón poroso son estructuras fabricadas con granulometrías sin finos, y que son en sí mismas permeables, escurriendo el agua a través de vacíos interconectados.

De estos antecedentes surge el interés por la investigación a desarrollar, en la cual se analizará mezclas de hormigón poroso utilizando distintas dosificaciones con materiales de la zona, para analizar sus características de resistencia a compresión y permeabilidad mediante pruebas de laboratorio, con el propósito de darle al hormigón poroso un uso adecuado en la construcción.

1.1.2. Formulación del problema.

Debido al crecimiento progresivo de las ciudades, se presenta la problemática de una impermeabilización excesiva del suelo, lo cual provoca una alteración al ciclo natural del agua, convirtiendo el agua de lluvia en una gran cantidad de escorrentía superficial que tiene consecuencias nocivas tanto para el tránsito como para las estructuras de concreto en contacto constante con la misma.

Con el desarrollo del hormigón poroso a través de su dosificación, se busca el aprovechamiento de sus propiedades ante este problema. ¿A su vez se quiere analizar si su ejecución en la construcción nos permitirá determinar las condiciones de sus propiedades mecánicas?

1.1.3. Sistematización del problema.

Poniendo en consideración la importancia de un hormigón con una determinada resistencia y que no sufra daños con el paso del agua, se plantea:

Realizar pruebas mediante laboratorio con dosificaciones variadas para analizar ¿La mezcla de hormigón poroso podrá ser aplicada en la construcción civil en nuestro entorno? ¿Mediante el análisis a compresión, y permeabilidad se podrá obtener valores óptimos dentro de la norma?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. General

Analizar la resistencia a compresión y permeabilidad del hormigón poroso y proponer posibles aplicaciones en estructuras.

1.2.2. Específicos

- ❖ Analizar el estado de conocimiento que se dispone en la bibliografía sobre hormigón poroso, sus características, propiedades y procedimiento de elaboración.
- ❖ Describir el proceso de elaboración de la mezcla de hormigón poroso.
- ❖ Realizar la dosificación del hormigón poroso, tomando como base la condición de permeabilidad en la mezcla, utilizando para la investigación distintas relaciones A/C que permitan analizar el comportamiento del hormigón poroso en resistencia y permeabilidad.
- ❖ Preparar probetas de prueba con hormigón poroso en laboratorio, tratando de realizar mezclas homogéneas que nos garanticen las condiciones particulares del hormigón poroso para ser sometidos a una evaluación de resistencia a compresión y permeabilidad.
- ❖ Evaluar los resultados, el comportamiento y propiedades del hormigón poroso, para su utilización en el dimensionamiento de elementos específicos de acabado estructural con hormigón poroso.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Académica

A través del presente trabajo de investigación se quiere dar a conocer el comportamiento del hormigón poroso utilizando materiales de la zona, con un análisis que enriquecerá los conocimientos del mismo para sus posibles aplicaciones y en la consolidación de futuros proyectos de investigación con mayor alcance o de continuidad.

1.3.2. Técnica

En atención a los beneficios que presenta el uso del hormigón poroso se analiza sus propiedades mecánicas, la caracterización de los materiales locales y su comportamiento, para la estimación de su resistencia, capacidad permeable, y su utilización en diversos elementos de la construcción.

1.3.3. Social

Con esta técnica innovadora se pretende implementar en el medio otro tipo de hormigón utilizando materiales granulares de la zona de Tarija, para ejecutarlo de la forma más adecuada y responder a múltiples necesidades sociales en proyectos civiles que lo requieran.

1.4. HIPÓTESIS

Si elaboramos hormigón poroso con materiales locales, entonces podremos obtener mezclas cuyas características de permeabilidad superen los 1,35 cm/s y resistencias a compresión mayores a 160 kg/cm², que sean satisfactorias para su aplicación en componentes de acabado estructural en las construcciones.

1.5. ALCANCE GENERAL

El presente estudio explorara en el ámbito de la construcción un tipo de hormigón diferente, denominado hormigón poroso, que como su nombre lo dice consta de vacíos interconectados que permiten el paso del agua a través de su estructura.

El hormigón poroso es un tipo de hormigón especial cuyas características principales son la permeabilidad, por lo que tiene mayor importancia la presencia de una cantidad importante de vacíos que debe estar alrededor del 20%.

La investigación se realiza en base al estado de conocimiento que se tiene sobre el hormigón poroso a partir de los conceptos básicos, materiales que intervienen y su caracterización de acuerdo a las especificaciones técnicas que se dispone sobre el hormigón poroso y datos importantes para entender mejor los beneficios del hormigón poroso.

Para desarrollar la investigación en forma concordante con el estado de conocimiento que se tiene sobre hormigón poroso se ha seguido la siguiente secuencia:

La caracterización de los materiales requeridos para la realización del hormigón poroso de manera que a través de los ensayos de laboratorio se determine las características de los materiales que se utilizaran como ser los agregados y el cemento Portland.

Proceder a la dosificación de la mezcla porosa considerando como base del dimensionamiento el porcentaje de vacíos que debe disponer la granulometría de los agregados de la mezcla, en cuya función se determinaron además basado en la experiencia en distintas normativas de otros países, la determinación de las cantidades de material para la elaboración del hormigón poroso, utilizando agregados disponibles en la zona de Cercado – Tarija.

Se elaboran las probetas tanto para evaluar la resistencia a compresión como la permeabilidad e la mezcla de las probetas de hormigón poroso, utilizando 3 distintas dosificaciones determinadas en base a una variación de la relación agua/cemento con valores dentro del rango permisible para hormigón poroso, para luego evaluar su comportamiento en base a los ensayos de compresión y permeabilidad.

Culminando con un análisis de resultados y el planteamiento de alternativas de uso del hormigón poroso en elementos de acabado estructural en nuestro medio.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES SOBRE EL HORMIGÓN
POROSO

CAPÍTULO II ASPECTOS GENERALES SOBRE EL HORMIGÓN POROSO

2.1. FUNDAMENTO TEÓRICO

La construcción sostenible o la utilización racional de los recursos naturales disponibles para la construcción, el reciclaje, la reutilización y la recuperación de materiales; y un diseño y proceso constructivo que minimice los impactos ambientales, conllevan a un cambio de mentalidad en la industria de la construcción. En este mismo sentido, la tecnología del concreto responde con las características de sostenibilidad que potencian al material en un nuevo mercado, mejorar las condiciones medioambientales y ahorrar recursos; esta visión incluye tanto la energía, el agua y los materiales, como los sistemas o estrategias que inciden sobre el concepto global de calidad. (Velez, 2010)

La tecnología del concreto y el mejoramiento de las condiciones medioambientales se acoplan en el concreto poroso, material con la principal característica de permitir la infiltración de agua a través de su superficie y proporcionar un almacenamiento temporal, para su posterior disposición.

2.1.1. Hormigón poroso

El hormigón poroso; o también llamado permeable es al que se le conoce por la ausencia de finos (aunque esto no está normado, en otras palabras, se puede, mediante ensayos, usar cierta dosificación de finos) y por su estructura permeable y resistente. Éste se utiliza principalmente para la pavimentación, con el propósito de reducir el escurrimiento de las aguas pluviales. (Rodríguez, 2017)

El hormigón poroso es un material que tiene los componentes básicos de un hormigón tradicional, el cual se proyecta intencionalmente con un índice de poros superior, este alto índice de poros proporciona una serie de características al hormigón (capacidad de drenaje, absorción de ruido y otras) que puede ser de gran interés en determinadas aplicaciones.

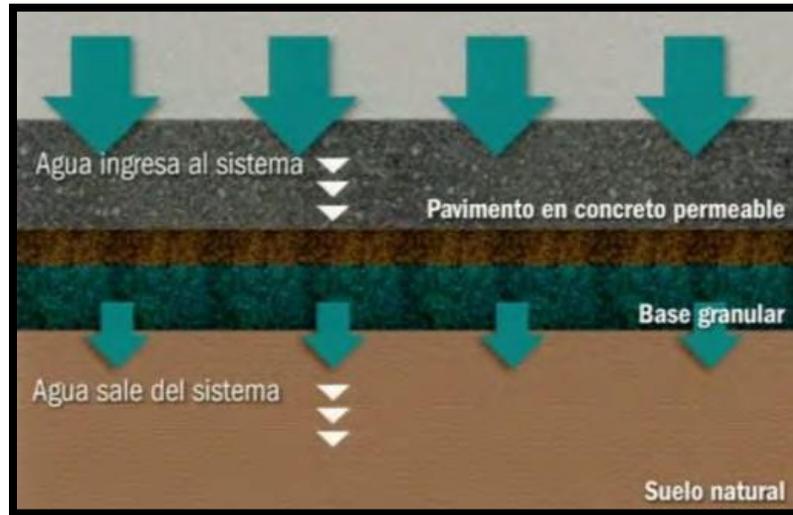
Los elementos de hormigón poroso son estructuras de hormigón, fabricados con granulometrías sin finos, y que son en sí mismas permeables, escurriendo el agua a través de vacíos interconectados que generalmente alcanzan valores entre el 15-25%, lo que permite el paso de

120 a 230 litros de agua a través de cada metro cuadrado, con una tasa de flujo típica de 3,4 mm/s (200 L/m²/min) o más. (Chavez, 2013)

A diferencia de un hormigón convencional, en el que no hay contacto entre los agregados gruesos, el hormigón poroso es constituido por un verdadero esqueleto granular, en el que cada agregado grueso está apenas rodeado de mortero, para mantener la porosidad dentro del rango sugerido por la norma (15 a 25%), lo cual induce a resistencias bajas o moderadas del mismo, a mayor porosidad y permeabilidad del hormigón, menor es su resistencia.

2.1.2. Ventajas del hormigón poroso

- Las estructuras no requieren de inclinación para la evacuación del agua.
- Reduce los picos de caudal de escorrentía, generados por el agua lluvia en áreas urbanas impermeables.
- Se eliminan los charcos y con ello el hidroplaneo de los vehículos; hace más segura la vía.
- Se disminuye apreciablemente el ruido del motor de los vehículos, disminuyendo la contaminación auditiva.
- Permite la optimización de los drenajes para lluvia; en ocasiones los elimina.
- Adquieren su resistencia de trabajo entre 24 y 72 horas, así mismo su pronta puesta en servicio.
- Permite hacer concretos con diferentes colores y con distintos tipos de agregados, logrando estructuras armoniosas y agradables.
- Reduce la temperatura de la superficie disminuyendo el efecto de “isla de calor urbano”.
- Ayuda a mejorar la recarga del agua subterránea y el crecimiento de árboles y vegetación, además de favorecer la aireación del suelo. (Toxement, 2017)



2.1.3. Desventajas del hormigón poroso

“El pavimento permeable requiere un mantenimiento constante, lo cual eleva los costos debido a que puede perder permeabilidad ya que a medida que pasa el tiempo los espacios vacíos tienden a taparse con material fino.

Si bien el costo de mantenimiento es una desventaja, en caso que existan condiciones desfavorables de sedimentos, tendremos que tomar en cuenta el costo de instalación, el cual es menor, eso convertiría al costo en uno más balanceado.

El manual ACI 522R-06, informa con respecto a una de las desventajas del concreto permeable, explica que:

En las regiones frías, incorporación de aireadores se añade rutinariamente al concreto para protegerla de daños por los deshielos. (ACI, 2006)

Los dos métodos comúnmente aceptados de mantenimiento son lavados a presión y aspiración de potencia.

Lavado a presión obliga a los contaminantes hacia abajo a través de la superficie del pavimento. Esto es efectivo, pero se debe tener cuidado de no utilizar demasiada presión, ya que podría dañar el concreto permeable.

Pasar la aspiradora elimina contaminantes por extraerlos de los huecos del pavimento. (ACI, 2006)

En algunos antecedentes se pudieron revisar tipos de esquemas realizados, y de todos ellos el mejor es una combinación de ambas técnicas que menciona el comité del ACI, así como el denominado “lavado de presión”. En otro aspecto, también se debe pensar en las superficies lodosas, pues el compuesto que tienen puede afectar la estructura interna de nuestro pavimento de concreto permeable, especialmente en épocas de lluvia, todo ello sumado a la necesidad de realizar un correcto diseño de mezcla con un tiempo de vida superior al estimado.

Ilustración 2 Técnica de lavado de presión para mantenimiento. Fuente: ecocrete.com



2.1.4. Propiedades del Hormigón Poroso

Resistencia a la compresión

El ensayo de resistencia a compresión se regula bajo la norma ASTM C39, la cual presenta los diferentes parámetros y procedimientos a seguir para realizar la prueba, así como también el equipo a utilizar.

Todos los cilindros ensayados se les confecciona una capa de cemento en ambas superficies, esto para garantizar una superficie plana y evitar errores en el ensayo. La base del cilindro y la superficie donde iba ser aplicada la carga, eran rugosas y no uniformes, debido al tamaño de las partículas. Gracias a la superficie de cemento, el pistón de la máquina de compresión bajaba

totalmente centrado y uniforme en todo el cilindro, evitando de esta manera errores en los resultados. (ASTMC39, 2014)

Resistencia a la flexión

La propiedad de resistencia a la flexión se puede definir, para el concreto permeable, como la medida de la propiedad de la resistencia a la tracción, pues el esfuerzo máximo existente justo antes que se rompa la probeta de ensayo, demuestra una resistencia de fluencia. (Rodríguez, 2017)

Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad que tiene material para que lo atraviesen fluidos, sin perder la figura de su estructura interna. El hecho de que algún material sea permeable indica que su estructura es porosa o contiene un porcentaje de vacíos que están interconectados y que le permite la absorción de otros elementos.

La permeabilidad, así como la porosidad, necesita de las propiedades de materiales y proporción que tengamos de la mezcla y la muestra, así como de la forma de compactar y colocar al momento de la ejecución, ya que, si exageramos en compactación, aquella densificación de masa, sellará nuestros poros de mezcla que deben servir para la filtración del agua provocando una reducción de la permeabilidad existente. (Rodríguez, 2017)

Ilustración 3 Propiedad de permeabilidad del concreto permeable.



Absorción acústica:

Es una propiedad que presentan ciertos materiales y cuya función principal es absorber energía acústica al disminuir la reflexión de las ondas incidentes, la capacidad de aislamiento acústico de un determinado elemento constructivo, fabricado con uno o más materiales, es su capacidad de atenuar el sonido que lo atraviesa. La atenuación o pérdida de transmisión sonora de un determinado material se define como la diferencia entre la potencia acústica incidente y el nivel de potencia acústica que atraviesa el material, así, los materiales más eficientes para aislar sonido, son aquellos que tiene una gran cantidad de poros.

Esta propiedad en el concreto poroso, es de gran ayuda, pues la cantidad de poros conexos entre sí gracias a los agregados empleados, es inversamente proporcional al aislamiento del sonido, ya que se puede reducir el bombeo de aire producido en la superficie de rodamiento gracias a las mismas llantas del vehículo (ocurridas por fricción interna al interactuar las paredes de poros con las moléculas de aire del concreto). (Rodríguez, 2017)

2.1.5. Aspectos de diseño del hormigón poroso.

Relación agua/ cemento

La relación agua/cemento en el hormigón poroso es sumamente importante, ya que modifica las resistencias e influyen en la estructura de vacíos. Según la Norma ACI 522R-06, se usan generalmente relaciones agua/cemento que van desde el rango de 0.25 a 0.45, dependiendo del agregado y el uso de aditivos. (Pinto, 2018)

Ilustración 4. Muestra de hormigón poroso con poca cantidad de agua. Fuente: Revista Toxemént



Ilustración 5 Muestra de hormigón poroso con adecuada cantidad de agua. Fuente: Revista Toxemént



Ilustración 6. Muestra de hormigón poroso con mucha cantidad de agua. Fuente: Revista Toxemént



Relación agregado / cemento

Se utiliza una relación de agregado/cemento de 1:4 para el agregado de 3/4", es decir 1 parte de cemento y 4 partes de agregado, ya que este agregado al ser de mayor tamaño necesita más pasta para cubrir las partículas de este agregado y así obtener mejor cohesión entre las partículas. Mientras que para los otros agregados 1/2" y 3/8" se utiliza una relación de agregado/cemento de 1:4.5, es decir 1 parte de cemento y 4.5 partes de agregado. (Pinto, 2018)

2.1.6. Componentes del hormigón poroso

- **Cemento Portland**

El cemento que se tiene que usar en el diseño de mezcla para este tipo de concreto es, primeramente, uno que cumpla con las especificaciones técnicas de la ASTM (muchas veces es el cemento portland hidráulico por sus propiedades que le hacen tener la propiedad de ligante), debemos entender al cemento como un material que ayudará a ligar a los agregados, luego de reaccionar gracias al agua que se le va a dosificar mediante una relación, a la cual comúnmente llamamos “relación agua-cemento

Tabla 1 Tipos de cemento.

Tipos de cemento			Proporciones en masa %			
			Componentes principales			Componentes adicionales
Denominación	Designación	Tipo	Clinker	Puzolana Natural	Filler Calizo	
Cemento Portland	Cemento Portland	I	95 a 100			0 a 5
	Cemento Portland con puzolana	IP	70 a 94	6 a 30		0 a 5
	Cemento Portland con filler calizo	IF	80 a 94		6 a 15	0 a 5
Cemento Puzolánico		P	≥60	≤ 40		0 a 5

- **Agregados**

Son una masa de materiales pétreos, que se consideraban originalmente inertes y que unidos por medio de la pasta de cemento conforman la masa del hormigón. Sin embargo, los agregados no son realmente inertes y sus propiedades influyen sobre el comportamiento del hormigón.

Generalmente, algunas compañías que proporcionan este material usan agregados triturados (son más fáciles de poner, pero se necesita más cemento) y otras usan el agregado redondeado grueso (por la cuestión de resistencia).

- **Agua**

El agua se usa en la elaboración del hormigón para propósitos diferentes: como agua de mezclado, curado y lavado de los agregados.

El agua de mezclado forma aproximadamente el 15% del volumen total del concreto, un 5% sirve para hidratar el cemento y el 10% restante lubrica al concreto y luego se evapora durante el proceso de fraguado.

El agua de curado se utiliza después del fraguado del concreto y tiene como función la de seguir hidratando al cemento. El agua de lavado de los agregados, no participa activamente en la mezcla de los concretos; pero es importante en el procesamiento de los agregados. El agua para que pueda ser utilizada en el hormigón debe tener un pH entre 6 a 8.

El agua que se usa para el diseño de mezcla del hormigón poroso tiene la misma dosificación que la de un concreto convencional. En cuanto a los aditivos, de la misma manera que en un concreto impermeable, aquellos solo se usarán para poder lograr un tipo de propiedad especial del concreto, como son el caso de los acelerantes (clima frío), retardantes (mejora de manejo), etc.

- **Aditivos**

Se usan aditivos reductores de agua (rango alto o mediano) dependiendo del w / c . Las mezclas retardantes se usan para estabilizar y controlar la hidratación del cemento. Las mezclas retardantes son frecuentemente preferidas cuando se trata de mezclas rígidas, como el concreto permeable, especialmente en aplicaciones de climas cálidos. Las mezclas retardantes pueden actuar como lubricantes para ayudar a descargar el concreto de una mezcladora y mejorar la manipulación y las características de rendimiento en el lugar. Los aceleradores se pueden usar cuando los hormigones permeables se colocan en clima frío. Las mezclas que incorporan aire no se han usado comúnmente en hormigones permeables; pero se pueden usar en ambientes susceptibles de congelación y descongelación. Sin embargo, no existe un método confiable para cuantificar el volumen de aire arrastrado en estos materiales. (ACI, 2006)

2.1.7. Instalación del hormigón poroso

Tal como sucede con cualquier pavimento de concreto, es muy importante la preparación de la base. La base debe estar correctamente compactada para poder lograr una superficie uniforme y estable. Cuando el pavimento permeable se coloca directamente en suelos arenosos o con grava, se recomienda compactar la base entre 92 y 96% de la densidad máxima. En el caso de suelos arenosos o con arcilla, el nivel de compactación dependerá de las especificaciones del diseño del pavimento y debe colocarse una capa de piedra de gradación abierta sobre el suelo.

Debe humedecerse la base antes de colocar el concreto y las vías con tráfico de construcción deben ser barridas con rastrillo y re-compactadas.

Un pavimento de concreto permeable puede colocarse con formaletas fijas o con formaleta deslizante. Luego el concreto es compactado manualmente con un rodillo que une las formaletas. El rodillo consolida el concreto fresco para permitir un enlace fuerte entre la pasta y el agregado y generar una superficie de rodadura suave y transitable.

La modulación de juntas de concreto permeable sigue las mismas reglas que para las losas de concreto apoyadas sobre el suelo, con algunas excepciones. Con menos cantidad de agua en el concreto fresco, se reduce la contracción del material endurecido de manera significativa, por lo tanto, los espacios entre juntas pueden ser más anchos. (Toxement, 2017)

Curado

Retener la humedad en el pavimento de concreto poroso construido es esencial para obtener durabilidad y desempeño a largo tiempo; porque debido a los vacíos presentes y al bajo contenido de agua en el diseño de mezcla, la humedad se puede evaporar rápidamente de la mezcla, especialmente en condiciones de baja humedad o viento. La ACI 522.1-13 especifica un curado usando mantas de polietileno por 7 días. Éste curado debe comenzar dentro de los 20 minutos siguientes a la colocación del concreto. (Toxement, 2017)

Mantenimiento del hormigón

Requiere de un mantenimiento, a fin de evitar la colmatación y conservar sus características benéficas.

El cual debe incluir limpieza de la superficie para eliminar plantas, tierra o cualquier elemento que pueda impedir la permeabilidad del agua a través de la superficie de concreto.

Los dos métodos de mantenimiento comúnmente aceptados son el lavado a presión y la aspiración a potencia, el lavado a presión fuerza a los contaminantes a atravesar la superficie del pavimento. Esto es efectivo, pero se debe tener cuidado de no usar demasiada presión, ya que esto dañará el concreto permeable. Una pequeña sección del pavimento debe lavarse a presión usando presiones variables de agua para determinar la presión para el pavimento dado. El poder aspirar elimina los contaminantes al extraerlos de los espacios vacíos del pavimento.

El esquema más efectivo, sin embargo, es combinar las dos técnicas y el vacío de potencia después del lavado a presión.

Se debe realizar una inspección cada año al hormigón, por un profesional calificado, para verificar el buen funcionamiento y la necesidad de realizarle mantenimiento. En un entorno hostil (como una zona costera o en cualquier otro lugar que pueda provocar una gran acumulación de partículas finas), puede ser necesario llevar a cabo este mantenimiento preventivo con mayor frecuencia, quedando a criterio del profesional encargado.

2.1.8. Especificaciones técnicas del hormigón poroso.

Hormigón

El hormigón a colocar será dosificado y mezclado en planta premezcladora, y su transporte deberá realizarse en camiones mezcladores convenientemente equipados para conservar las características de la mezcla hasta el lugar de su colocación, por lo que se recomienda que el giro del tambor se fije en el mínimo de revoluciones posibles.

Dosificación

La mezcla se preparará usando los materiales indicados y deberá cumplir con tres aspectos básicos:

- La dosis de cemento mínima será de 270 Kg.cem/m^3 y la máxima de 370 Kg.cem/m^3 de hormigón elaborado
- La razón agua cemento deberá estar comprendida entre 0,35 y 0,41

- La granulometría de los áridos a utilizar deberá ser tal que permita un porcentaje de vacíos en la mezcla deberá estar comprendido entre 15 y 25%

Colocación.

El hormigón se depositará sobre la base en su ubicación definitiva, evitando la segregación y se esparcirá uniformemente de preferencia con cercha vibradora fijada en su mínima frecuencia, apoyada sobre listones de ¾” situados sobre los moldajes que deberán ser de dimensiones adecuadas para dar el espesor de diseño, con lo que se genera un sobre espesor de mezcla para luego dar paso a la compactación.

Compactación.

Inmediatamente después de extendida la mezcla y removidos los listones situados por sobre los moldajes, se debe utilizar un rodillo pesado de fierro que proporcione una presión cercana a los 0,7 kg/cm², de ancho igual o superior al ancho de la losa para compactar la mezcla a la altura de los moldajes.

Terminación.

No se deberán realizar labores de terminación superficial, ya que esto va en desmedro de la característica permeable del pavimento, no obstante, se deberán corregir manualmente los defectos superficiales que se pudieren presentar, lo que se debe realizar sólo cuando la mezcla se encuentra en estado fresco.

Curado.

El curado del hormigón se efectuará inmediatamente a continuación de la etapa anterior, el que consistirá en la cobertura total de la superficie y sus costados con polietileno de alta densidad (de color claro, nunca negro), el que deberá permanecer por al menos 7 días en los cuales se deberá cuidar que éste no sufra daños para evitar toda posibilidad de un incorrecto proceso de curado.

Controles

Dicha exigencia deberá cumplirse mediante certificados otorgados por laboratorios autorizados.

Deberán ejecutarse en forma obligatoria la extracción de testigos para determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla y el peso unitario, la determinación de la permeabilidad y la evaluación de la resistencia.

a) Cantidades.

Extracción y ensayo de testigos, elaboración y ensayo de probetas: cada 500 m³ de mezcla o menos.

b) Determinación del porcentaje de vacíos de la mezcla colocada en terreno

Se realizará por medio de la evaluación de los testigos extraídos, determinando los pesos del testigo en condición saturada superficialmente seca, el peso sumergido y el volumen.

CAPÍTULO III DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO III DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para la elaboración del presente trabajo se utilizará el tipo de investigación Descriptiva con el objetivo de describir el proceso de elaboración, análisis y aplicaciones del hormigón p

3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Se desarrollo el método empírico experimental, realizando ensayos en laboratorio para la obtención de la dosificación de hormigón poroso más óptima.

3.3. VARIABLES

Una variable, es un símbolo, el cual posee un rasgo diferente, de modo que aquella llega a tener dos valores, los cuales son antagónicos y estos últimos se excluyen recíprocamente. Para explicarlo de una forma más clara, al hablar de una medición normal, tendremos valores como existe y no existe o tal vez pertenece y no pertenece, pero en el mejor de los casos los valores numéricos son medibles, pero por medio de intervalos constantes. (Heinemann, 2003)

- Variable independiente

Se puede entender a esta variable como autónoma, ya que no depende de otras variables; explica, condiciona o determina el cambio en los valores de las variables dependientes.

En la presente investigación la variable independiente es el hormigón poroso para su utilización en estructuras.

- Variable dependiente

La variable dependiente, va a depender de la independiente, y ambas van a demostrar la hipótesis, se llama también de efecto o acción condicionada.

En esta investigación las variables dependientes vendrían a ser: la resistencia a la compresión y permeabilidad del hormigón poroso.

- Operacionalización

Matriz de operacionalización de Variable independiente

Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Unidad de medida
El Hormigón poroso	Hormigón de dosificación especial con un esqueleto granular de vacíos interconectados.	Hormigón con capacidad drenante, absorción acústica, permeable y suficiente resistencia	Granulometría	Porcentaje que pasa por cada tamiz
			Relación A/C	Valor Numérico
			Dosificación	Cantidades de cada componente del concreto permeable

Tabla 2 Matriz de operacionalización. Fuente: Elaboración propia

Matriz de operacionalización de Variables dependientes

Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Unidad de medida
Coefficiente de permeabilidad del concreto permeable.	La permeabilidad es el total de agua que corre a través del concreto.	Parámetro que se mide con la prueba con permeámetro de carga constante.	Valores del coeficiente de permeabilidad	cm / seg
Resistencia a la compresión del concreto permeable.	La resistencia a la compresión del concreto es la cantidad de esfuerzo máximo que puede soportar el concreto.	Se realizan mediante probetas cilíndricas, sometidas a una prueba de carga tomando en cuenta la edad de las probetas para un mejor análisis.	Resistencia a la compresión a los 28 días.	Kg/cm ²

Tabla 3 Matriz de operacionalización. Fuente: Elaboración propia

3.4. NORMATIVA UTILIZADA

El presente trabajo de investigación se realizó siguiendo principalmente las recomendaciones de la Norma ACI 522R-06.

La misma que expresa: “Este informe proporciona información técnica sobre la aplicación de concreto permeable, métodos de diseño, materiales, propiedades, proporción de mezcla, métodos de construcción, pruebas e inspección”

3.5. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

3.5.1. Granulometría de agregados gruesos y finos. (ACI 522-R06)

El análisis granulométrico de los suelos o granulometría de suelos es uno de los ensayos más básicos y sencillos para caracterizar un suelo, pero no por ello menos importante. La granulometría por tamizado consiste en confeccionar la curva granulométrica de una muestra, la cual es representativa de la distribución de los tamaños de las partículas.

Ilustración 7 Ensayo de granulometría. Fuente: Elaboración propia.

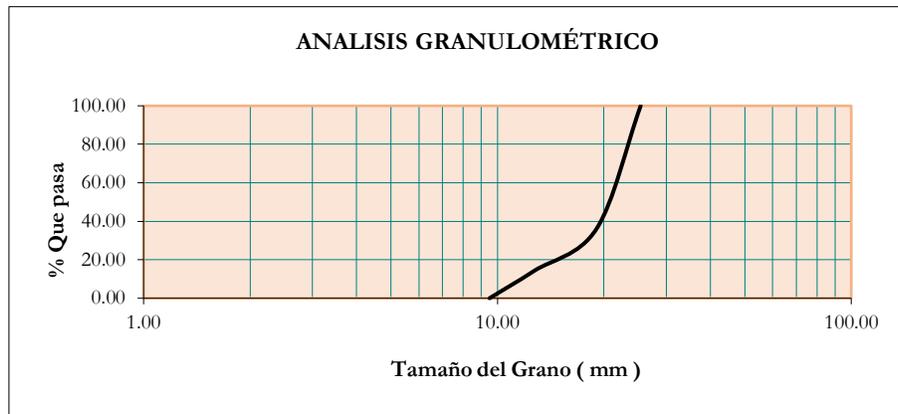


❖ **Análisis granulométrico grava**

Tabla 4 Análisis Granulométrico Fuente: Elaboración propia

Ensayo:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
Peso muestra:	5 kg	Material:	Grava	
Tamiz	Abertura	Retenido		% Q' Pasa
(pulg)	(mm)	(gr)	(%)	
1	25.40	0	0.00	100.00
3/4	19.05	3199	64.01	35.99
1/2	12.70	1089	21.79	14.21
3/8	9.50	710	14.21	0.00
Bandeja		0.00	0.00	
Total, Retenido:		4998.00	100.00	

Ilustración 8 Curva Granulométrica de la grava. Fuente: Elaboración propia



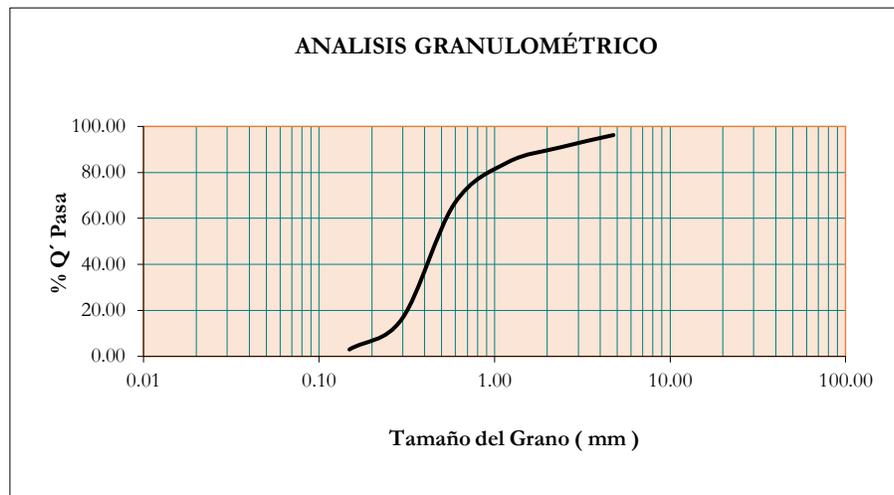
❖ **Análisis granulométrico arena**

Tabla 5 Análisis Granulométrico Fuente: Elaboración propia

Ensayo:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
Peso muestra:	3 kg	Material:	Arena	
Tamiz	Abertura	Retenido		% Q' Pasa
	(mm)	(gr.)	(%)	

N°4	4.76	111.90	3.74	96.26
N°8	2.38	159.70	5.33	90.93
N°16	1.19	195.20	6.52	84.41
N°30	0.59	540.90	18.06	66.34
N°50	0.29	1498.30	50.04	16.30
N°100	0.14	398.60	13.31	2.99
Bandeja		89.60	2.99	
Total, Retenido:		2994.20	100.00	

Ilustración 9 Curva granulométrica de la arena Fuente: Elaboración propia.



3.5.2 Contenido de humedad (ASTM C 566)

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas. Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 ± 5 °C.

Ilustración 10 Peso de muestra seca. Fuente: Elaboración propia



Los datos tomados en el ensayo son:

P1: Peso de muestra a humedad ambiente

P2: Peso seco de la muestra

Entonces para obtener el contenido de humedad se usan las siguientes formulas

Peso del agua: P1-P2

$$\text{Contenido de humedad (W)} = \frac{\text{Pagua}}{\text{P2}} * 100$$

❖ **Análisis del contenido de humedad del agregado fino (Arena)**

$$P1 = 2000 \text{ g}$$

$$P2 = 1994,8 \text{ g}$$

$$\text{Pagua} = 2000 - 1994,8 = 5,2\text{g}$$

$$W = \frac{5,2}{1994,8} * 100$$

$$W = 0,26 \%$$

❖ **Análisis del contenido de humedad del agregado grueso (Grava)**

$$P1 = 2000,3 \text{ g}$$

$$P2 = 1992,8 \text{ g}$$

$$\text{Pagua} = 2000,3 - 1992,8 = 7,5\text{g}$$

$$W = \frac{7,5}{1992,8} * 100$$

$$W = 0,38 \%$$

3.5.3. Peso específico y absorción del agregado fino. (ASTM C 128)

El peso específico de un suelo, como relación entre el peso y su volumen, es un valor dependiente de la humedad, de los huecos de aire y del peso específico de las partículas sólidas. Para evitar confusiones, las determinaciones de los ensayos de laboratorio facilitan por un lado el “peso específico seco” y por otro lado la humedad. También suele utilizarse un valor adimensional denominado, “peso específico relativo”, definido como el cociente entre el peso específico del suelo y el peso específico del agua a una temperatura determinada.

Ilustración 11 Cono de arena agregado fino. Fuente: Elaboración propia



$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{V-W}$$

Siendo: A = Peso en el aire de la muestra secada en el horno

V = Volumen del frasco en ml

W = Peso en gramos o volumen del agua agregada al frasco

$$\text{Peso específico en condición saturado y superficie seca} = \frac{500}{V-W}$$

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{(V-W)-(500-A)}$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{500-A}{A} * 100$$

❖ Análisis del peso específico y porcentaje de absorción (Arena)

Datos obtenidos.

Tabla 6 Análisis del peso Específico Fuente: Elaboración propia.

MUESTRA N°	PESO MUESTRA (gr)	PESO DE MATRÁZ (gr)	MUESTRA + MATRÁZ + AGUA (gr)	PESO DEL AGUA + AGR. AL MATRÁZ "W" (mat. ó. conc.)	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	VOLUMEN DEL MATRÁZ "V" (ml)	P. E. A GRANEL (gr/cm3)	P. E. SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm3)	P. E. APARENTE (gr/cm3)	% DE ABSORCIÓN
1	500	195.9	973.1	277.20	491.00	500.00	2.20	2.24	2.30	1.80
2	503.1	196	974.1	275.20	496.70	500.00	2.21	2.24	2.27	1.27
3	500	172	966.8	295.10	491.50	500.00	2.40	2.44	2.50	1.70
PROMEDIO							2.27	2.31	2.36	1.59

3.5.4 Peso específico y absorción de los agregados gruesos (ASTM C 128)

A = Peso de la muestra seca en el aire

B = peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire

C = peso en el agua de la muestra saturada

Para hallar el peso específico aparente (Pea) se usó la siguiente formula:

$$Pea = \frac{A}{(A - C)}$$

Para conocer el valor del peso específico de masa (Pem):

$$Pem = \frac{A}{(B - C)}$$

El peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS) se halló mediante la siguiente formula.

$$PeSSS = \frac{B}{(B - C)}$$

El porcentaje de absorción del agregado se determinó con la siguiente formula:

$$Ab (\%) = 100 * \frac{S - A}{A}$$

❖ **Análisis del peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso (Grava)**

Con los datos obtenidos en el ensayo:

$$A = 5045 \text{ g}$$

$$B = 5095 \text{ g}$$

$$C = 3152 \text{ g}$$

Para hallar el peso específico aparente (Pea) se usa la siguiente formula:

$$Pea = \frac{A}{(A - C)}$$
$$Pea = \frac{5045}{(5045 - 3152)} = 2,665 \text{ g}$$

Para conocer el valor del peso específico de masa (Pem):

$$Pem = \frac{A}{(B - C)}$$
$$Pem = \frac{5045}{(5095 - 3152)} = 2,596 \text{ g}$$

El peso específico de masa saturada con superficie seca ($PeSSS$) se halló mediante la siguiente formula.

$$PeSSS = \frac{B}{(B - C)}$$
$$PeSSS = \frac{5095}{(5095 - 3152)} = 2,622$$

El porcentaje de absorción del agregado se determinó con la siguiente formula:

$$Ab (\%) = 100 * \frac{S - A}{A}$$
$$Ab (\%) = 100 * \frac{5095 - 5045}{5045} = 0,99$$

3.5.5. Peso unitario y porcentaje de vacíos de los agregados (ASTM C 29)

Peso unitario del suelo es el peso, por unidad de volumen, de la parte sólida (partículas) de un suelo. (Se considera el volumen total).

El peso específico o peso unitario de una sustancia se define como su peso por unidad de volumen. Como aclararemos en otro apartado, esta definición es considerada hoy día como obsoleta y reprobable, siendo su denominación correcta la de densidad de peso.

Ilustración 12 Equipo para ensayo. Fuente: Elab. Propia



Ilustración 13 Pesaje de molde. Fuente: Elab. propia



❖ **Análisis del peso unitario del agregado grueso (Grava)**

Datos:

Volumen del molde

$$V_m = 10000 \text{ cm}^3$$

Seguidamente para hallar el peso unitario seguimos con el procedimiento:

PM: Peso del molde = 5838,7 g

VM: Volumen del molde = 10000 cm³

Agregado suelto

PT: Peso (molde+agregado) = 19996.67 g

PA: Peso del agregado= 14157,97 g

$$PU = \frac{PA}{VM}$$

$$PU = \frac{14157,97}{10000} = 1,416 \text{ g/cm}^3$$

Agregado compactado

PT: Peso (molde+agregado) = 20975 g

PA: Peso del agregado= 15136,30 g

$$PU = \frac{PA}{VM}$$

$$PU = \frac{15136,3}{10000} = 1,514 \text{ g/cm}^3$$

❖ Análisis del peso unitario del agregado fino (Arena)

Datos:

Volumen del molde

$V_m = 3000 \text{ cm}^3$

Seguidamente para hallar el peso unitario seguimos con el procedimiento:

PM: Peso del molde = 2612,6 g

VM: Volumen del molde = 3000 cm^3

Agregado suelto

PT: Peso (molde+agregado) = 7128,33 g

PA: Peso del agregado= 4515,73 g

$$PU = \frac{PA}{VM}$$

$$PU = \frac{4515,73}{3000} = 1,505 \text{ g/cm}^3$$

Agregado compactado

PT: Peso (molde+agregado) = 7610 g

PA: Peso del agregado= 4997,4 g

$$PU = \frac{PA}{VM}$$

$$PU = \frac{4997,4}{3000} = 1,666 \text{ g/cm}^3$$

3.5.6. Determinación del porcentaje de desgaste del agregado grueso por medio de la máquina de los ángeles. (ASTM C-131)

El objetivo de la prueba de desgaste por medio de la máquina de los Ángeles es determinar la resistencia a la trituración o abrasión de los materiales pétreos a utilizar en una mezcla.

Ilustración 14 Uso de máquina de los ángeles.



Ilustración 15 Tamizado de muestra triturada



❖ Desgaste de la grava

METODO		A	B	C	D
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)			
Pasa	Retenido				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	1250±10		
1/2"	3/8"	1250±10	1250±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N° 4			2500±10	
N° 4	N° 8				5000±10
PESO TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
NUMERO DE REVOLUCIONES		500.00	500.00	500.00	500.00
TIEMPO DE ROTACION		30.00	15.00	15.00	15.00

DATOS DE LABORATORIO

METODO A	
TAMIZ	PESO RETENIDO
1"	1250,3
3/4"	1250,2
1/2"	1250,4
3/8"	1250,6

Según su gradación se clasifica como tipo A, haciendo uso de 12 esferas de acero.

Peso total de la muestra (w1) = 5001,5 gr

Peso retenido en el tamiz N°12 (w2) = 3942,3 gr

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{w1-w2}{w1} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{5001,5-3942,3}{5001,5} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 21,18$$

3.5.7. Determinación del peso específico del cemento (NB-064)

El peso específico del cemento (densidad, peso volumétrico, peso unitario, masa unitaria) se define como el peso de cemento por unidad de volumen de los sólidos o partículas, excluyéndose el aire entre las partículas. El peso específico del cemento varía de 3.10 gr/cm³ hasta 3.25 gr/cm³, con promedio de 3.15 gr/cm³. Se determina mediante el frasco volumétrico de Le Chatelier.

Ilustración 16 Determinación del peso específico del cemento Fuente: Elaboración propia.



Peso cemento = 64 gr

Volumen Inicial = 300 cm³

Volumen final = 320,5 cm³

$$Pe = \frac{Pc}{Vf - Vi}$$

$$Pe = \frac{64}{320,5 - 300} = 3,12 \text{ gr/cm}^3$$

3.5.8. Determinación de la Finura del cemento (ASTM C 184)

Es una de las propiedades más importantes del cemento, ya que ella determina en gran medida la velocidad de hidratación, el desarrollo del calor de hidratación, la retracción y la adquisición de resistencia del cemento. Un cemento con grano fino se hidrata con mucha más facilidad.

El ensayo consiste en colocar una muestra de 50g sobre el tamiz. Y realizar el tamizado y pesaje del cemento retenido en las mallas.

El objeto de este método es la determinación de la finura del cemento, por medio del tamiz de malla N°40 y N°200.

Retenido N°40 = 0 gr

Retenido N°200 = 6,9 gr

Peso cemento = 50 gr

$$F = \frac{P_c - P_r}{P_c} * 100$$

$$F = \frac{50 - 6,9}{50} * 100 = 86,2 \%$$

Tabla 7 Resumen de ensayos de caracterización Fuente: Elaboración propia

ENSAYO	Unidad	Valor
1.- Peso unitario compactado de la arena (PUC)	gr/cm ³	1.67
2.- Peso unitario Compactado de la grava (PUC)	gr/cm ³	1.51
3.- Peso específico de la arena (γf)	gr/cm ³	2.36
4.- Peso específico de la grava (γg)	gr/cm ³	2.62
5.- Absorción de la arena (Aa)	%	0.99
6.- Absorción de la Grava (Ag)	%	1.59
7.- Humedad de la Arena (Ha)	%	0.26
8.- Humedad de la Grava (Hg)	%	0.38
10.- Finura del cemento	%	86.2
11.- Desgaste de los Ángeles (grava)	%	21.18
12.- Peso específico del cemento	gr/cm ³	3.12

3.6. TAMAÑO DE LA MUESTRA

El tamaño muestral para determinar la resistencia a compresión y permeabilidad está fundamentado por la norma ACI 318S en su párrafo 5.3.1.2. el cual menciona que el número mínimo de ensayos consecutivos aceptables para determinar la desviación estándar requerida es de 15 probetas.

3.7. DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN POROSO

3.7.1. Materiales

- ✓ Cemento: Por la disponibilidad en el medio se utilizó cemento El Puente Ip30.
- ✓ Grava: El material granular seleccionado fue de 3/8" a 3/4".
- ✓ Arena: Se empleo arena gruesa con tamaño máximo de 9,5mm.
- ✓ Agua: Se utilizó agua potable del sistema del laboratorio.

3.7.2 Dosificación de mezcla de concreto poroso.

Metodología utilizada: Instituto de cemento portland argentino, desarrollado por el Ing. Fernández Luco L.

Uno de los objetivos de la investigación en este proyecto de grado es encontrar una dosificación adecuada para la elaboración de hormigón poroso con materiales locales, de resistencia y permeabilidad suficiente, para su empleo en elementos de construcciones estructurales. El plan experimental se llevó a cabo elaborando diferentes dosificaciones, que se identifican como series o grupos de probetas realizadas bajo esas condiciones.

Debido a que las propiedades del hormigón poroso difieren a las del hormigón convencional es que se plantearon tres etapas para la realización de pastones, siendo la variable interviniente, la relación agua/cemento lo cual dio origen a un conjunto de pastones a ser estudiados respecto a la resistencia y permeabilidad del hormigón poroso. Las dosificaciones se realizaron según recomendaciones bibliográficas y adaptación a los materiales y tecnología local.

La primera etapa comprende en la obtención de parámetros de referencia a nivel nacional e internacional sobre el hormigón poroso teniendo lo siguiente:

Asentamiento	0 – 20 mm
Peso Unitario	1600 – 2000 Kg/m ³
Porosidad	15 – 25 %
Permeabilidad	0,2 – 5,0
Resistencia a Compresión	36 – 285 Kg/cm ²
Cantidad de cemento	270 – 415 Kg/m ³
Agua/cemento sin aditivos	0,25 – 0,45

Relación arena/cemento 0,70 - 0,80
 Relación cemento/grava 1:4 a 1:8

La segunda etapa de hormigones, en donde las variables intervinientes fueron la relación agua/cemento, porosidad, relación arena/ cemento y relación cemento /grava para lo cual se adoptan los siguientes valores:

Cantidad de cemento = 270 Kg/m³

Relación agua/cemento de 0,35 - 0,38 - 0,41

Relación arena/cemento = 0,70

Relación cemento/grava = 1:5

La tercera etapa, es realizar la dosificación para los parámetros adoptados, considerando cumplir el objetivo de conseguir la mayor resistencia del hormigón poroso y la permeabilidad necesaria.

La investigación toma como variable la relación A/C

A/C = 0,35

Cemento = 270 Kg

Si cemento = 270 entonces Agua = 270 * 0,35 = 93 lt

Si la relación Arena/cemento = 0,70 entonces Arena = 0,70 * 270 = 190 Kg

Si la relación cemento/grava es 1:5 entonces Grava = 270 *5 = 1350 Kg

Para todos los casos de relación a/c se muestran en la tabla:

Tabla 8 Cantidades para 1m³ de hormigón permeable Fuente: Elaboración propia.

Porosidad	A/C	Cemento (Kg)	Agua (lt)	Arena (kg)	Grava (kg)
20%	0,35	270	93	190	1350
20%	0,38	270	103	190	1350
20%	0,41	270	110,7	190	1350

3.7.3. Justificación de la dosificación

Los resultados intermedios en la investigación nos permiten realizar un primer análisis que podrían permitir modificaciones en el proceso de investigación o en su caso dar validez al procedimiento, por ello se plantean las siguientes consideraciones realizadas:

- ❖ Para elaborar una mezcla de hormigón poroso, necesariamente se requiere de agregado cuya característica de su granulometría sea uniforme y no bien graduada, en el caso de nuestra investigación, el agregado si cumplía estas condiciones aunque mostraba agregado de partículas muy grandes que nos siempre son convenientes en un hormigón, sobre todo en elementos de dimensiones pequeñas, sin embargo por el cumplimiento de la porosidad no fue necesario cambiar de agregado o ampliar la investigación con otro tipo de agregados.
- ❖ Como las especificaciones técnicas establecen un margen para la porosidad del agregado de 15 a 25%, el haber utilizado para la investigación una porosidad del 20% nos permitía cumplir con ese requerimiento, pero es necesario aclarar que si es posible generar mezclas porosas con un porcentaje de porosidad en el rango establecido, lo que por supuesto establecerá una mezcla diferente con resultados de permeabilidad diferente y resistencia a compresión distinta, no fue propósito de esta investigación realizar comparaciones respecto a estas variaciones, por lo que no fue necesario plantearnos diferentes dosificaciones haciendo variar el porcentaje de vacíos del agregado.
- ❖ La variación de la relación A/C también puede influir en los resultados de la mezcla de hormigón poroso, por ello decidimos generar mezclas con diferentes relaciones que no salgan del rango recomendado por la bibliografía, para evaluar si esta variación pueda tener un efecto positivo o negativo en la mezcla de hormigón poroso estudiado, los resultados nos muestran que hay variación, pero no tan significativas para cambiar sustancialmente la dosificación de la mezcla de hormigón poroso.
- ❖ Finalmente podemos afirmar que se puede ampliar estas investigaciones sobre el hormigón poroso en la Universidad, pensando en elementos específicos en su utilización para dosificar hormigón poroso especial para un elemento de la estructura cuyas condiciones sean particulares en dimensiones y ubicaciones específicas.

- ❖ Ante las aclaraciones anteriormente mencionadas consideramos que la investigación ha sido suficiente, siendo posible ampliar en nuevas investigaciones por otros estudiantes la temática del hormigón poroso.

3.7.4. Trabajabilidad requerida

Obtenida a través del cono de Abrams, gracias al cual podemos comprobar que el asentamiento es igual a cero.

Ilustración 17 Obtención del cono de Abrams. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 18 Medición del asentamiento. Fuente: Elaboración propia



3.7.5. Elaboración de probetas

Para la elaboración de las probetas se utilizó los siguientes materiales:

- Mezcladora para concreto

- Varilla metálica
- Moldes cilíndricos de metal de 15*30 cm
- Moldes cilíndricos de metal de 10*20 cm

Ilustración 19 Dosificación. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 20 Relleno y compactado de probetas. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 21 Enrasado con mortero. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 22 Curado de probetas Fuente: Elaboración propia



3.7.6. Ensayo para determinar la resistencia a la compresión.

El ensayo de compresión se realizó mediante recomendaciones de la norma ASTM C 39

En la siguiente tabla se indica la cantidad de la muestra y la distribución de las probetas.

Tabla 9 Número de muestras para ensayo a compresión.

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
RELACIÓN A/C	ROTURA A LOS 28 DÍAS
0,35	15 probetas
0,38	15 probetas
0,41	15 probetas
Total: 45 probetas de concreto permeable	

A los 28 días se realizó el ensayo de compresión haciendo uso de la prensa hidráulica, para la obtención de cada uno de los resultados y poder analizarlos.

Ilustración 23 Probetas a ensayar. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 24 Proceso de rotura. Fuente: Elaboración propia



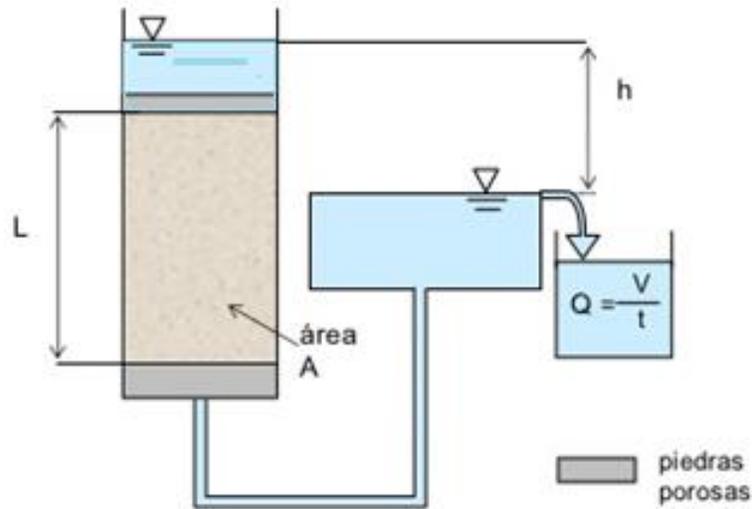
3.7.7. Ensayo para determinar el coeficiente de permeabilidad del hormigón poroso.

El ensayo se realizó mediante la ley de Darcy con el tamaño de probetas de (10cm * 20cm) para estimar el coeficiente de permeabilidad mediante un permeámetro de carga constante.

Tabla 10 Número de muestras para medición de la permeabilidad. Fuente: Elab. propia

ENSAYO DE PERMEABILIDAD	
RELACIÓN A/C	PERMEABILIDAD A LOS 28 DÍAS
0,35	5 probetas
0,38	5 probetas
0,41	5 probetas
Total: 15 probetas de concreto permeable	

Ilustración 25 Permeámetro de carga constante



Este permeámetro ofrece el método más simple para determinar el coeficiente de permeabilidad. Una muestra de suelo de área transversal A y longitud L conocidas, confinadas en un tubo, se somete a una carga hidráulica h . El agua fluye a través de la muestra, midiéndose la cantidad (en cm^3) que pasa en un tiempo t . El gradiente hidráulico permanece constante a lo largo de todo el periodo del ensayo.

Los niveles de agua superior e inferior se mantienen constante por desborde, con lo cual h permanece constante, pues depende solamente de esa diferencia de niveles. La cantidad de agua que pasa se recoge en una bureta graduada.

Conocidos los valores Q , h , L , A , se calcula el coeficiente de permeabilidad.

Aplicando la Ley de Darcy

$$\tilde{v} \text{ (cm/seg)} = K \cdot i \quad \text{y} \quad \text{la ecuación de continuidad} \quad Q = \tilde{v} \cdot A \cdot t$$

$$V/t = k \cdot A \cdot i \quad \text{Reemplazando } i = L/h \text{ despejando } k$$

$$k = \frac{V \cdot L}{A \cdot t \cdot h} \quad \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}}\right)$$

Procedimiento del ensayo en permeámetro de carga constante.

Se deben seguir los siguientes pasos considerando un permeámetro tipo:

- a) Ensamblado del aparato con todos sus elementos.
- b) Preparación de la celda: Se debe verificar que la celda esté limpia y seca y determinar su peso, diámetro y altura. Además, verificar la estanqueidad de la misma.
- c) Preparación de la muestra: En todos los casos la muestra debe calzar perfectamente en la célula sin dejar cavidades en su perímetro.
- d) Saturación de la muestra: Haciendo vacío saturar la muestra el tiempo que sea necesario. Aplicar una succión baja hasta verificar la saturación y la ausencia total de burbujas de aire en la muestra.
- e) Permitir el paso de agua, abriendo la llave correspondiente, verificando que no quede aire entrampado en las conexiones con cada uno de los tubos.
- f) Realización del ensayo propiamente dicho: Permitir el paso del agua a través de la muestra. Cuando el caudal sea uniforme, iniciar la recolección de agua en el depósito graduado. Cronometrar el tiempo de ensayo.

Ilustración 26 Elaboración de permeámetro de carga constante. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 27 Introducción de probeta recubierta



Ilustración 28 Prueba de ensayo de permeabilidad



CAPITULO IV
ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN.

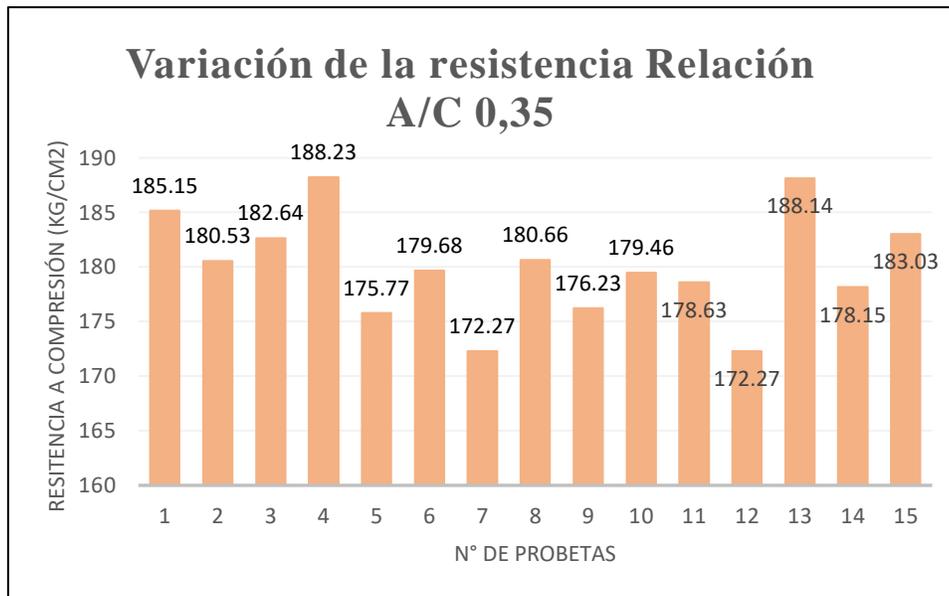
4.1.1. Resistencia a compresión para probetas con relación a/c 0.35

Se decidió trabajar con la variable básica de relación agua/cemento, tomando en cuenta como referencia la recomendación ACI 522R-06. La misma menciona que la faja de relación agua/cemento apropiada para hormigones porosos, varía desde 0.25 a 0.45. A partir de estas recomendaciones, el tiempo limitado disponible y la actual problemática de salud, se optó por trabajar con 3 relaciones agua/cemento, siendo la menor de estas 0.35.

Tabla 11 Resistencias a compresión A/C 0.35. Fuente: Elaboración propia

N.º	A/C	RESISTENCIA (kg/cm ²)
1	0.35	185.15
2	0.35	180.53
3	0.35	182.64
4	0.35	188.23
5	0.35	175.77
6	0.35	179.68
7	0.35	172.27
8	0.35	180.66
9	0.35	176.23
10	0.35	179.46
11	0.35	178.63
12	0.35	172.27
13	0.35	188.14
14	0.35	178.15
15	0.35	183.03

Ilustración 29 Histograma A/C 0.35. Fuente: Elaboración propia.



En este ensayo se esperaba la homogeneidad de los resultados para las distintas probetas de prueba con la misma relación agua/cemento, se pueden observar variaciones no tan significativas en sus resistencias que abarcan en el rango de 172.27kg/cm² hasta 188.23kg/cm² esto se puede originar debido a diversos factores en el proceso de elaboración de las probetas.

De los datos obtenidos en el ensayo de compresión se puede recalcar la máxima resistencia alcanzada de 188.23 Kg/cm², la mínima de 172.27 Kg/cm² y el promedio de las probetas de prueba que es de 180.06 Kg/cm².

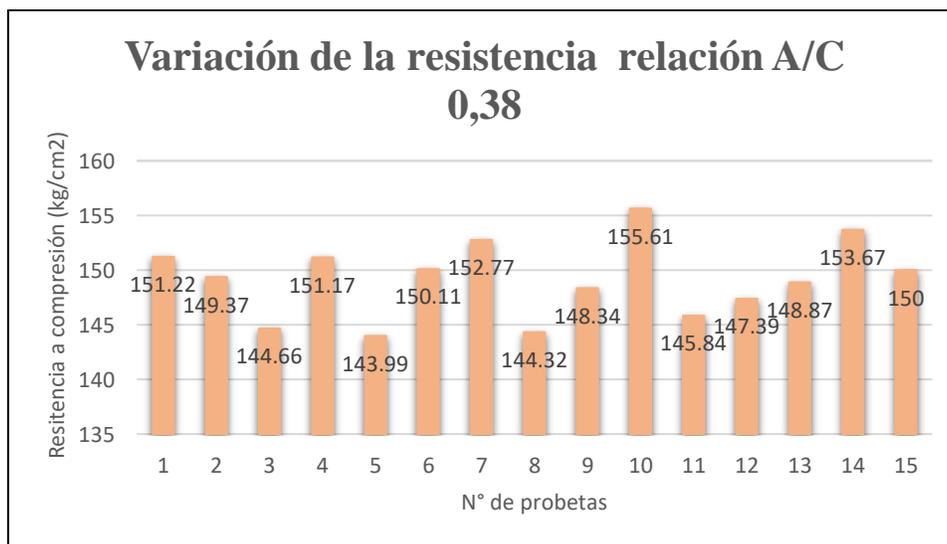
4.1.2. Resistencia a compresión para probetas con relación a/c 0.38

Se decidió trabajar con la variable básica de relación agua/cemento, tomando en cuenta como referencia la recomendación ACI 522R-06. La misma menciona que la faja de relación agua/cemento apropiada para hormigones porosos, varía desde 0.25 a 0.45. A partir de estas recomendaciones, el tiempo limitado disponible y la actual problemática de salud, se optó por trabajar con 3 relaciones agua/cemento, optando por un valor medio de 0.38

Tabla 12 Resistencias a compresión A/C 0.38. Fuente: Elaboración propia.

N.º	A/C	RESISTENCIA (kg/cm ²)
1	0.38	151.22
2	0.38	149.37
3	0.38	144.66
4	0.38	151.17
5	0.38	143.99
6	0.38	150.11
7	0.38	152.77
8	0.38	144.32
9	0.38	148.34
10	0.38	155.61
11	038	145.84
12	0.38	147.39
13	0.38	148.87
14	0.38	153.67
15	0.38	150

Ilustración 30 Histograma A/C 0.38. Fuente: Elaboración propia.



En este ensayo se esperaba la homogeneidad de los resultados para las distintas probetas de prueba con la misma relación agua/cemento, se pueden observar variaciones no tan significativas en sus resistencias que abarcan en el rango de 143.99 kg/cm² hasta 155.61 kg/cm² esto se puede originar debido a diversos factores en el proceso de elaboración de las probetas.

De los datos obtenidos en el ensayo de compresión se puede recalcar la máxima resistencia alcanzada de 155.61 Kg/cm², la mínima de 143.99 Kg/cm² y el promedio de las probetas de prueba que es de 149.16 Kg/cm².

4.1.3. Resistencia a compresión para probetas con relación a/c 0.41.

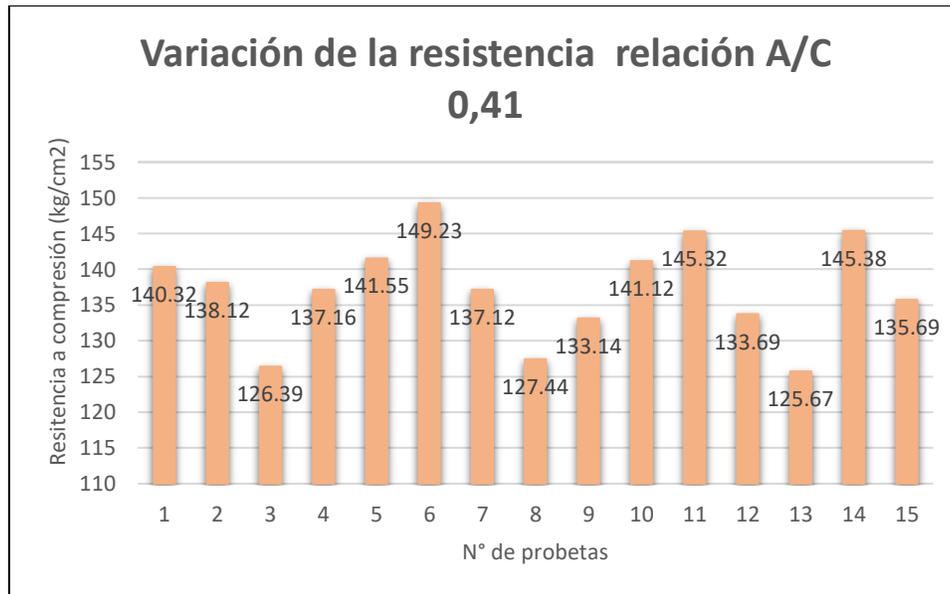
Se decidió trabajar con la variable básica de relación agua/cemento, tomando en cuenta como referencia la recomendación ACI 522R-06. La misma menciona que la faja de relación agua/cemento apropiada para hormigones porosos varía desde 0.25 a 0.45. A partir de estas recomendaciones, el tiempo limitado disponible y la actual problemática de salud, se optó por trabajar con 3 relaciones agua/cemento, siendo la máxima de estas 0.41.

Tabla 13 Resistencias a compresión A/C 0.41. Fuente: Elaboración propia.

N.º	A/C	RESISTENCIA (kg/cm2)
1	041	140.32
2	0.41	138.12
3	0.41	126.39
4	0.41	137.16
5	0.41	141.55
6	0.41	149.23
7	0.41	137.12
8	0.41	127.44
9	0.41	133.14
10	0.41	141.12
11	0.41	145.32
12	0.41	133.69
13	0.41	125.67

14	0.41	145.38
15	0.41	135.69

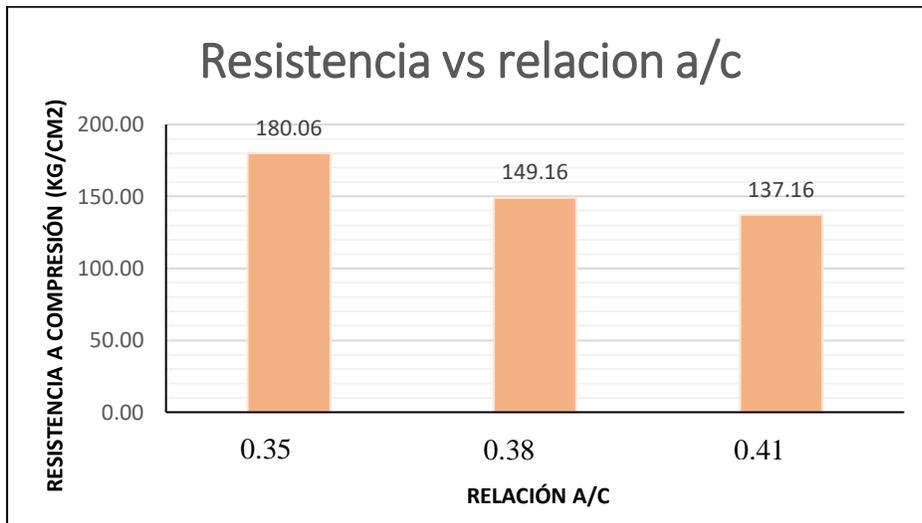
Ilustración 31 Histograma A/C 0.41. Fuente: Elaboración propia.



En este ensayo se esperaba la homogeneidad de los resultados para las distintas probetas de prueba con la misma relación agua/cemento, se pueden observar variaciones no tan significativas en sus resistencias que abarcan en el rango de 125,67 kg/cm² hasta 149.23kg/cm² esto se puede originar debido a diversos factores en el proceso de elaboración de las probetas. De los datos obtenidos en el ensayo de compresión se puede recalcar la máxima resistencia alcanzada de 149.23 Kg/cm², la mínima de 125.67 Kg/cm² y el promedio de las probetas de prueba que es de 137.16 Kg/cm².

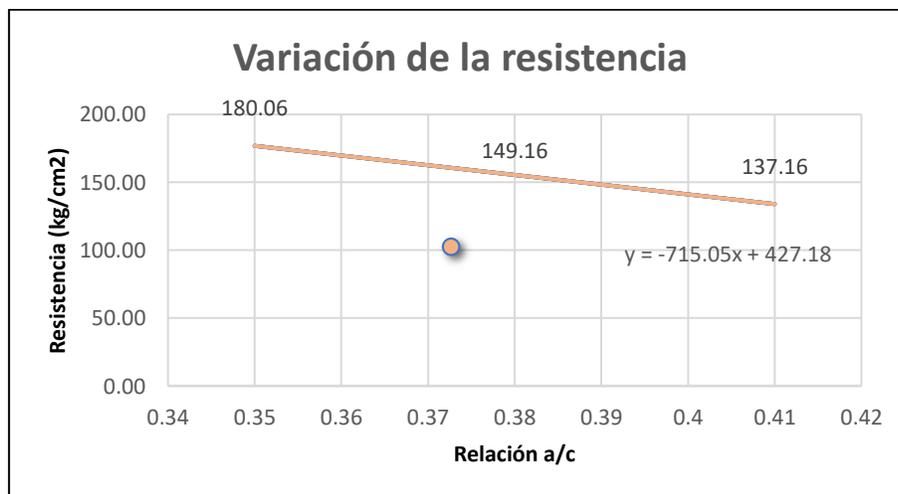
4.1.4. Resistencias promedio de las muestras para cada relación agua/cemento.

Ilustración 32 Histograma de resistencias promedio Fuente: Elaboración propia



Haciendo un análisis del gráfico anterior en los que intervienen la resistencia media de cada relación agua/cemento, se puede observar cómo disminuye de forma considerable la resistencia a compresión de las muestras, al realizar el incremento de la relación agua cemento. Concluyendo que son más óptimas las relaciones a/c más bajas para la obtención de una mayor resistencia a compresión.

Ilustración 33 Variación de la resistencia. Fuente: Elaboración propia



En la recta ajustada, se puede observar el descenso de la resistencia con el aumento de relación agua cemento, llegando a la conclusión que con la relación A/C 0.35 (Mas baja) se obtendrá el

valor más óptimo y elevado de resistencia a compresión en nuestro hormigón poroso, el cual mejoraría con la reducción del porcentaje de vacíos, pero a su vez sería perjudicial para la permeabilidad del mismo.

4.2. ENSAYO DE PERMEABILIDAD

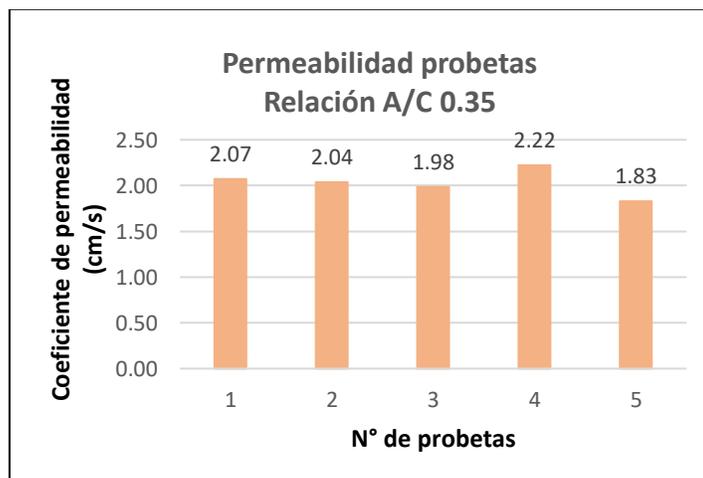
4.2.1. Permeabilidad para relación agua/cemento 0.35

Con el afán de obtener un material endurecido con los poros conectados, que permitan el paso fácil de agua, se decidió trabajar con la variable básica de relación agua/cemento, tomando en cuenta como referencia la recomendación ACI 522R-06. La misma menciona que la faja de relación agua/cemento apropiada para hormigones porosos varía desde 0.25 a 0.45. La menor adoptada es de 0.35.

Tabla 14 Coeficientes de permeabilidad A/C 0.35. Fuente: Elab. Propia

Relación A/C	K (cm/s)
0.35	2.07
0.35	2.04
0.35	1.98
0.35	2.22
0.35	1.83

Ilustración 34 Histograma A/C 0.35. Fuente: Elaboración propia.



Se observa homogeneidad en los resultados para las distintas probetas de prueba con la misma relación agua/cemento, con una mínima variación que puede deberse a diversos factores en el proceso de elaboración de las muestras.

De los datos obtenidos en el ensayo de permeabilidad se puede recalcar la máxima alcanzada de 2.22 cm/s, la mínima de 1.83 cm/s y el promedio de las probetas de prueba que es de 2.03 cm/s.

La desviación estándar de las cinco probetas de prueba es de 0.14.

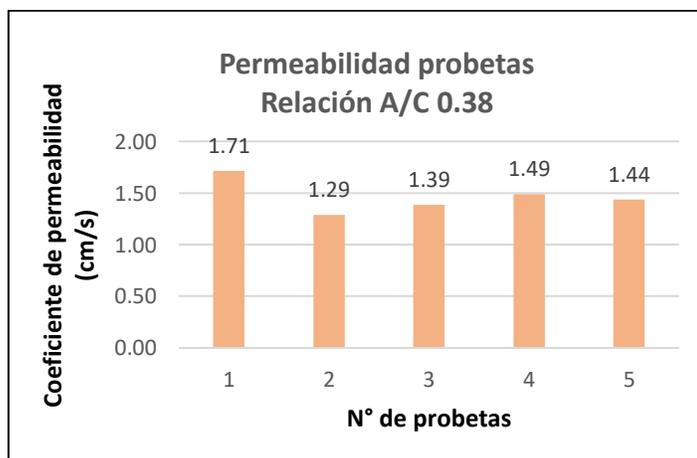
4.2.2. Permeabilidad para relación agua/cemento 0.38

Con el afán de obtener un material endurecido con los poros conectados, que permitan el paso fácil de agua, se decidió trabajar con la variable básica de relación agua/cemento, tomando en cuenta como referencia la recomendación ACI 522R-06. La misma menciona que la faja de relación agua/cemento apropiada para hormigones porosos varía desde 0.25 a 0.45. La media adoptada es de 0.38

Tabla 15 Resistencias a compresión A/C 0.38. Fuente: Elab. Propia

Relación A/C	K (cm/s)
0.38	1.71
0.38	1.29
0.38	1.39
0.38	1.49
0.38	1.44

Ilustración 35 Histograma A/C 0.38. Fuente: Elaboración propia.



Se observa homogeneidad en los resultados para las distintas probetas de prueba con la misma relación agua/cemento, con una mínima variación que puede deberse a diversos factores en el proceso de elaboración de las muestras.

De los datos obtenidos en el ensayo de permeabilidad se puede recalcar la máxima alcanzada de 1,71 cm/s, la mínima de 1.29 cm/s y el promedio de las probetas de prueba que es de 1.46 cm/s.

La desviación estándar de las cinco probetas de muestra es de 0.156.

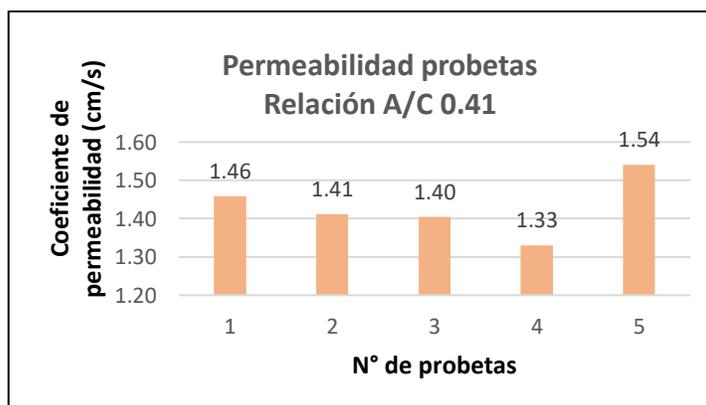
4.2.3. Permeabilidad para relación agua/cemento 0.41

Con el afán de obtener un material endurecido con los poros conectados, que permitan el paso fácil de agua, se decidió trabajar con la variable básica de relación agua/cemento, tomando en cuenta como referencia la recomendación ACI 522R-06. La misma menciona que la faja de relación agua/cemento apropiada para hormigones porosos varía desde 0.25 a 0.45. La mayor adoptada es de 0.41.

Tabla 16 Resistencias a compresión A/C 0.41. Fuente: Elab. propia

Relación A/C	K (cm/s)
0.41	1.46
0.41	1.41
0.41	1.40
0.41	1.33
0.41	1.54

Ilustración 36 Histograma A/C 0.41. Fuente: Elaboración propia.



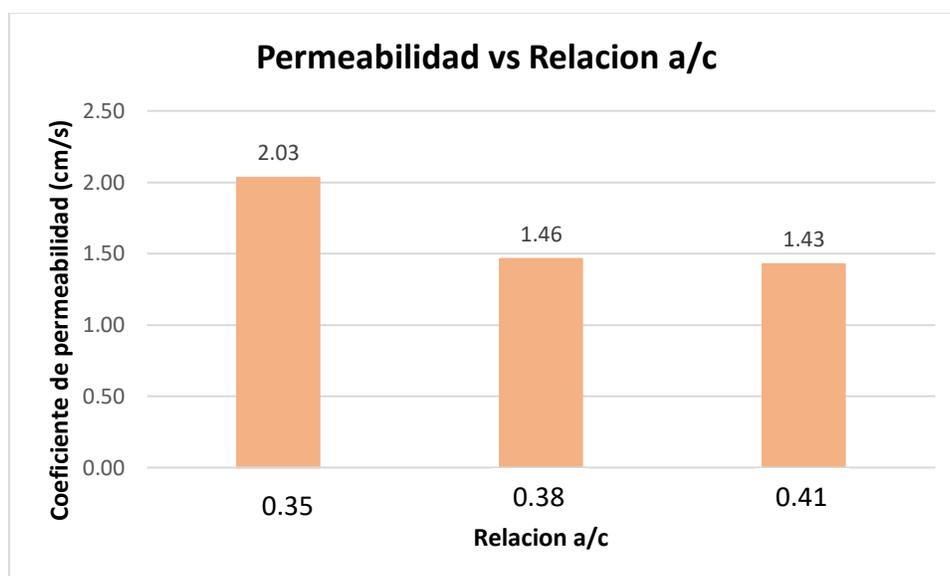
Se observa homogeneidad en los resultados, para las distintas probetas de prueba con la misma relación agua/cemento, con una mínima variación que puede deberse a diversos factores, en el proceso de elaboración de las muestras.

De los datos obtenidos en el ensayo de permeabilidad se puede recalcar la máxima alcanzada de 1.54 cm/s, la mínima de 1.33 cm/s y el promedio de las probetas de prueba que es de 1.43 cm/s.

La desviación estándar de las cinco probetas de muestra es de 0.078.

4.2.4. Variación de la permeabilidad según la relación agua/cemento.

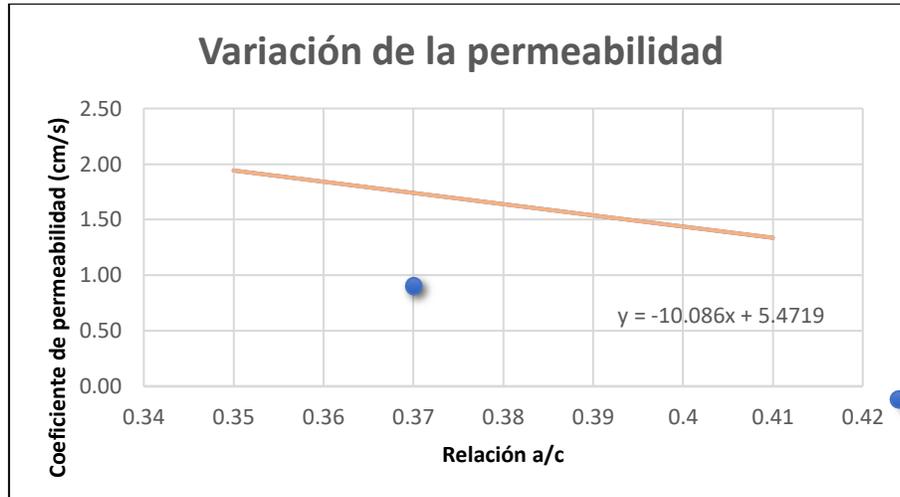
Ilustración 37 Histograma. Fuente: Elaboración propia.



El resultado del coeficiente de permeabilidad promedio; para el hormigón poroso como se puede apreciar en el grafico anterior, varia con respecto a la relación agua/cemento.

El máximo valor de permeabilidad obtenido de 2.03 cm/s se presentó con la relación agua/cemento más baja de 0.35, y se observa que en las siguientes la permeabilidad disminuye ligeramente con el aumento de la relación agua cemento.

Ilustración 38 Variación de la permeabilidad. Fuente: Elaboración propia



En la recta ajustada de variación de la permeabilidad según cada relación agua cemento, se puede observar el descenso del coeficiente de permeabilidad con el aumento de relación agua cemento, llegando a la conclusión que con la relación A/C 0.35 (Mas baja) se obtendrá el valor más óptimo y elevado de permeabilidad en nuestro hormigón poroso. Este aspecto también tiene influencia de las características específicas del agregado en cuanto a su graduación y su porcentaje de vacíos que son parámetros más influyentes en la mayor o menor permeabilidad.

4.3. VALIDACIÓN DE DATOS DE ROTURA

De acuerdo a los criterios del Comité ACI 214R, las variaciones en la resistencia pueden ser evaluadas mediante un análisis estadístico, tomando en cuenta la desviación estándar y el coeficiente de variación, los cuales se pueden asociar el grado de control del concreto en el proyecto. En este caso, la desviación estándar y coeficiente de variación para una resistencia especificada $f'c <$ de 34.5 Mpa (5000 psi), para control de concreto en campo, son los siguientes:

Desviación Estándar, s para la población total			Coefficiente de variación, V dentro de la prueba	Estándar de control de calidad
kg/cm ²	Mpa	psi	%	
Hasta 28	Hasta 2.8	Hasta 400	<3.0	Excelente
28 a 35	2.8 a 3.4	400 a 500	3.0 a 4.0	Muy bueno
35 a 42	3.4 a 4.1	500 a 600	4.0 a 5.0	Bueno
42 a 49	4.1 a 4.8	600 a 700	5.0 a 6.0	Aceptable
> 49	> 4.8	> 700	>6	Deficiente

Datos de rotura de probetas a los 28 días Relación A/C 0.35

Nº	A/C	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
1	0.35	185.15
2	0.35	180.53
3	0.35	182.64
4	0.35	188.23
5	0.35	175.77
6	0.35	179.68
7	0.35	172.27
8	0.35	180.66
9	0.35	176.23
10	0.35	179.46
11	0.35	178.63
12	0.35	172.27
13	0.35	188.14
14	0.35	178.15
15	0.35	183.03
Media		180.06
Desviación Estandar M		4.89
Desviación Estandar P		4.72
Coeficiente de Variación		3%

Desviación Estándar, s para la población total			Coeficiente de variación, V dentro de la prueba	Estándar de control de calidad
kg/cm ²	Mpa	psi	%	
Hasta 28	Hasta 2.8	Hasta 400	<3.0	Excelente
28 a 35	2.8 a 3.4	400 a 500	3.0 a 4.0	Muy bueno
35 a 42	3.4 a 4.1	500 a 600	4.0 a 5.0	Bueno
42 a 49	4.1 a 4.8	600 a 700	5.0 a 6.0	Aceptable
> 49	> 4.8	> 700	>6	Deficiente

En base a los parámetros estadísticos obtenidos se puede verificar que el control de calidad para las probetas de hormigón poroso de relación A/C a.35 es excelente en base a la desviación estándar del grupo de probetas investigadas o coeficiente de variación.

La tabla utilizada es para un hormigón normal, ya que no se cuenta con un control específico para hormigones porosos.

Datos de rotura de probetas a los 28 días Relación A/C 0.38

Nº	A/C	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
1	0.38	151.22
2	0.38	149.37
3	0.38	144.66
4	0.38	151.17
5	0.38	143.99
6	0.38	150.11
7	0.38	152.77
8	0.38	144.32
9	0.38	148.34
10	0.38	155.61
11	0.38	145.84
12	0.38	147.39
13	0.38	148.87
14	0.38	153.67
15	0.38	150
Media		149.16
Desviación Estándar M		3.49
Desviación Estándar P		3.37
Coeficiente de Variación		2%

Desviación Estándar, s para la población total			Coeficiente de variación, V dentro de la prueba	Estándar de control de calidad
kg/cm ²	Mpa	psi	%	
Hasta 28	Hasta 2.8	Hasta 400	<3.0	Excelente
28 a 35	2.8 a 3.4	400 a 500	3.0 a 4.0	Muy bueno
35 a 42	3.4 a 4.1	500 a 600	4.0 a 5.0	Bueno
42 a 49	4.1 a 4.8	600 a 700	5.0 a 6.0	Aceptable
> 49	> 4.8	> 700	>6	Deficiente

En base a los parámetros estadísticos obtenidos se puede verificar que el control de calidad para las probetas de hormigón poroso de relación A/C a.38 es excelente respecto a la desviación estándar o en su caso muy bueno considerando el coeficiente de variación.

La tabla utilizada es para un hormigón normal, ya que no se cuenta con un control específico para hormigones porosos.

Datos de rotura de probetas a los 28 días Relación A/C 0.41

Nº	A/C	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
1	0.41	140.32
2	0.41	138.12
3	0.41	126.39
4	0.41	137.16
5	0.41	141.55
6	0.41	149.23
7	0.41	137.12
8	0.41	127.44
9	0.41	133.14
10	0.41	141.12
11	0.41	145.32
12	0.41	133.69
13	0.41	125.67
14	0.41	145.38
15	0.41	135.69
Media		137.16
Desviación Estandar M		7.06
Desviación Estandar P		6.82
Coeficiente de Variación		5%

Desviación Estándar, s para la población total			Coeficiente de variación, V dentro de la prueba	Estándar de control de calidad
kg/cm ²	Mpa	psi	%	
Hasta 28	Hasta 2.8	Hasta 400	<3.0	Excelente
28 a 35	2.8 a 3.4	400 a 500	3.0 a 4.0	Muy bueno
35 a 42	3.4 a 4.1	500 a 600	4.0 a 5.0	Bueno
42 a 49	4.1 a 4.8	600 a 700	5.0 a 6.0	Aceptable
> 49	> 4.8	> 700	>6	Deficiente

En base a los parámetros estadísticos obtenidos se puede verificar que el control de calidad para las probetas de hormigón poroso de relación A/C 0.41 es excelente considerando la desviación estándar o bueno considerando el coeficiente de variación.

La tabla utilizada es para un hormigón normal, ya que no se cuenta con un control específico para hormigones porosos.

4.4. APLICABILIDAD DEL HORMIGÓN POROSO EN CONSTRUCCIONES.

Dado que el énfasis de este tipo de concreto es pensar la construcción desde la lógica del ciclo natural del agua, sin intervenir con el paso de la humedad, se propone su uso en sistemas de alcantarillado, parqueaderos, cubiertas, canchas deportivas, parques, losas de circulación e invernaderos.

También para rodaduras, parqueaderos, vías vehiculares, comerciales y residenciales, senderos peatonales y bicicletas, canchas deportivas y parques.

Básicamente la permeabilidad, durabilidad, la limpieza de su proceso constructivo y su aspecto más agradable es que tiene un impacto visual diferente a otro tipo de concretos por su textura y disponibilidad de colores.

Los hormigones de características permeables, son ideales para pavimentar los estacionamientos o parkings, caminos, invernaderos, interiores de las urbanizaciones, canchas multifuncionales, calles de poco tráfico, entre otros.

Inicialmente, el hormigón poroso se aplica por encima de otra capa, de esta forma se puede garantizar una mayor resistencia y durabilidad del espacio cubierto, no obstante, se estima generar mayores usos para los tiempos venideros.

En estos tiempos, el hormigón poroso posee un gran número de opciones con el objetivo de desarrollar diversos proyectos de forma económica, bien sea para las vías públicas o los espacios privados.

Como resultado de este estudio de investigación se sugieren las siguientes aplicaciones: losas en cubierta, losas en áreas circundantes a piscinas, losas en sectores de circulación, que actúan como protección mecánica de una base, resultando una superficie practicable resistente y aislada térmicamente.

➤ Losas de cubierta

Ilustración 39 Losa de hormigón poroso en cubiertas. Fuente: Tipología de pav. CEMEX México



Las losas filtrantes añaden a la cubierta un aislamiento térmico y estructuras permeables efectivas, transitables, proporcionando el confort térmico adecuado y creando a su vez nuevos espacios practicables, con el consiguiente ahorro de energía. De la misma manera, protege las membranas de daños mecánicos, de tensiones producidas por el viento y de variaciones de temperatura, alargando la vida de las mismas.

Se instalan de forma flotante por lo que no se necesita juntas de pavimentos en la cubierta, por lo tanto, será desmontable, proporcionando un fácil mantenimiento de la cubierta por el rápido acceso a la impermeabilización y un bajo costo de la mano de obra.

Para el drenaje del agua de lluvia recolectada se pueden usar los siguientes métodos:

Las canaletas de lluvia que son el sistema de drenaje para techos más utilizado. Para instalar canaletas en una cubierta plana es necesario que esta posea una ligera inclinación (pendiente) hacia donde se encuentren estos. Es decir, el sistema se conecta a bajantes que guíen el agua.

En edificios, centros comerciales y en estructuras similares donde se cuenta con grandes losas de cubierta, por lo general cuentan con un sistema de drenaje interno. Son desagües que suelen estar ubicados en la parte central de la superficie.

Este tipo de techos por lo general cuentan con ligeras inclinaciones hacia sumideros que forman parte de una red de tuberías.

Las tuberías son las encargadas de drenar el agua de la lluvia y de la nieve que se derrite a través del techo. Estas permiten mantener el agua y cualquier tipo de humedad lejos de las paredes y los elementos de soporte.

Este tipo de sistemas de drenaje grandes ventajas, entre las que destacan las siguientes:

- Las tuberías son duraderas: Ya que se encuentran protegidas por el tejado o la parte superior del techo y las paredes no es común tener que reemplazarlas. Aunque en ocasiones pueden producirse fugas.
- Conservan la estética de la estructura: Debido a que el sistema de tuberías está oculto tras las paredes es imperceptible. Por lo que no afecta de ninguna forma a la estética del edificio.



➤ **Losas de áreas circundantes a piscinas**

Ilustración 40 losa de área circundante de piscina. Fuente: Tipología de pav. CEMEX México



Una de las principales desventajas de las piscinas es que salpican mucha agua al exterior, esto puede provocar desgastes en el hormigón o materiales que la rodean debido a la erosión generada por el agua. Allí es donde entra el hormigón poroso, el cual ofrece muchos beneficios.

Y es que no importa cuánta agua avienten desde la piscina, el hormigón con capacidad drenante podrá con ella. Al ser poroso, el agua se filtrará hacia el suelo lo que evitará que el agua desgaste a la piscina. De igual manera se puede recolectar, procesar y regresar a la misma.



➤ **Losas de circulación**

Ilustración 41 Losa de circulación. Fuente: Tipología de pav. CEMEX México



El uso del hormigón poroso en losas de circulación es una de las más comunes aplicaciones, abarcando: pavimentos, parqueaderos, aceras peatonales, canchas, parques, etc.

La preparación y disposición del suelo previo a su colocación según recomendaciones de la norma ACI 522R-06 menciona “una subrasante bien preparada y uniforme en la elevación correcta es esencial para la construcción de un pavimento de calidad. La parte superior 6 pulg. (150 mm) de la subrasante debe estar compuesto de material granular o grava con no más de una cantidad moderada (10%) de limo o arcilla. La subrasante no debe ser perturbada, embarrado, saturado o congelado cuando comienza la colocación. Los suelos de la subrasante del pie deben humedecerse antes de colocar el concreto. Si no se proporciona una subbase húmeda se obtendrá una reducción en la fuerza del pavimento y puede conducir a una falla prematura”

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

5.1.1. Respecto a la caracterización

- ✓ El agregado utilizado en la elaboración del hormigón poroso cumple con la característica principal de tener un porcentaje de vacíos alto del 20%, aunque por el efecto del tamaño máximo del agregado dejan zonas débiles a la resistencia.
- ✓ El cemento utilizado en la elaboración de la mezcla de hormigón poroso es de la fábrica El Puente cuya hoja técnica nos muestra que cumple las especificaciones necesarias para su utilización en este tipo de hormigón.
- ✓ La propiedad de abrasión dada por el desgaste de los ángeles nos muestra que el agregado grueso tiene 21,18% lo que consideramos una buena calidad del agregado para la conformación del concreto poroso.

5.1.2. Respecto a la dosificación

- ✓ La dosificación del hormigón poroso en función de relacionar mezclas con la misma porosidad como parámetro fundamental del hormigón poroso, considerando para la investigación una variación del contenido de A/C haciendo variar el contenido de agua sin variar el cemento y mantener las mismas condiciones para la mezcla.

Porosidad	A/C	Cemento (Kg/m ³)	Agua (lt)	Arena (kg/m ³)	Grava (kg)
20%	0,35	270	93	190	1350
20%	0,38	270	103	190	1350
20%	0,41	270	110,7	190	1350

5.1.3. Respecto a la Resistencia a compresión

- ✓ Entre los resultados obtenidos en la investigación uno de los parámetros planteados para su evaluación fue la resistencia del hormigón permeable dándonos como resultados que su resistencia a la compresión varía entre 126,39 Kg/cm² y 188,23 Kg/cm², aun en

algunas probetas baja resistencia estableciendo que la relación A/C más conveniente fue de 0,35 cuyas resistencias a compresión son más altas.

5.1.4. Respecto a la permeabilidad

- ✓ Otro de los parámetros de la investigación fue la permeabilidad cuyos resultados de nuestra investigación nos dan un rango de valores entre 2,03 cm/s y 1,43 cm/s siendo más permeable por la variación de vacíos debido a su granulometría la relación a/c 0,35.

5.1.5. Respecto a la aplicación

- ✓ El uso de losas permeables en cubierta mejora el aislamiento térmico proporcionando mayor calidad al usuario final, y un significativo ahorro energético, gracias a nuevos sistemas constructivos que apuestan por la sostenibilidad y la eficiencia energética.
- ✓ Tomando en cuenta las características y ventajas ya mencionadas, el hormigón poroso es un material ideal para complementar el suelo de cualquiera de tus proyectos, además de ser un material rentable con 8,86% menos costo que un hormigón normal, es posible adaptarlo a cualquier realidad, sobre todo, si el proyecto está basado en una estructura de uso social.
- ✓ La rentabilidad del hormigón poroso permite extender cada vez más la creatividad para la construcción de proyectos de viviendas, parques y canchas deportivas que incentiven a la comunidad, sobre todo, porque este tipo de material garantiza el flujo del agua a los elementos naturales, cuidando la vegetación y el ciclo natural de la misma.

5.1.5. Respecto a la Hipótesis

“Si elaboramos hormigón poroso con materiales locales, entonces podremos obtener mezclas cuyas características de permeabilidad superen los 1,35 cm/s y resistencias a compresión mayores a 160 kg/cm², que sean satisfactorias para su aplicación en componentes de acabado estructural en las construcciones”.

- ✓ De los resultados obtenidos se puede confirmar el cumplimiento de la hipótesis planteada, considerando que es posible ejecutar hormigón poroso con agregados locales con dosificaciones que deban ajustarse según el grado de porosidad definido y las

condiciones de relación A/C, se obtuvo resistencias a compresión que alcanzan a valores mayores a 160 Kg/cm^2 a los 28 días y coeficientes de permeabilidad entre 1,43 y 2,03 cm/s consiguiendo el objetivo de resistencia y permeabilidad óptimas para sus respectivas aplicaciones.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Es recomendable el uso de la Norma ACI 522 como guía para una correcta elaboración del hormigón poroso, métodos de diseño, materiales, pruebas e inspección.
- ✓ Para la obtención de mayores resistencias y la más óptima permeabilidad en nuestro hormigón poroso se recomienda trabajar con las relaciones A/C más bajas de los valores especificados por la norma, en nuestro caso la relación A/C de 0.35.
- ✓ Al momento de realizar la mezcla para el diseño del concreto permeable, es recomendable tener en cuenta que el tiempo de mezclado debe ser de 2 a 4 minutos (debido a que se trabaja con una relación agua cemento baja), para el proceso de mezcla, se debe seguir el siguiente orden: primero, echar una parte de agua en la mezcladora (el agua debe ser añadida de forma sistemática y gradual), para luego poder vaciar los agregados, después echar el cemento y culminar el proceso echando el agua que restó.
- ✓ Implementar en futuras investigaciones la cantidad de cemento como variable para la observación y análisis de como este parámetro influye en la resistencia a compresión y permeabilidad del hormigón poroso.
- ✓ Es recomendable incorporar aditivos en la dosificación del hormigón poroso, con la función de ayudar a la pasta a permanecer adherida a los agregados, mejorar la manejabilidad del mismo y aumentar su resistencia.