

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad cuando se habla de pavimentar lo primero que se piensa es en concreto asfáltico o concreto hidráulico. Esta situación ha provocado que existan cada vez menos áreas permeables en nuestro entorno, impidiendo el paso libre del agua para la alimentación de los mantos acuíferos.

El proceso de urbanización tradicional ocasiona efectos importantes sobre las aguas pluviales en la ciudad, debido a la disminución de la capacidad de filtración y de almacenamiento, así como eliminación de los cauces naturales de escurrimiento. Con la utilización de pavimento de concreto poroso se consigue recargar el acuífero, preservar los recursos hídricos, reducir el escurrimiento del agua pluvial o eliminarlo y remover algunos contaminantes, mejorando la calidad del agua. Además, esta práctica reduce o elimina en gran medida la necesidad de áreas de retención y el costo de alcantarillas para la conducción del agua.

Las mezclas de concreto poroso con agregados gruesos son diseñadas para un 15% y 20% de vacíos. La realización de su estudio a nivel experimental permite evaluar si cumplen con las propiedades mecánicas y de permeabilidad adecuadas para su utilización en pavimentos con tránsito ligero y otras aplicaciones.

El concreto poroso es uno de los elementos de construcción más utilizado en Latinoamérica por su característica peculiar de drenar aguas pluviales. Esto aún no se pone en práctica en Bolivia, y se realiza solamente investigación teórica; además por la baja resistencia a la compresión.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Aporte académico

La presente investigación se justifica por, la utilización de una nueva tecnología como el concreto poroso. Así, se puede dar a conocer este tipo de pavimentos y una solución

factible al problema del exceso de escorrentía que se genera en las calles, además de la resistencia que tiene el concreto poroso.

Aplicación técnica – práctica

Este tipo de concreto no es utilizado en el departamento de Tarija. Por ello, este estudio para poder utilizarlo en diferentes obras de ingeniería; específicamente en el área estructural de pavimentos a fin de incrementar la resistencia a la compresión del concreto poroso mediante una permeabilidad aceptable.

La elaboración del concreto poroso tiene la finalidad de alcanzar la resistencia 210 kg/cm² con un porcentaje de vacíos de 15%. Para ello, se utiliza cemento portland tipo IP, agregado grueso y una mínima cantidad de agregado fino.

Importancia social

Actualmente en el departamento de Tarija no hay suficiente evacuación de aguas pluviales en las calles y avenidas. Se plantea el uso de concreto poroso como una alternativa de solución para dar confort y seguridad a los usuarios.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Situación problemática

La permeabilidad en el concreto poroso es una forma de determinar la resistencia del pavimento poroso al relacionar ambas variables, mediante la correlación con los valores confiables obtenidos de los ensayos del laboratorio de suelos con los ensayos de permeabilidad, compresión y de Arquímedes.

En este trabajo de tipo experimental se estudia la penetración de agua en hormigones porosos analizando, al mismo tiempo su estructura porosa para relacionar la resistencia de las estructuras porosas condicionadas por la permeabilidad. Esta característica del concreto poroso es una propiedad hidráulica importante, que incide en su resistencia.

El aumento progresivo de la población ha llevado a la consecuente urbanización de sectores alejados de la ciudad. Esto contribuye a incrementar el problema en más zonas urbanas pavimentadas, que no dan lugar a la evacuación de las aguas pluviales provocando así inundaciones.

En la ciudad de Tarija, no escapa a esta realidad, periódicamente se ve afectada por fenómenos climáticos naturales agresivos que están provocando inundaciones y graves daños, principalmente en la zona baja de la misma. A estos fenómenos de lluvias torrenciales se suma el problema de un sistema de captación de aguas lluvia deficiente, que no abastece la evacuación de las aguas de lluvias, generando malestar e incomodidad entre sus pobladores; ya que impide la movilización de los mismos dentro de la ciudad.

La perspectiva de solución es correlacionar la resistencia del concreto poroso con la permeabilidad para obtener valores confiables de permeabilidad que ayuden a diseñar un concreto poroso resistente.

1.3.2. Delimitación del tiempo

La investigación pretende dar a conocer la correlación entre la permeabilidad y la resistencia de los pavimentos de concretos porosos, lo cual mejorara la eficiencia en la evacuación del agua sobre el pavimento en época de lluvias. Generalmente, esto ocurre al sobrepasar la capacidad de los alcantarillados pluviales. El estudio propone el uso de pavimentos permeables en el área urbana de la ciudad de Tarija.

1.3.3. Delimitación del espacio

Los ensayos se llevarán a cabo en el laboratorio de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”, mediante la realización de probetas de concreto poroso con las cuales se medirá permeabilidad y resistencia para luego correlacionarlas.

Con el porcentaje óptimo de la mezcla se realizará probetas para realizar un análisis estadístico de los resultados obtenidos para medir sus parámetros si están dentro de lo normado.

1.3.4. Problema

¿En qué forma una correlación entre la permeabilidad y la resistencia del concreto poroso, proporcionará confiabilidad para su uso en el diseño de carreteras?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Correlacionar la permeabilidad con la resistencia del pavimento de concreto poroso, estableciendo que la misma pueda tener una confiabilidad del 95%, a través de ensayos de permeabilidad y compresión, de tal manera que se pueda establecer una propuesta en el diseño de carreteras.

1.4.2. Objetivos específicos

- Elaborar el marco teórico de las propiedades del concreto poroso.
- Realizar la caracterización de los agregados pétreos y del cemento hidráulico.
- Ejecutar ensayos de permeabilidad, resistencia si cumple con los criterios establecidos por la normativa.
- Determinar un análisis económico de un pavimento de concreto poroso.

1.5. ALCANCE

La presente investigación se realizó en el departamento de Tarija para lo cual se utilizaron áridos de la región en la provincia Avilés, en la comunidad San José de Charajas. Se determinó la correlación entre la resistencia y la permeabilidad para analizar, minuciosamente este tipo de pavimentos.

Lo que se pretende es lograr los objetivos del proyecto, respaldar la justificación y su validez. El estudio está enfocado hacia la obtención de información necesaria para su realización. Por ejemplo, los conceptos necesarios para estudiar sus propiedades mecánicas y la normativa que se aplicará para este tipo de pavimentos.

Sea seleccionado el material proveniente de la cantera de Charajas y con ello, se realizará la caracterización de los agregados pétreos a través de sucesivos ensayos. Posteriormente, la parte práctica dará inicio a la etapa del cálculo de diseño del concreto poroso con probetas para encontrar el contenido óptimo de cemento hidráulico. El estudio se realizará con los ensayos correspondientes. Una vez que se determine el porcentaje óptimo de cemento hidráulico, el proceso pasará al diseño del concreto poroso con la curva granulométrica para realizar el análisis estadístico y evaluar sus propiedades mecánicas según los objetivos de la investigación. Luego se realizará la

comparación del análisis de precios unitarios del concreto poroso, y finalmente se dará a conocer las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

1.6. HIPÓTESIS

Con la correlación entre la resistencia y la permeabilidad obtenidas es posible encontrar una confiabilidad matemática de sus resultados y establecer una propuesta en la elección del diseño de carreteras de concreto poroso para su aplicabilidad.

1.6.1 Variable independiente

Mezcla de concreto.

1.6.2 Variable dependiente

Resistencia.

Permeabilidad.

1.7. CONCEPTUALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

1.7.1. Conceptualización de las variables

Agregados: Elemento inertes del concreto poroso, aglomerados por la pasta del cemento de tamaño máximo de 1/2".

Cemento portland: Material aglomerante, derivado del Clinker. Se evaluará la cantidad de cemento Portland.

Agua: En una cantidad adecuada para formar la pasta o lechada.

1.7.2. Operacionalización de las variables

Concreto Poroso: Al concreto poroso se le someterá a un esfuerzo máximo, para soportar una carga axial a una edad de:

- Resistencia a los 7 días.
- Resistencia a los 14 días.
- Resistencia a los 28 días.

Permeabilidad: La permeabilidad al igual que la porosidad depende de las propiedades de los materiales, la proporción de la mezcla y de los métodos de colocación y compactación.

Tabla 1.1. Operacionalización de las variables

Variable dependiente	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Permeabilidad	Coefficiente de permeabilidad	-	Realizar ensayos utilizando un permeámetro de carga variable.
Resistencia	Resistencia a la compresión	Kg/cm ²	Realizar ensayos compresión.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. 2. Conceptualización de las variables

Variable independiente	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Correlación	Permeabilidad	-	Encontrar una correlación matemática entre la resistencia y la permeabilidad.
	Resistencia	Kg/cm ²	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II
ESTADO DE CONOCIMIENTO

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Concreto permeable

El concreto permeable o concreto poroso es definido como un concreto con revenimiento cero con alto grado de porosidad con una relación de vacíos alta. Contiene de cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino y agua. La combinación de estos ingredientes producirá un material endurecido con poros conectados, que varía de tamaño de 2 a 8 mm, lo cual permite que el agua pase fácilmente a través de él. El contenido de vacíos puede variar de 15% a 35%, y se pueden alcanzar resistencias a la compresión entre 28 a 280 kg/cm². La capacidad de drenaje de un pavimento de concreto permeable variará con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla, pero generalmente varía en el rango de 81 a 730 L/min/m² ó 0.14 a 1.22 cm/s (Principe Ramos, 2018, pág. 9).

2.1.2. Permeabilidad

La permeabilidad al igual que la porosidad depende de las propiedades de los materiales, la proporción de la mezcla y de los métodos de colocación y compactación. Una excesiva compactación reducirá la permeabilidad al sellar los poros necesarios para la filtración del agua (Bueno Uribe, y otros, pág. 15).

2.1.3. Asentamiento

El asentamiento es una propiedad que no define la calidad del concreto permeable a diferencia del concreto convencional sin embargo, sirve para adquirir conocimiento acerca de la manejabilidad de la mezcla (Méndez & Mosqueda, 2016, pág. 13).

2.1.4. Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Se determina de acuerdo a la norma ASTM C39. La resistencia a compresión del concreto permeable se ve afectada principalmente por la proporción de la matriz y el esfuerzo de compactación sección transversal agregado material cementante vacío. (Bueno Uribe, y otros, pág. 15).

2.1.5. Resistencia a la flexión o módulo de rotura

El esfuerzo máximo de flexión se denomina Módulo de Rotura (MR). La resistencia a la flexión se puede definir como la resistencia a tracción del concreto, para el caso del concreto el valor de la resistencia a la flexión es menor que el valor de la resistencia a compresión.

Para la realización del cálculo del módulo de rotura se debe identificar qué tipo de falla se produjo y en qué parte se produjo. Sin embargo, obtener el dato real por medio de las diferentes fórmulas es difícil, esto se debe como primera medida a que se supone un comportamiento elástico del concreto hasta que ocurre la falla.

El módulo de rotura del concreto es una medida útil para el diseño de pavimentos realizados en este material, puesto que las placas de pavimento trabajan principalmente a flexión; de ahí que en estos casos la calidad del concreto se especifique indicando su módulo de rotura (Moujir & Castañeda, 2014, pág. 35).

2.1.6. Cemento

El cemento Portland que satisface las normas ASTM C150, C595, ó C1157, se usa como el aglomerante principal. También pueden usarse materiales suplementarios como la ceniza volante, el cemento de escoria, y el humo de sílice, los cuales deben de satisfacer los requisitos de las normas ASTM C618, C989, y C1240, respectivamente Una mayor dosis de cemento generará un concreto más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo este su capacidad de infiltración. (Bueno Uribe, y otros, pág. 17).

2.1.7. Dosis de cemento

Una mayor dosis de cemento generará un hormigón más resistente, pero demasiado cemento disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el hormigón, perdiendo su capacidad de infiltración. Se ha reportado como recomendable una dosis que fluctúe en el intervalo 350-400 kg/m³, según requisitos de resistencia y permeabilidad. (Cabello, Zapata, Pardo, Romo, & Campuzano, 2015, pág. 41).

2.1.8. Agua

La calidad del agua para el concreto permeable está gobernada por los mismos requisitos que para el concreto convencional, en el ACI 301. Como una norma general, el agua que es potable es adecuada para usarla en el concreto. Los concretos permeables deben ser proporcionados con una relación de agua-cemento relativamente baja (0.30 a 0.40), ya que una cantidad excesiva de agua conducirá a drenar la pasta y el atascamiento de sistema de poros. (Bueno Uribe, y otros, pág. 17).

2.1.9. Agregados

El concreto permeable no contiene agregado fino, o tal vez muy poco; y el agregado grueso utilizado debe ser de tamaño uniforme. Comúnmente las granulometrías de agregado grueso utilizadas deben de cumplir con la norma ASTM C33, estas son: (3/4" a N° 4), (3/8" a N° 16), o (3/8" a N° 50). La norma ASTM D448 también puede ser usada para definir las granulometrías. Los agregados grandes proporcionan una superficie más porosa. Las granulometrías del agregado usadas en el concreto permeable generalmente son, ya sea de agregado grueso de un solo tamaño o granulometría de entre 3/4 y 3/8 de pulgada (19 y 9.5 mm). (Bueno Uribe, y otros, pág. 17).

2.1.10. Aditivos

Se utilizan aditivos químicos en el concreto permeable para obtener propiedades especiales como las que podemos encontrar en el concreto convencional. Por el tiempo de fraguado rápido, asociado al concreto permeable se utilizan retardadores o aditivos estabilizadores de hidratación. La utilización de aditivos químicos debe seguir las recomendaciones del fabricante. (Bueno Uribe, y otros, pág. 17).

2.1.11. Tamaño máximo de la partícula

Tamaño máximo

Se define como la abertura del menor tamiz por el cual pasa el 100 % de la muestra (ConstruAprende, s.f.)

Tamaño máximo nominal

Está definido como el siguiente tamiz que le sigue en abertura (mayor) a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15 % o mas (ConstruAprende, s.f.).

2.2. PARÁMETROS DE RESISTENCIAS

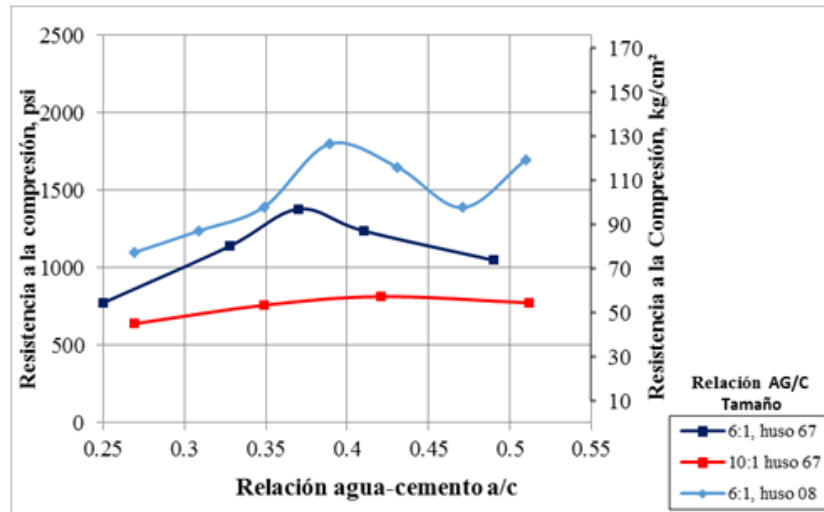
El concreto permeable es un material carente de una normativa específica que regule su composición y propiedades. Ante esta ausencia de estándares, se hace necesario recurrir a fuentes bibliográficas y estudios previos para establecer directrices en su aplicación y perfeccionamiento. Por consiguiente, se requiere la consulta y orientación de publicaciones científicas y técnicas reconocidas para garantizar la calidad y eficacia del concreto permeable que se mencionan a continuación.

Según el ACI 522R-10 (2010): El contenido de vacíos de un concreto permeable debe estar entre el rango de 15 a 35% y la resistencia a la compresión debe oscilar entre 2.8 a 28 MPa (400 a 4000 psi). La capacidad de infiltración de un concreto permeable varía debido al tamaño de agregado y a la densidad del mismo, pero generalmente está en el intervalo de 81 a 730 L/min/m² (2 a 18 gal/min/pies²). Para pavimentos se deben encontrar resistencias entre los 70 y 280 kg/cm², pero se recomienda tomar la media desde 105 – 280 kg/cm².

La resistencia a la flexión en concretos permeables generalmente se encuentra en el rango de 10.5 kg/cm² y 40 kg/cm².

Debido a que aún no existe un comité o norma que estandarice el ensayo de resistencia a la compresión para un concreto permeable, se utilizará y ensayará bajo los términos de la norma ASTM C39 o NTP 339.034 para el concreto convencional.

Figura 2. 1. Resistencia a la compresión y relación a/c



Fuente: Relación entre Resistencia a la compresión a los 28 días y la relación agua-cemento (ACI2113R, 1988)

Tabla 2. 1. Valores recomendados de resistencia del concreto según rango de tráfico

Características concreto poroso ACI 522 R10	Rango
Trafico liviano	105 – 280 Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

2.3. APLICACIÓN DEL CONCRETO POROSO

El pavimento poroso puede sustituir el pavimento convencional en áreas de estacionamiento, áreas con tráfico ligero, y los hombros de las calles de rodaje del aeropuerto, siempre y cuando las calidades, los subsuelos, las características del drenaje y las condiciones del agua subterránea sean adecuados. Las pendientes deben ser planas o muy suaves. Los suelos deben tener tasas de permeabilidad verificadas en el campo de más de 1,3 centímetros por hora, y debe haber una distancia mínima de 1,2 metros desde el fondo del sistema hasta el lecho rocoso o la capa freática. (Principe Ramos, 2018, pág. 10).

Entre la amplia gama de aplicaciones para el concreto permeable se tienen:

- Vialidades de tráfico ligero.
- Áreas de estacionamiento.
- Andadores, banquetas y ciclo vías.
- Patios y jardines.
- Capas rígidas de drenaje bajo áreas exteriores.
- Aplicaciones en muros estructurales en donde se requieren características de peso ligero o de mejor aislamiento térmico, o ambos.
- Pavimentos, muros y pisos en donde se desean mejores características de absorción acústica.
- Capas de base para las calles urbanas, carreteras municipales, caminos particulares y aeropuertos.
- Zonas de lavado de autos.
- Lechos de sedimentos en plantas para el tratamiento de aguas negras.
- Estructuras de playas y muros marinos (escolleras, rompeolas, etc.).
- Terraplenes de puentes.
- Capas de superficie de losas deportivas.

La norma ACI 522R-10 “Reporte en concreto permeable” recomienda la colocación del concreto permeable en áreas de alta permeabilidad, suelo natural con una gran conductividad hidráulica. Además, las áreas no deberán tener pendientes mayores al 5%. En general, en todas estas aplicaciones se utiliza concreto permeable sin refuerzo, por el alto riesgo de corrosión del acero de refuerzo debido a la estructura porosa de este material (Principe Ramos, 2018, pág. 11).

Figura 2. 2. Aplicaciones del concreto poroso



Fuente: (CUBREPACK, 2020)

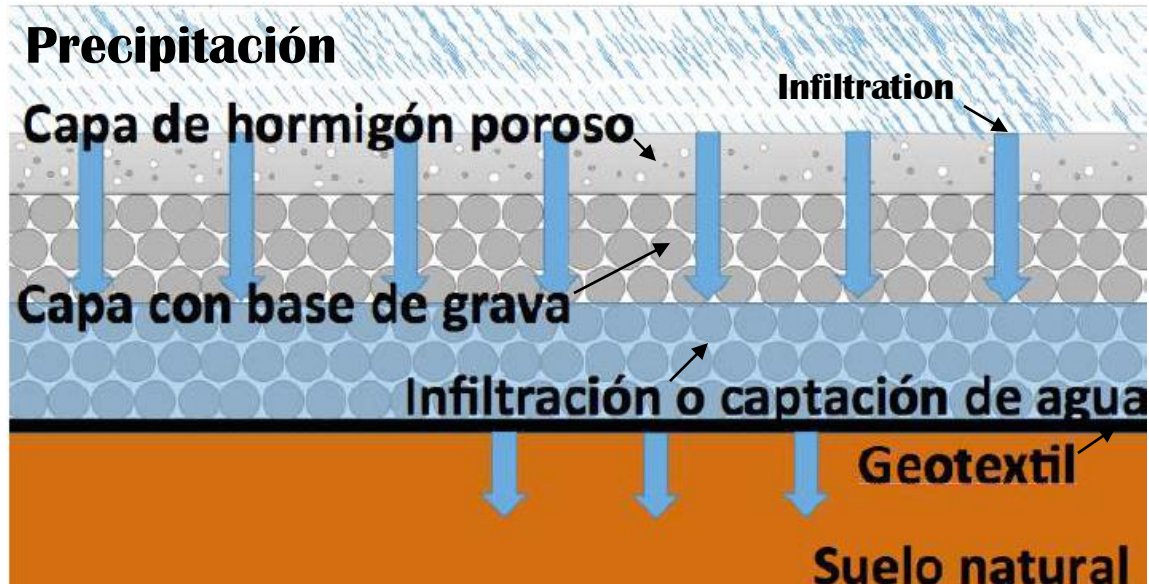
2.3.1. Ventajas y desventajas del concreto poroso

Ventajas.

- Se eliminan los charcos y con ello el hidropelano de los vehículos hace más segura la vía.
- Se disminuye apreciablemente el ruido del motor de los vehículos, reduciendo la contaminación auditiva.
- Permite la optimización de los drenajes para lluvia, pero en ocasiones los elimina.
- Las estructuras no requieren de inclinación para la evacuación del agua.
- 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.
- Se puede elaborar tanto en obra como en plantas de concreto premezclado.
- Su costo es bastante competitivo.
- Reduce la temperatura de la superficie disminuyendo el efecto de “isla de calor urbano”.

- Aporta puntos en la certificación LEED.
- Reduce los picos de caudal de escorrentía, generados por el agua lluvia en áreas urbana impermeables.
- Ayuda a mejorar la recarga del agua subterránea y el crecimiento de árboles y vegetación, además de favorecer la aireación del suelo. (Toxement, 2017, pág. 1).

Figura 2. 3. Funcionamiento del concreto poroso



Fuente: Estudio de superficies urbanas multifuncionales de hormigón poroso (Elizondo Martínez, 2020)

Desventajas

Sin embargo, hay que reconocer que el concreto permeable tiene algunas desventajas, como la pérdida de permeabilidad con el paso del tiempo al taparse los espacios vacíos con material fino, por lo que requiere un mantenimiento a base de agua a presión y aspiradora, y menor resistencia al desgaste que el concreto convencional, solamente debe colocarse en zonas de tránsito ligero. (Pérez Ramos, pág. 2).

2.3.2. Instalación del concreto permeable

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 (ASTM D 1557). 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-compactarlas.

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 ancho (Toxement, 2017, pág. 4).

2.3.3. Curado

Retener la humedad en el pavimento de concreto poroso construido es esencial para obtener durabilidad y desempeño a largo tiempo. 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, pág. 4).

2.3.4. Mantenimiento del concreto permeable

Requiere de un mantenimiento riguroso, a fin de evitar la colmatación y conservar sus características benéficas. El cual debe incluir limpieza de la superficie para eliminar

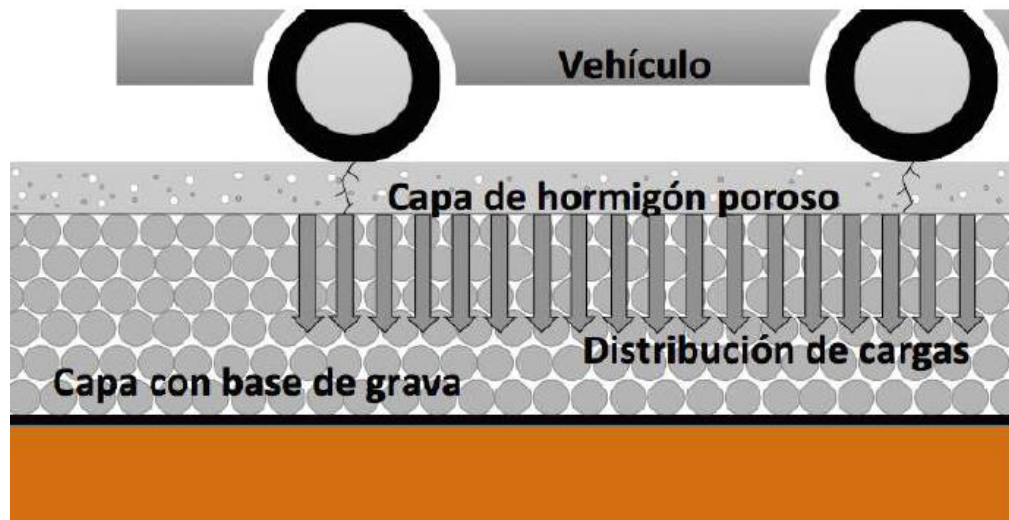
plantas, tierra o cualquier elemento que pueda impedir la permeabilidad del agua a través de la superficie de concreto.

Se puede establecer una base, mediante el dato de la permeabilidad medida bajo ASTM C1701, luego de la instalación para determinar los requerimientos de limpieza y mantenimiento y la frecuencia requerida (Toxement, 2017, pág. 5).

2.3.5. Propiedades mecánicas

Las mezclas de hormigón adquieren cerca del 70% de su resistencia durante los primeros siete días, incrementando al 85% a los catorce días, para finalmente, según lo esperado, alcanzar el 100% de su capacidad a los veintiocho días. Es de importancia realizar el curado de una manera correcta de lo contrario la mezcla puede perder hasta un 30% de su resistencia (Elizondo Martínez, 2020, pág. 54).

Figura 2. 4. Esquema de distribución de cargas de un pavimento de hormigón poroso



Fuente: Estudio de superficies urbanas multifuncionales de hormigón poroso (Elizondo Martínez, 2020)

2.3.6. Propiedades superficiales

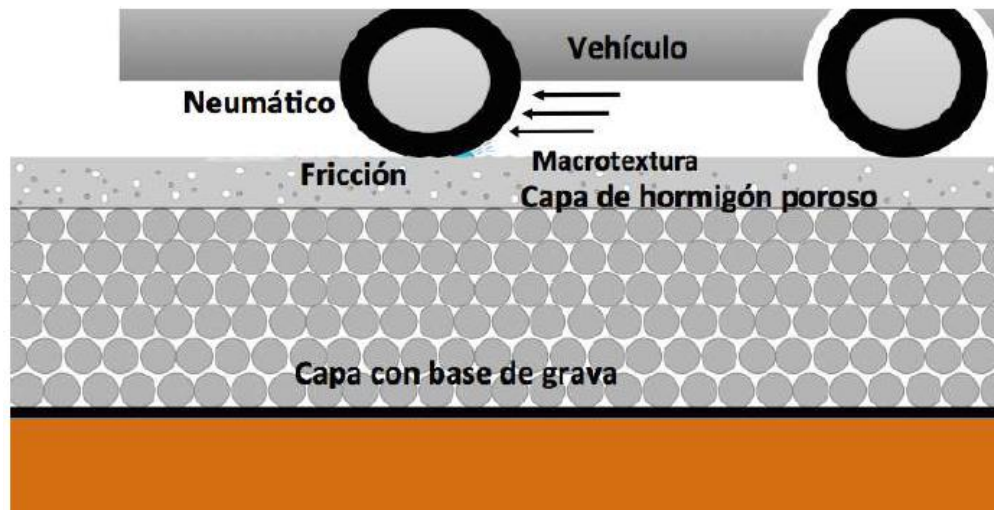
La resistencia al deslizamiento (RD) está íntegramente relacionada con la textura de la superficie del pavimento.

Gracias a la fricción que ocurre entre el pavimento y los neumáticos del vehículo, los conductores logran dirigir, frenar, acelerar y permanecer dentro de la autopista. Por

consiguiente, se pueden identificar tres escenarios que afectan a los valores de la resistencia al deslizamiento: pavimento seco, húmedo (mojado) o congelado (hielo).

La microtextura controla los valores de la resistencia al deslizamiento principalmente a velocidades bajas, mientras que la macrotextura lo hace a velocidades altas (Elizondo Martínez, 2020, pág. 56).

Figura 2. 5. Esquema de la capacidad de resistir el deslizamiento de un pavimento de hormigón poroso.



Fuente: Estudio de superficies urbanas multifuncionales de hormigón poroso (Elizondo Martínez, 2020)

2.3.7. Propiedades del concreto permeable

Las propiedades del concreto permeable dependen de sus materiales, diseño de mezclas y proceso constructivo, pero generalmente a partir del contenido de material cementante (c), la relación agua-cemento (a/c), el nivel de compactación, la gradación del agregado y su calidad (Principe Ramos, 2018, pág. 15).

2.3.7.1. Propiedades del concreto permeable en estado fresco

a) Peso unitario

El peso unitario (peso volumétrico, densidad o masa unitaria) del concreto permeable en estado fresco varía entre el 70% y 85% de una mezcla fresca de concreto convencional. Oscilando entre 1,600 a 2,000 kg/m³, dependiendo del porcentaje de vacíos de diseño del mismo (Principe Ramos, 2018, pág. 15).

b) Revenimiento (slump)

El revenimiento o asentamiento generalmente es usado para medir la consistencia de una mezcla de concreto fresco. Cuanto mayor sea este, implica que más húmeda es la mezcla. El procedimiento de la realización de este ensayo está descrito en la norma ASTM C143. Sin embargo, la mezcla del concreto permeable se caracteriza por ser de “cero slump” y al ser medido generalmente se obtienen valores de 0 a 1 cm (Principe Ramos, 2018, pág. 16).

c) Contenido de vacíos (porosidad)

El contenido de vacíos se calcula como porcentaje de aire, y está directamente relacionado con el peso unitario de una mezcla dada de concreto permeable. El contenido de vacíos es altamente dependiente de varios factores: gradación del agregado, el contenido de material cementante, la relación agua-cemento (a/c) y el nivel de compactación.

La energía de compactación aplicada en la elaboración de un concreto permeable influye de sobremanera en el porcentaje de vacíos y por consiguiente en su peso volumétrico. En una serie de pruebas de laboratorio (Meininger, 1988), para una sola mezcla de concreto permeable, compactado con ocho niveles diferentes de esfuerzo, los valores de peso de unidades producidas, variaban desde 1680-1920 kg/m³.

Conforme la magnitud de la porosidad incrementa la resistencia a la compresión que desarrolla un concreto permeable disminuye. En cambio, si la porosidad disminuye la resistencia aumenta. Estudios han demostrado que el porcentaje de vacíos para concretos permeables se encuentran entre 14% a 31%. Utilizándose en general un porcentaje de vacíos entre 15% a 25% para obtener resistencias mayores a 140 kg/cm². En la figura se muestra la estructura interna del concreto permeable. (Principe Ramos, 2018, pág. 16)

Figura 2. 6. Estructura interna del concreto permeable



Fuente: Comportamiento del concreto permeable con 20% de vacíos utilizando agregado grueso de tres canteras - Huaraz (Principe Ramos, 2018)

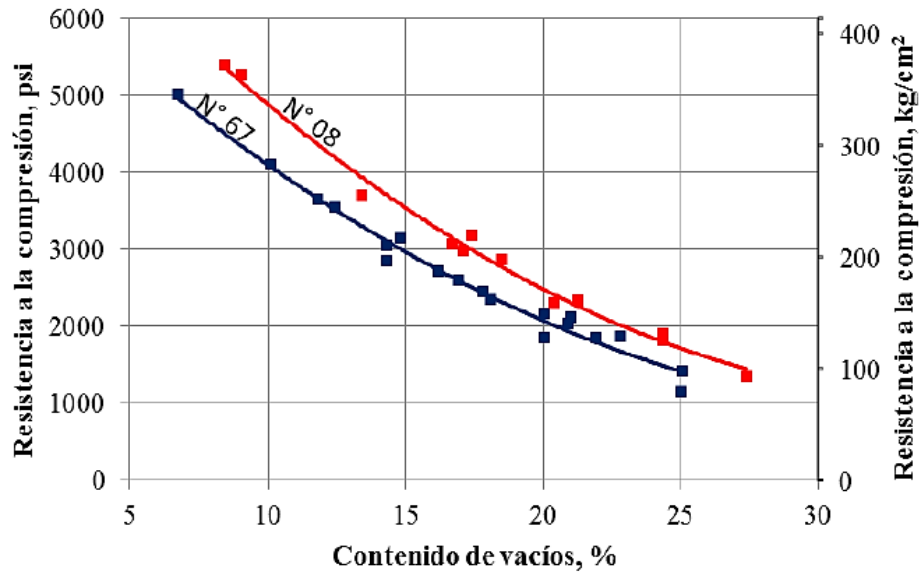
2.3.7.2. Propiedades del concreto permeable en estado endurecido

a) Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión puede ser definida como la máxima medida de resistencia que ofrece un espécimen de concreto a una carga axial. Esta se determina de acuerdo a lo estipulado en la norma ASTM C39.

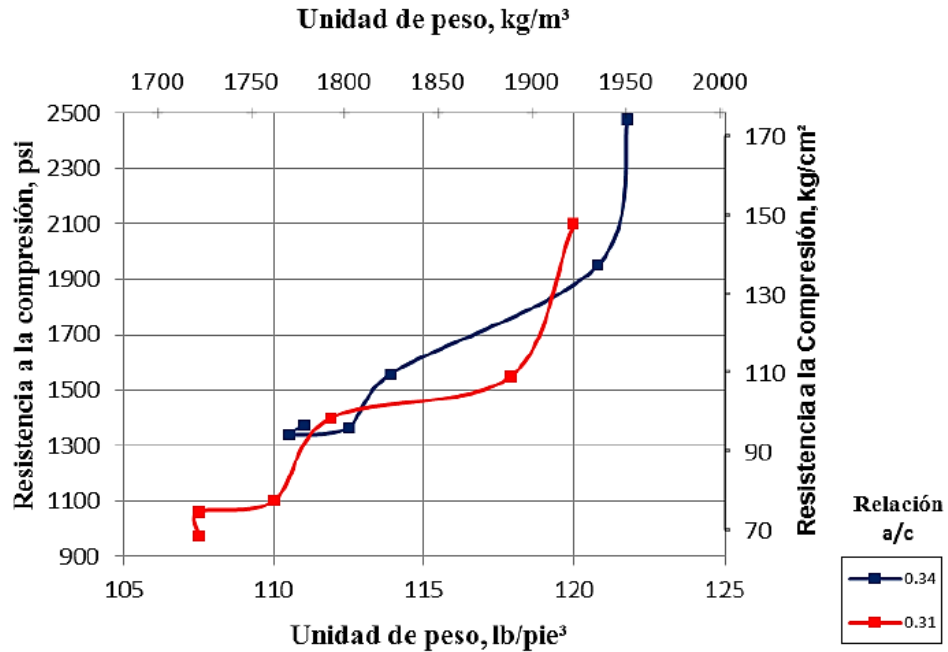
La resistencia a la compresión que desarrolla el concreto permeable está fuertemente afectada por el esfuerzo de compactación durante la colocación. En la Figura 2.6, Meininger muestra la relación entre la resistencia a la compresión del concreto permeable y el contenido de vacíos. La figura se basa en los resultados de una serie de ensayos de laboratorio, considerando dos tamaños de agregado grueso para un esfuerzo de compactación (Principe Ramos, 2018, pág. 17).

Figura 2. 7. Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión



Fuente: Comportamiento del concreto permeable con 20% de vacíos utilizando agregado grueso de tres canteras - Huaraz (Principe Ramos, 2018)

Figura 2. 8. Resistencia a la compresión a los 28 días vs Peso Unitario

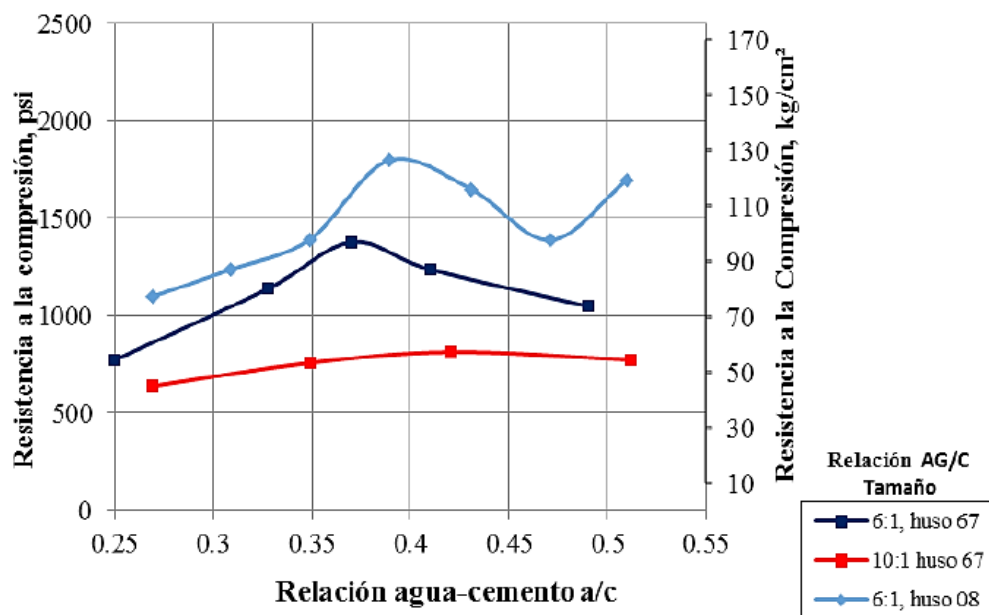


Fuente: Comportamiento del concreto permeable con 20% de vacíos utilizando agregado grueso de tres canteras - Huaraz (Principe Ramos, 2018)

La Figura 2.7. Muestra una relación entre la resistencia a la compresión del concreto permeable y el peso de la unidad. La figura se basa en otra serie de pruebas de laboratorio donde fue utilizado un tamaño de agregado grueso y un esfuerzo de compactación, variándose la relación de agua-cemento (a/c) (Principe Ramos, 2018, pág. 18).

La Figura 2.8 muestra que resistencias a la compresión relativamente altas del concreto permeable son posibles, con relaciones agua-cemento (a/c) aproximadamente de 0.40, y con gradaciones de agregado grueso de menor tamaño (Principe Ramos, 2018, pág. 19).

Figura 2. 9. Relación entre resistencia a la compresión a los 28 días y la relación agua y cemento



Fuente: Comportamiento del concreto permeable con 20% de vacíos utilizando agregado grueso de tres canteras - Huaraz (Principe Ramos, 2018)

Los valores típicos de resistencias a la compresión, según antecedentes se encuentran al alrededor de 175 kg/cm². La resistencia a la compresión en campo estará supeditada a la calidad de los materiales empleados, técnicas de colocación y condiciones ambientales, de manera similar a cualquier tipo de concreto. Para mejorar la resistencia a la compresión desarrollada por el concreto permeable, se deben mejorar: La resistencia de la pasta, y la cohesión entre el agregado y la pasta. Esto es posible con la utilización de

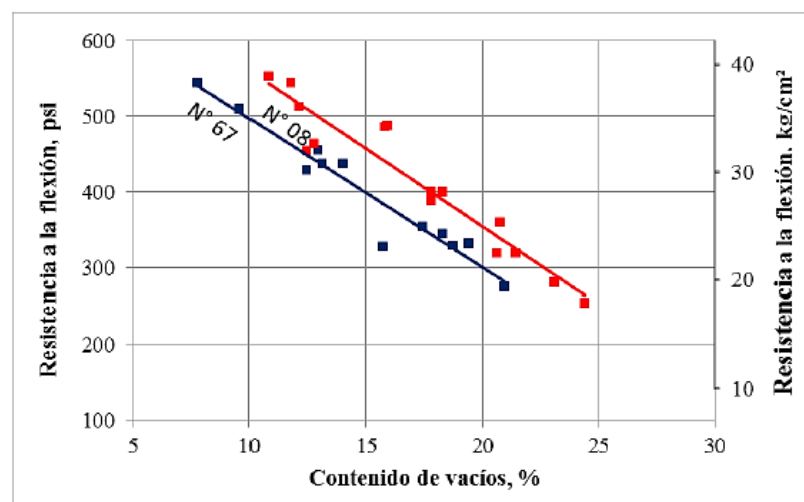
agregados gruesos con menores tamaños y/ usando aditivos o materiales adicionales en la mezcla.

b) Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión es una de las características técnicas más importantes que presenta el concreto permeable, debido a que su resistencia a la flexión es mejor que la del concreto hidráulico convencional, comúnmente es 30% de la resistencia a la compresión, es decir, relativamente más alta que en el concreto convencional. La resistencia a la compresión la cual es más fácil de medir que la resistencia a la flexión, se puede usar como un índice de la resistencia a la flexión, una vez que la relación empírica entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados.

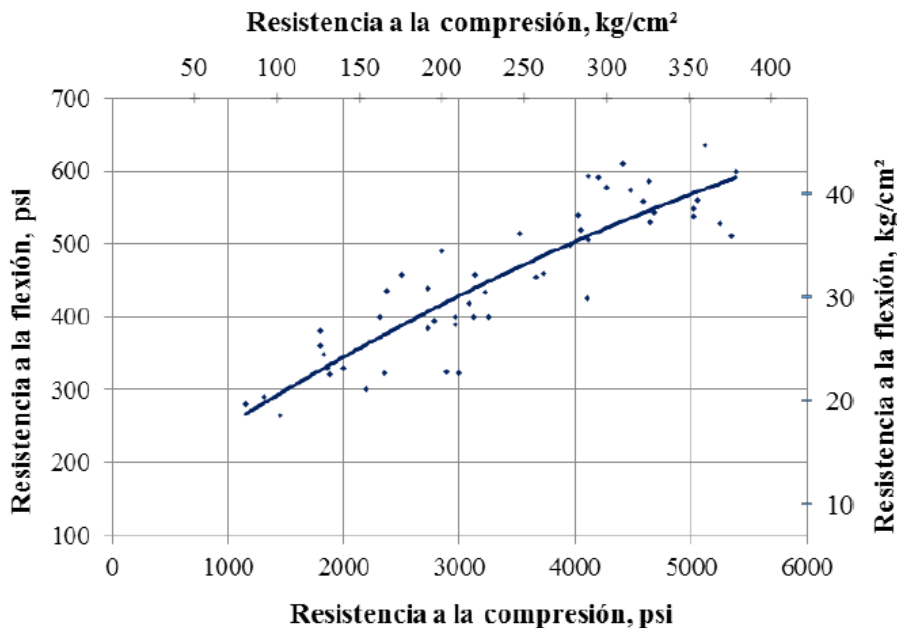
En la Figura 2.9, Meininger muestra la relación entre la resistencia a la flexión del concreto permeable y el contenido de vacíos basado en muestras de vigas ensayadas en la misma serie de pruebas de laboratorio descritos para la Figura. 2.10. Aunque estos resultados se basan en un número limitado de muestras, comparando los datos de la Figura. 2.9 y 2.10, se puede observar que existe una relación entre la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto permeable.

Figura 2. 10. Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la flexión para el concreto permeable



Fuente: Comportamiento del concreto permeable con 20% de vacíos utilizando agregado grueso de tres canteras – Huaraz (Príncipe Ramos, 2018)

Figura 2. 11. Relación entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión para el concreto permeable



Fuente: Comportamiento del concreto permeable con 20% de vacíos utilizando agregado grueso de tres canteras – Huaraz (Principe Ramos, 2018)

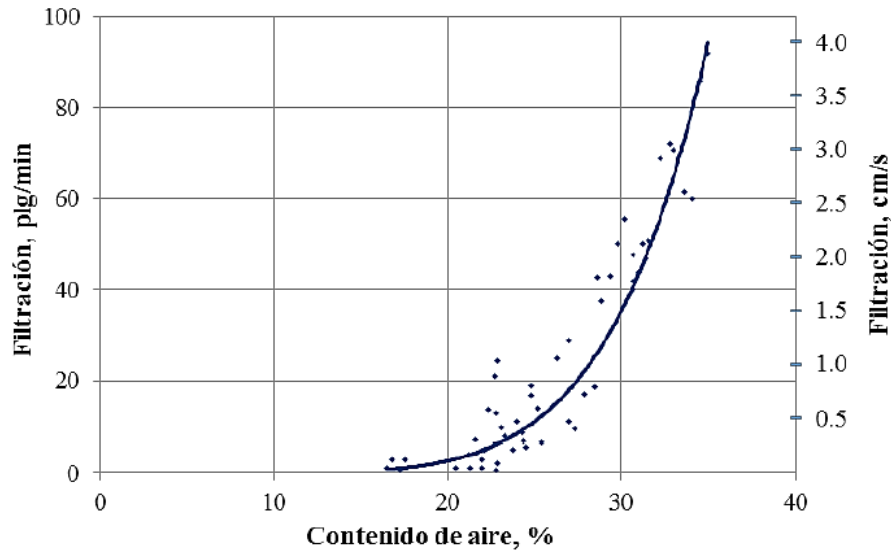
La resistencia a la flexión en concretos permeables generalmente se encuentra en el rango de 10.5 kg/cm² y 40 kg/cm². Existen varios factores que influyen en la resistencia a la flexión, principalmente el grado de compactación, porosidad, y la relación agregado-cemento (AG/C) (Principe Ramos, 2018, pág. 22).

c) Permeabilidad

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar agua a través de su matriz, y su magnitud es medida por la tasa de filtración. La tasa de filtración del concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de vacíos. Las pruebas han demostrado (Meininger 1988) que se requiere un mínimo contenido de vacíos de aire de aproximadamente 15% para lograr una filtración significativa. La Figura 2.11 (Meininger 1988) muestra la relación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración de una mezcla de concreto permeable. Debido a que las tasas de filtración aumentan a medida que el contenido de vacíos aumenta, y, en consecuencia, la resistencia a la compresión disminuye, el reto en la dosificación de

mezcla de concreto permeable es lograr un equilibrio entre una tasa de percolación y una resistencia a la compresión aceptables (Principe Ramos, 2018, pág. 23).

Figura 2. 12. Relación entre el contenido de aire y la tasa de percolación



Fuente: Comportamiento del concreto permeable con 20% de vacíos utilizando agregado grueso de tres canteras – Huaraz (Principe Ramos, 2018)

La capacidad de filtración del concreto permeable normalmente se encuentra en el rango de 0.2 a 0.54 cm/s). Para que se pueda asegurar el flujo del agua se recomienda al menos el 15% del contenido de vacíos (Meininger, 1988).

d) Absorción acústica

Debido a la presencia de un gran volumen de poros interconectados de tamaños considerables en el material, el concreto permeable es altamente eficaz en la absorción acústica. El material puede ser empleado como un medio para reducir el ruido generado por interacción neumático-pavimento en pavimentos de concreto. La reducción del ruido se produce debido a la combinación de la menor generación de este y una mayor absorción de sonido. Los pavimentos permeables alteran la generación de ruido, minimizando el bombeo del aire entre el neumático y la superficie del pavimento. Además, los poros absorben el sonido a través de la fricción interna entre el moviendo de las moléculas de aire y las paredes de los poros. El coeficiente de absorción “a” es una medida de la capacidad de un material de para absorber el sonido. Un material con un coeficiente de absorción de 1,0 indica un material puramente absorbente, mientras

que un material con un coeficiente de absorción de 0 indica que el material es puramente reflectante. El concreto convencional, por ejemplo, tiene típicamente un coeficiente de absorción de 0.03 a 0.05 (Neithalath, Weiss y Olek, 2005). El concreto permeable tiene típicamente un intervalo de absorción de 0.1 (para mezclas con mal desempeño) a casi 1,0 (para mezclas con volumen óptimo de poros). El coeficiente de absorción depende de la frecuencia de las ondas sonoras que inciden, y por lo tanto, es importante seleccionar un espesor de concreto permeable adecuado a fin de minimizar sonidos de la frecuencia deseada (Principe Ramos, 2018, pág. 24).

e) Durabilidad

La durabilidad del concreto permeable se refiere a la vida útil bajo las condiciones ambientales dadas. Los efectos físicos que influyen negativamente en la durabilidad del concreto incluyen la exposición a temperaturas extremas y los productos químicos, tales como sulfatos y ácidos. No se han realizado investigaciones sobre la resistencia de concreto permeable al ataque agresivo por los sulfatos o agua ácida; la durabilidad del concreto permeable bajo condiciones de congelación – descongelación, tampoco está bien documentada (ACI 211.3R., 2011).

f) Resistencia a la congelación y deshielo

Se desea que el concreto permeable empleado en pavimentos cumpla con su vida útil y necesite poco mantenimiento. La durabilidad que presente el concreto permeable debería permitirle resistir las condiciones y solicitaciones tomadas en cuenta al momento de diseñarlos. La influencia de los ciclos de hielo y deshielo mientras el concreto esté saturado, es principalmente el agente más destructivo.

Cuando el agua se congela, se expande en aproximadamente un 9 %. El crecimiento de cristales de hielo expandidos desplaza el agua. Si los microporos en la pasta están saturados o casi saturados durante el proceso de congelación, entonces la presión hidrostática se acumula cuando la congelación progresa.

Las pruebas en condiciones de congelación y descongelación indican poca durabilidad si toda la estructura de vacíos del concreto permeable se encuentra llena con agua. Ciclos de congelación lento (un ciclo por día – ASTM C 666), permiten que el agua presente en el concreto permeable drene, mejorando la durabilidad del mismo. Se debe tener

precaución, cuando se utiliza el concreto permeable en condiciones en las que su estructura esté saturada completamente antes de que pueda producirse una helada. Las pruebas indican que la incorporación de aire en la pasta de cemento puede mejorar la durabilidad del concreto permeable ante la congelación y descongelación. (ACI 522R-10, 2010).

Para que el concreto permeable mejore su resistencia a los procesos de hielo y deshielo el ACI 522R-10 recomienda:

- Utilizar espesores de capa de 20 a 60 cm en bases granulares sin finos, por debajo del concreto permeable.
- El concreto permeable que está parcialmente saturado debería tener suficientes huecos para el desplazamiento del agua, obteniendo así una buena resistencia a la congelación y deshielo.
- Garantizar el rápido drenado del concreto permeable, evitando la saturación.

g) Resistencia a los sulfatos

Muchos sulfatos presentes en el suelo y en el agua pueden atacar y destruir un concreto permeable o convencional que no fue adecuadamente diseñado. Los sulfatos (por ejemplo, sulfato de calcio, sulfato de sodio y sulfato de magnesio) pueden atacar un concreto pues éstos reaccionan con los compuestos hidratados en la pasta de cemento.

Estas reacciones pueden crear presiones suficientes para romper la pasta del cemento, resultando en desintegración del concreto (pérdida de cohesión de la pasta y de resistencia). El sulfato de calcio ataca el aluminato de calcio hidratado y forma etringita. Luego, el sulfato de sodio reacciona con el hidróxido de calcio y aluminato de calcio hidratado, formando etringita y yeso. El sulfato de magnesio ataca, de manera similar, al sulfato de sodio y forma etringita, yeso y también brucita (hidróxido de magnesio). La brucita se forma en primer lugar en la superficie del cemento, consume el hidróxido de calcio, baja el pH en la solución de los poros y entonces descompone el silicato de calcio hidratado.

Por presentar una estructura abierta, el concreto permeable es más susceptible, al ataque sobre una gran área. La utilización de concreto permeable en áreas donde existan alto

contenido de sulfatos y agua contaminada puede ser posible siempre y cuando se encuentre aislado de estos.

La colocación del concreto permeable sobre una base de 15 cm. Con tamaño máximo de agregados de 25 mm proporciona una base para el pavimento, almacenamiento de las aguas de lluvia, y aislamiento para el concreto permeable (Principe Ramos, 2018, pág. 26).

h) Resistencia a la abrasión

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas son expuestos a abrasión o al desgaste, por lo que en estas aplicaciones el concreto permeable necesita tener alta resistencia a abrasión. Resultados de pruebas indican que la resistencia a la abrasión está relacionada directamente con la resistencia a la compresión del concreto. Un concreto con mayor resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión, que el concreto con menor resistencia a la compresión.

Debido a que en el concreto permeable la textura de la superficie es más áspera y presenta una estructura abierta; la abrasión y desintegración de las partículas de agregados puede ser un problema.

El tipo de agregado y el acabado realizado en la superficie del concreto permeable tienen gran influencia. Los agregados duros presentan mayor resistencia a la abrasión que los agregados blandos y una superficie con una terminación alisada presenta mejor comportamiento que otra que cuyo acabado es irregular. En general en los pavimentos de concreto permeable que han sido puestos en servicio, a las pocas semanas, éstos tendrán menor cantidad de agregados sobre su superficie, debido a que estas partículas son desprendidas de la superficie y desalojadas por el tráfico. Después de pocas semanas, la desintegración de la superficie disminuye considerablemente, permaneciendo la superficie del pavimento más estable. Una compactación y técnicas de curado adecuadas pueden reducir la ocurrencia de la desintegración de la superficie (Principe Ramos, 2018, pág. 27).

2.4. MÉTODO DE DISEÑO DE LA MEZCLA POROSA

2.4.1. Según ACI 522-10 – reporte sobre concreto permeable

El capítulo 6 del Comité ACI 522-10 provee métodos para proporciones de concreto permeable que pretende ser utilizado para pavimentos y otras aplicaciones donde el drenaje, filtración y alta porosidad es requerida. (Espinoza Pérez & López Antón, 2018, pág. 87).

El Método b/bo para diseñar mezclas de concreto permeable puede ser dividido en una serie de ocho pasos:

- 1) Determinación del peso del agregado.
- 2) Ajustar el peso en estado Saturado Superficialmente Seco (SSS).
- 3) Determinación del volumen de la pasta.
- 4) Determinación del contenido cementante.
- 5) Determinación del contenido de agua.
- 6) Determinación del volumen sólido.
- 7) Evaluar el contenido de vacíos.
- 8) Bachadas de prueba iterativas:
 - a. Ensayo para propiedades requeridas.
 - b. Ajuste de proporciones de mezcla hasta que se logre el rendimiento requerido.

2.4.2. Granulometría del concreto permeable

Los materiales que intervienen en la fabricación de concreto permeable no difieren de los utilizados para un concreto convencional excepto cuando la utilización de agregado fino está limitada casi en su totalidad.

Figura 2. 13. Husos granulométricos para poder realizar los diseños de mezclas (ASTMC 133, 1999)

Tamaño Número	Tamaño Nominal (Tamices con Abertura Cuadrada)	Cantidades mas finas que cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), % en peso													
		100 mm (4")	90 mm (3 1/2")	75 mm (3")	63 mm (2 1/2")	50 mm (2")	37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 a 37.5 mm (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 15						
2	63 a 37.5 mm (2 1/2" a 1 1/2")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15						
3	50 a 25.0 mm (2" a 1")				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15					
357	50 a 4.75 mm (2" a N° 4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 15			
4	37.5 a 19.0 mm (1 1/2" a 3/4")					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 15				
467	37.5 a 4.75 mm (1 1/2" a N° 4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 15			
5	25.0 a 12.5 mm (1" a 1/2")						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 15				
56	25.0 a 9.5 mm (1" a 3/8")						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	25.0 a 4.75 mm (1" a N° 4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	19.0 a 9.5 mm (3/4" a 3/8")							100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	19.0 a 4.75 mm (3/4" a N° 4)							100	95 a 100		20 a 55	5 a 10	0 a 5		
7	12.5 a 4.75 mm (1/2" a N° 4)								100	95 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	9.5 a 2.36 mm (3/8" a N° 8)									90 a 100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	9.5 a 1.18 mm (3/8" a N° 16)									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 a 1.18 mm (N° 4 to N° 16)										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: ASTM D 448

En general, la utilización de agregado fino en la elaboración de concreto permeable no está permitida, porque tienden a comprometer la capacidad de conexión del sistema de poros, salvo en los casos en los que se desea tener una resistencia a los agentes agresivos contenidos en el agua pluvial. Este resultado se obtiene introduciendo en la mezcla una cantidad de arena entre 150 y 200 kg/m³.

2.4.3. Criterios de diseño de mezclas

Para el concreto permeable, las relaciones agregado-cemento (AG/C) y agua-cemento (A/C) son las principales variables que afectan a las propiedades mecánicas del mismo. Se ha considerado aceptable un amplio rango de valores de relaciones a/c, dependiendo de la aplicación específica. (Espinoza Pérez & López Antón, 2018, pág. 88).

La Tabla 2.1 muestra los rangos típicos del proporcionamiento de materiales en el concreto permeable y son solo valores de referencia.

Tabla 2. 2. Rangos típicos del proporcionamiento de materiales en el concreto permeable

Parámetro	Rango
Material cementante kg/cm ³	270 – 415
Agregado kg/cm ³	1190 – 1480
Relación agua-cemento en peso	0,26 – 0,45
Relación agregado-cemento en peso	4 – 4,5:1
Relación agregado fino-agregado grueso en peso	0 – 1:1

Fuente: Diseño de mezcla de concreto permeable con agregados del banco de préstamo Veracruz, cemento portland tipo GU (ASTM-C1157) y fibras de polipropileno para pavimentos rígidos.

2.4.3.1. Relación agua-cemento (A/C)

La relación a/c tiene un gran efecto en las propiedades de la mezcla obtenida. Si se utiliza una cantidad deficiente de agua se obtendrá como resultado una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia a la compresión. Una cantidad excesiva de agua ocasionará que la pasta selle los espacios vacíos de la mezcla, lavando los áridos y dejándolos expuestos. Por consiguiente, tendrán baja resistencia al desgaste. En el concreto permeable, el contenido de agua óptima produce una pasta de cemento totalmente húmeda con una alta viscosidad. Esta mezcla tendrá un aspecto metálico mojado o con brillo.

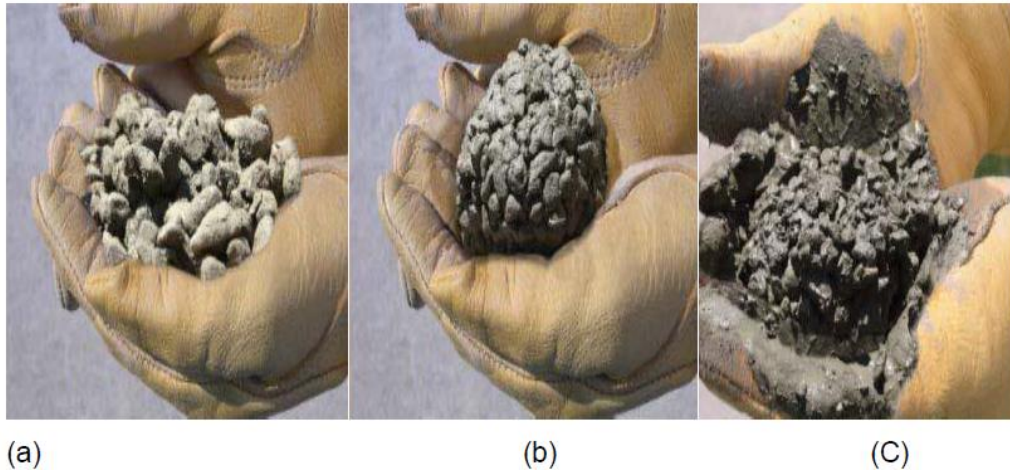
La elección de la relación a/c óptima depende principalmente de la gradación y las características físicas de los agregados gruesos y del volumen de materiales cementantes de la mezcla.

En el concreto permeable, la relación a/c para obtener la trabajabilidad necesaria por lo general cae dentro del rango de 0.26 a 0.45. La trabajabilidad del concreto permeable se supone que es satisfactoria si el agua suficiente mezcla, para impartir un aspecto metálico a la mezcla.

Al comprimir y soltar un puñado de la mezcla, esta no se deberá desmoronar ni la pasta debe fluir lejos de las partículas de agregado. La consistencia correcta se obtiene normalmente a través de un proceso de inspección, que asegura que cada mezcla contiene cemento suficiente pasta para recubrir las partículas gruesas con una película brillante, dándole un brillo metálico.

En la Figura 2.14 se muestran tres muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua, y apariencias diferentes (poca, adecuada y excesiva agua) (Espinoza Pérez & López Antón, 2018, pág. 90).

Figura 2. 14. Muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua: (a) con poca agua, (b) adecuada cantidad de agua, (c) con demasiada agua



Fuente: Diseño de mezcla de concreto permeable con agregados del banco de préstamo Veracruz, cemento portland tipo GU (ASTM-C1157) y fibras de polipropileno para pavimentos rígidos.

2.4.3.2. Relación agregado-cemento

Las relaciones agregado-cemento AG/C en general varían entre 4:1 a 4.5:1, pero esta relación depende fundamentalmente del tipo de agregado. Tanto la relación agua-cemento y la relación agregado-cemento deben satisfacer las características de permeabilidad, capacidad de carga y durabilidad. (Espinoza Pérez & López Antón, 2018, pág. 90).

2.4.3.3. Contenido de agregado grueso

Las pruebas de peso unitario seco-compactado de agregado grueso (b/bo) hecho por la National Aggregates Association – National Ready Mixed Concrete Association (NAA – NRMCA) muestra que el peso unitario seco-compactado del agregado grueso determinado de acuerdo con la norma ASTM C29 puede usarse en el proporcionamiento del concreto permeable.

Dónde:

b/bo= volumen seco compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

b = volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

bo = volumen de agregado grueso por unidad de volumen de agregado grueso.

El rango de valores de tamaño máximo nominal de agregados normalmente usados para el concreto permeable varía entre 3/8" a 3/4".

La norma ACI 211.3R, 1998 muestra una tabla de valores efectivos de b/bo para diferentes porcentajes de agregado fino (Méndez & Mosqueda, 2016, pág. 20).

Tabla 2. 3. Valores efectivos de b/bo

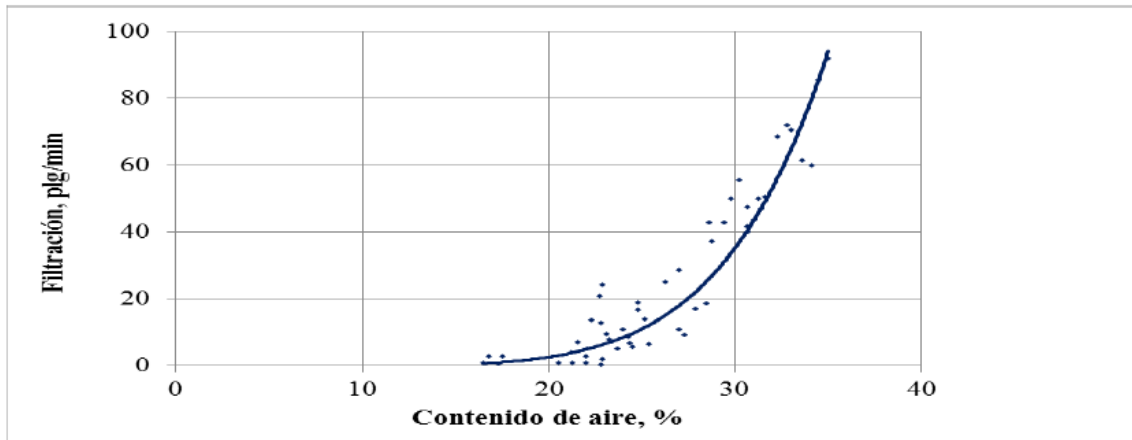
Porcentaje de agregado fino (%)	b/bo	
	N° 8 (3/8")	N° 67 (3/4")
0	0,99	0,99
10	0,93	0,93
20	0,85	0,86

Fuente: (ACI 211.3R.)

2.4.3.4. Elección del porcentaje de vacíos

La elección del porcentaje de vacíos depende de la velocidad de filtración de agua pluvial requerida, la cual se determina por la intensidad de evento de diseño (para un periodo de retorno y duración de evento), obtenido por datos históricos de precipitación en el lugar donde se colocará el pavimento permeable. La Figura 2.15 muestra la relación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración de una mezcla de concreto permeable. (Espinoza Pérez & López Antón, 2018, pág. 91).

Figura 2. 15. Relación entre el contenido de aire y la tasa de filtración



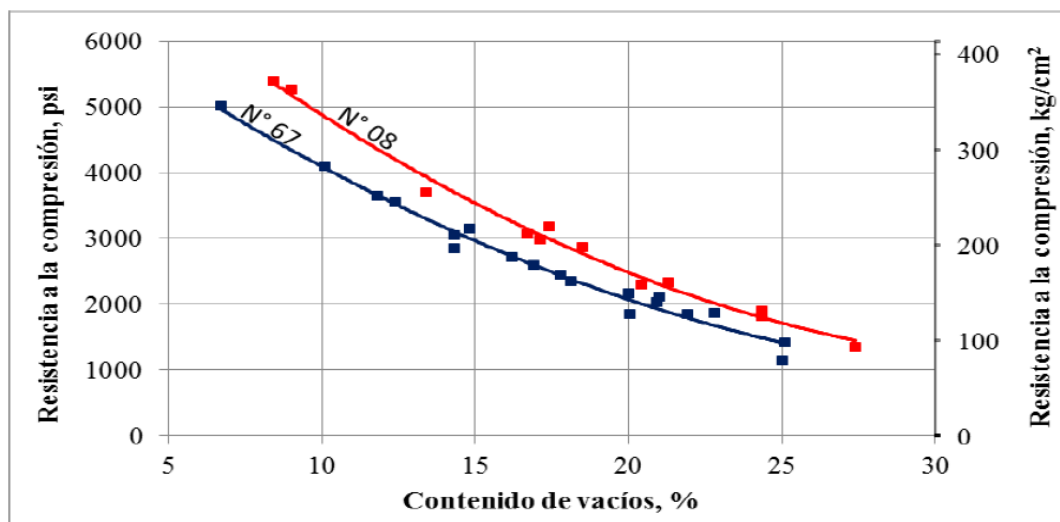
Fuente: (Adaptado de ACI 522R-10, ACI 211.3R-02)

2.4.3.5. Elección de la resistencia a compresión de diseño

Luego de haber determinado el porcentaje de vacíos, se puede suponer la resistencia a compresión de acuerdo a la gráfica de la Figura 2.16.

En este gráfico podemos observar los valores de resistencia a la compresión desarrollados a los 28 días por testigos de concreto permeable elaborados con dos tamaños estándar de agregado gruesos: N° 8 y N° 67. (Espinoza Pérez & López Antón, 2018, pág. 91).

Figura 2. 16. Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días para tamaños de agregados No. 67 y No. 8



Fuente: (Adaptado de ACI 522R-10, ACI 211.3R-02)

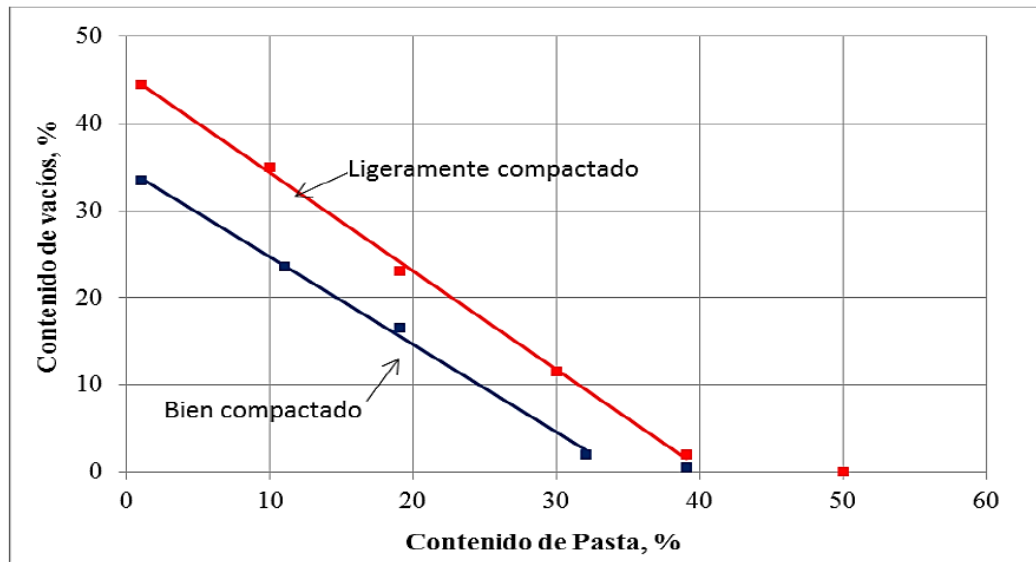
En la Figura 2.16 se observa que para un contenido de vacíos mínimo recomendado (15%) los valores de resistencia a la compresión desarrollados por testigos de concreto permeable elaborados con agregados gruesos de tamaños N° 8 y N° 67; varían alrededor de 210 kg/cm². De esta manera, podemos obtener valores de resistencias a compresión referenciales para el diseño.

2.4.3.6. Determinación del volumen de pasta

Luego de haber verificado las resistencias a compresión referenciales, se procede a calcular el volumen de pasta de acuerdo al (ACI 522R-10 y ACI-211.3R-02), en el cual, a partir del contenido de vacíos elegido, podemos obtener el porcentaje del volumen de pasta en la mezcla.

La Figura 2.17 muestra la relación entre el contenido de vacíos y el volumen de pasta necesario para concretos permeables elaborados con tamaño de agregado grueso No. 8. (Espinoza Pérez & López Antón, 2018, pág. 92).

Figura 2. 17. Relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de pasta para tamaños de agregados No. 8



Fuente: (Adaptado de ACI 522R-10, ACI 211.3R-02)

Una vez determinado el volumen de pasta necesario, se determinan los pesos de cemento y agua por metro cúbico de mezcla, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_p = V_c + V_a$$

Donde:

V_p= Volumen de pasta

V_c= Volumen de cemento

V_a= Volumen de agua

La ecuación puede ser expresada como:

$$V_p = \left(\frac{c}{PE_c} \right) + \left(\frac{a}{PE_a} \right)$$

Donde:

c= Peso del cemento por m³ de mezcla.

a= Peso del agua por m³ de mezcla.

PE_c= Peso específico del cemento.

PE_a= Peso específico del agua.

Cuando el agregado fino es utilizado, el volumen de pasta debe ser reducido en 2% por cada 10% del agregado fino del total del agregado para concreto permeable bien compactado y por cada 1% por cada 10% del agregado fino del total del agregado para concreto permeable ligeramente compactado. (ACI 211.3R-02). Estas reducciones son utilizadas para mantener el mismo porcentaje de vacíos por volumen. (Espinoza Pérez & López Antón, 2018, pág. 94).

2.4.3.7. Elección de la relación agua-cemento

En cuanto a la relación agua-cemento a/c, el reporte ACI 211.3R-02, recomienda utilizar una relación a/c entre 0.35 a 0.45; los que aseguran que la pasta recubra por completo todos los áridos, uniéndolos de tal forma que no comprometan la formación de poros y por ende su permeabilidad.

Un exceso de agua puede generar el colapso del sistema de poros que son lo más importante en este tipo de concreto ya que ellos son los que permiten el paso del agua.

Un déficit de agua produce una ligadura deficiente entre los áridos. (Espinoza Pérez & López Antón, 2018, pág. 95).

2.4.3.8. Método de volúmenes absolutos y corrección

Una vez obtenido el porcentaje de vacíos, volumen de pasta y la relación agua/cemento, se calcula la cantidad de cada material convirtiendo a un volumen absoluto por metro cubico en estado Saturado Superficialmente Seco (SSS) como se realiza en el concreto convencional, se corrige luego por humedad y se obtiene la cantidad de materiales por metro cubico para el diseño. (Espinoza Pérez & López Antón, 2018, pág. 95).

2.4.3.9. Corrección por humedad y absorción

El contenido de humedad, se refiere a la condición actual del agregado que por motivo de exposición al ambiente ha podido perder o ganar agua; el porcentaje de absorción es la capacidad que tiene el agregado de absorber agua. Entonces, si al contenido de humedad (condición presente en el vaciado) se le resta el porcentaje de absorción (capacidad de absorber agua), estamos conociendo la cantidad de agua que el agregado va absorber durante el vaciado, por la tanto, se sabe de la cantidad de agua que debemos retirar o adicionar del seco para corregirlo, teniendo: (Espinoza Pérez & López Antón, 2018, pág. 95).

%CH > % Abs: Se retira Agua en el diseño SSS.

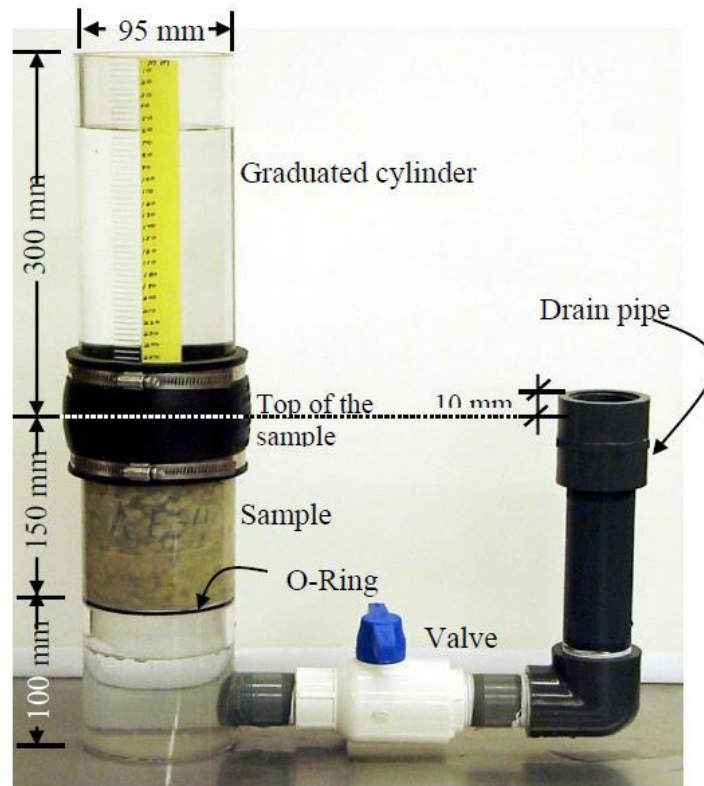
%CH < % Abs: Se adiciona Agua en el diseño SSS.

2.5. PERMEABILIDAD EN CONCRETOS POROSOS

2.5.1. Modelo para medir la permeabilidad

La recomendación dada en el ACI 522R-10, se habla de un permeámetro de carga variable utilizado en una investigación realizada por Neithalath, et al. (2006).

Figura 2. 18. Permeámetro de carga variable recomendado por el ACI 522R-10



Fuente: (ACI 211.3R., 2011)

El permeámetro construido para esta investigación consta de un tubo acrílico de 500 mm de largo con un diámetro interno de 56 mm, y un diámetro de 101,6 mm donde se ubica el espécimen que será sometido a prueba; una válvula de 12,7 mm de diámetro conectada bajo el espacio del espécimen lleva a una tubería vertical a través de la cual el agua puede drenarse fuera. La parte superior de este tubo está colocado 10 mm por encima de la parte superior de la muestra de modo que no se produce flujo no saturado durante la prueba.

2.5.2. Análisis hidrológico-hidráulico en pavimentos permeables

El análisis de desempeño de los pavimentos permeables desde el punto de vista hidrológico e hidráulico es realizado con base en los datos cuantitativos de los fenómenos inmersos en el balance hídrico, los cuales son colectados por los dispositivos de monitoreo. Tales fenómenos son: precipitación, escorrentía superficial, infiltración y

evaporación; y se dividen en variables de entrada, variables de salida y de almacenamiento.

El dimensionamiento de infraestructuras como los pavimentos permeables debe tener como punto de partida la caracterización del régimen pluviométrico de la zona de aplicación de los mismos. Habitualmente, los métodos hidrológicos de diseño adoptan criterios de extremos vinculados a períodos de retorno para la definición de los parámetros de diseño (caudales de pico de avenida fundamentalmente).

El diseño hidrológico e hidráulico del pavimento permeable debe tener en cuenta cuatro aspectos esenciales: (1) Estimar las características de filtración de la capa de pavimento, (2) determinar el volumen de almacenamiento (proporcionado por los poros de la sub base) para alcanzar tasas de rendimiento adecuadas, (3) estimar la necesidad, y en su caso cuantificar la capacidad del drenaje longitudinal adicional y (4) analizar la respuesta del pavimento ante eventos extremos de precipitación (Flores Quispe & Pacompia Calcina, 2015, pág. 55).

2.5.3. Estudios hidrológicos

La hidrología es la ciencia que investiga y estudia las propiedades y la distribución espacial y temporal del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, escorrentía, la humedad en el suelo y la evapotranspiración. En cuanto a los pavimentos permeables, los estudios hidrológicos son fundamentales para un correcto dimensionamiento de los mismos y un adecuado diseño de mezclas del concreto permeable utilizado en ellos, específicamente en la determinación del volumen de almacenamiento de los pavimentos permeables y contenido de vacíos de diseño del concreto permeable. (Flores Quispe & Pacompia Calcina, 2015, pág. 56).

La información hidrológica que se utilizará en esta investigación será proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Los datos caracterizados corresponden a los de la estación meteorológica ubicado en el Aeropuerto de la ciudad de Tarija, por lo que se adoptan como representativos para realizar el diseño de concretos permeables que serán utilizados en pavimentos de la ciudad de Tarija.

2.5.4. Precipitación

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua.

La precipitación se mide en términos de la altura de lámina de agua y se expresa comúnmente en milímetros. Los aparatos de medición se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el cual se recoge el agua producto de su precipitación, registrando su altura. Los aparatos de medición, se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones, en pluviómetros (generalmente con lecturas cada 24 horas) y pluviógrafos (que registran la altura de lluvia en función del tiempo, permitiendo determinar la intensidad de la precipitación). (Flores Quispe & Pacompia Calcina, 2015, pág. 56).

2.5.5. Infiltración

La velocidad con la que el agua es absorbida en el suelo se denomina la tasa de infiltración. Ésta mide la cantidad de tiempo que le toma a la tierra absorber un cierto volumen de agua. Se suele medir en (mm/hora).

La tasa de infiltración en los sistemas de pavimentos permeable se considera como la diferencia entre la precipitación y la variación del volumen de agua almacenado en el concreto permeable. (Flores Quispe & Pacompia Calcina, 2015, pág. 56).

2.5.6. Periodo de retorno

El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico en una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años, se le denomina Periodo de Retorno “T”. Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de “n” años.

Vente Chow y Máximo Villon B. consideran criterios generalizados para la elección periodos de retorno en estructuras de control de agua considerando 5-10 años y 2-10 años para alcantarillas de vías de tráfico ligero y estructuras de drenaje urbano; respectivamente. (Flores Quispe & Pacompia Calcina, 2015, pág. 57).

2.5.7. Análisis de la precipitación máxima en 24 horas

El concreto permeable no se diseña con el valor de precipitación antecedente más alto existente (en 24 horas), sino que se selecciona un evento de importante magnitud que se repite cada cierto periodo de tiempo, a este se le llama periodo de retorno. Con este se garantiza que el sistema se vea excedido en su capacidad pocas veces durante su vida útil. A el periodo de retorno se le suma la intensidad de la lluvia y la duración, aspectos que complementan y permiten hacer la mejor selección de la precipitación de diseño, para dimensionar el volumen de almacenamiento. (Flores Quispe & Pacompia Calcina, 2015, pág. 58).

2.5.8. Intensidad, duración y frecuencia

Se define tormenta al conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas. Una tormenta puede durar desde unos pocos minutos hasta varias horas y aun días y puede abarcar desde una zona pequeña hasta una extensa región.

De las tormentas interesa conocer las curvas IDF, intensidad – duración – frecuencia, en las que fácilmente se pueden obtener el dato de intensidad para cualquier periodo de tiempo requerido. (Flores Quispe & Pacompia Calcina, 2015, pág. 65).

a) Intensidad

Se mide en mm/h. y su valor varía durante la tormenta. Debido a que no se cuenta con registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, se calcularán a partir de los datos de precipitación máxima en 24 horas en base al modelo de Dick y Peschke, la expresión es la siguiente: (Flores Quispe & Pacompia Calcina, 2015, pág. 66).

$$Pd = P_{24h} * \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

Pd= Precipitación Total (mm.).

P_{24h}= Precipitación Máxima en 24 Horas (mm.).

d= Duración (min.).

La intensidad se halla dividiendo la precipitación Pd entre la duración:

$$I = \frac{P_d}{d}$$

Donde:

I= Intensidad (mm/h.).

Pd= Precipitación Total (mm.).

d= Duración (h.).

b) **Duración**

La duración se mide en minutos o en horas. Es el tiempo transcurrido entre el comienzo y el fin de la tormenta.

El periodo de duración es un periodo de tiempo dentro de la duración de la tormenta. Se escogen varios periodos de duración. Por ejemplo: 15, 30, 60, 120, 240 minutos. Los que se busca, como veremos, son las intensidades máximas para estos periodos de duración.

Para la determinación de la Intensidad del evento de diseño, en términos generales se considera una duración de tormenta de diseño de 60 minutos. (Flores Quispe & Pacompia Calcina, 2015, pág. 66).

c) **Frecuencia**

Es el número de veces que se repite un evento extremo en el tiempo, es decir, es el intervalo de repetición promedio entre eventos que exceden una magnitud específica.

Usualmente se calcula con la fórmula de Weibull: (Flores Quispe & Pacompia Calcina, 2015, pág. 67).

$$F = \frac{m}{n + 1}$$

$$T = \frac{n + 1}{m}$$

Donde:

F= Frecuencia de ocurrencia.

N= Número total de años de observación.

m= Posición de la variable o número de orden.

T= Periodo de retorno.

Para trazar las curvas IDF, se calculan los parámetros de la ecuación:

$$I = \frac{K * T^m}{t^n}$$

Donde:

I= Intensidad máxima (mm/h).

K, m, n= Factores característicos de la zona de estudio.

T= Periodo de retorno (años).

t= Duración de la precipitación (min).

d) Curva de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF)

La curva IDF, es una relación entre las intensidades promedio máximas esperadas, para cada duración de precipitación, para una frecuencia determinada o periodo de retorno en promedio. Sintetiza el comportamiento pluviométrico de una zona.

2.6. MARCO NORMATIVO

Todos los ensayos requeridos en la investigación se realizarán de acuerdo a la Normativa ASTM y la Normativa Boliviana.

Tabla 2.4. Caracterización de los agregados pétreos

Análisis	Norma
Agregado grueso	ASTM C 33
Agregado fino	ASTM C 33
Peso unitario	ASTM C 29
Abrasión de agregado grueso máquina de los ángeles (%)	ASTM C 131

Durabilidad	ASTM C-
Porcentaje menor al tamiz N° 200	ASTM C-
Peso específico del agregado grueso (gr/cm ³)	ASTM C 127
Peso específico del agregado fino (gr/cm ³)	ASTM C 128
Equivalente de arena (%)	ASTM D 2419
Contenido de vacíos y peso unitario	ASTM C 1688
Finura del cemento	ASTM C-
Índice PH del agua	ASTM C-

Fuente: Elaboración propia

Se debe utilizar agregados que estén dentro de los límites granulométricos según la norma ASTM C 33, y completamente limpios libres de impurezas perjudiciales como arcillas, limos, materia orgánica, etc.

ASTM C29 Este método de ensayo cubre la determinación de densidad (peso unitario) del agregado en un material en condición compactada o suelta, y vacíos calculados entre las partículas en agregado fino, grueso o mezclado basado en la misma determinación. Este método de ensayo es aplicable a los agregados que no excedan de 125 mm en el tamaño máximo nominal.

ASTM C31 Esta práctica abarca los procedimientos para hacer y curar ejemplares de cilindro y vigas de muestras representativas de concreto fresco para un proyecto de construcción.

ASTM C39 Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la compresión uniaxial de cilindros y núcleos perforados de concreto. Se limita al concreto que tiene una densidad superior a 800 kg/m³.

ASTM C78 Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la flexión del hormigón mediante el uso de una viga simple con tres puntos de carga.

ASTM C496 Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la tensión diametral de los especímenes de concreto y de núcleos perforados.

ASTM C670 La forma y estilo para las Normas ASTM requiere que todos los métodos de prueba contengan declaraciones sobre precisión y sesgo.

ASTM C1710 Este método de ensayo cubre la determinación en campo de la tasa de infiltración de agua del concreto permeable.

2.7. MARCO REFERENCIAL

Título: Permeabilidad y porosidad en concreto.

Autor: Ligia M. Vélez

Resumen: Se determinó una permeabilidad de 2,342 mm/s, con un porcentaje real de huecos del 11%, cemento en una proporción de 350 kg/m³, permitiendo resistencias a flexo tracción y a compresión veintiocho días respectivamente de 3 MPa y 33 MPa utilizando diferentes razones agua/cemento. (Ligia, 2010).

Título: Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad.

Autor: Ing. Roberto Fernández Arrieta; Ing. Alejandro Navas Carro.

Resumen: El concreto permeable es un material que puede ser usado en pavimentos de bajo volumen, calles de urbanizaciones o parqueos, entre otros. Es una mezcla de cemento, agua y agregado grueso. La resistencia y la permeabilidad del concreto poroso son sus características más importantes y deben balancearse para lograr un desempeño adecuado del material. (Fernández Arrieta & Navas Carro, 2010).

Título: Análisis de la flexo tracción del concreto permeable.

Autor: Cindy Solano Cerdas

Resumen: Para la elaboración de pavimentos en concreto permeable se recomienda el siguiente diseño de mezcla: (Solano Cerdas, 2009)

Relación a/c	AG/c (Kg/kg)	Reductor agua/c cc/kg	Plastificante/c cc/kg	AF/Ag
0,30	4,70	2,50	3,50	8%

Título: Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad.

Autor: José Mauricio Porras Morales

Resumen: Se observó al trabajar con las mezclas en estado fresco que para la relación A/C de 0,25 la trabajabilidad era muy baja con lo cual se hacía difícil el manejo de esta, para la relación de 0,27 a pesar de ser un aumento pequeño la diferencia en la trabajabilidad es apreciable debido a lo que se ha mencionado respecto a lo delicado que llega a ser el tema del agua; de la misma manera y como era de esperarse para la relación de 0,30 la trabajabilidad mejora aún más. (Porrás Morales, 2017).

Título: Investigación sobre el concreto permeable.

Autor: Daniel Pérez Ramos

Resumen: Para que un concreto sea considerado como permeable su coeficiente de permeabilidad debe estar entre 0.20 y 0.54 cm/s. Los resultados de las pruebas de permeabilidad de esta investigación, con un promedio de 0.48 cm/s, permiten concluir que las mezclas con porcentajes de vacíos mayores de 15 % satisfacen los valores de infiltración requeridos para que las mezclas sean consideradas permeables. (Pérez Ramos).

Título: Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad.

Autor: Ing. Roberto J. Fernández Arrieta. (Asistente de investigación; Laboratorio Hidrosistemas Ven Te Chow., Universidad de Illinois en Urbana-Champaign.)

Resumen: Para un concreto permeable hace referencia a una resistencia mínima de diseño, establecida como 10,3MPa (105 kg/cm²).

Título: Evaluación del concreto permeable para su uso como pavimento rígido en la ciudad de Trujillo, (TRUJILLO - PERÚ 2020)

Autor: Bacilio Angeles, Gean Piero, Méndez Merino, Ricardo Rubén.

Resumen: Con los resultados obtenidos, se pudo observar que el agregado de 1/2” obtuvo la mayor resistencia a la compresión y flexión a los 28 días de curado, siendo estas de 211.65 kg/cm² y 27.77 kg/cm² respectivamente, mientras que para el agregado de 3/8” se obtuvo resistencia a la compresión y flexión de 133.73 kg/cm² y 15.16 kg/cm² respectivamente. Y para el coeficiente de permeabilidad se obtuvo 2.417 cm/s y 1.795 cm/s para agregado de 1/2” y 3/8” respectivamente.

Título: Diseño de pavimento rígido permeable para la evacuación de agua pluviales según la norma ACI 522R-10, (lima – Perú 2018)

Autor: Alessandro Jesús bautista pereda

Resumen:

Tabla N° 29 Especímenes ensayados con su respectiva resistencia a la compresión.

DISEÑO	DÍAS	ESPÉCIMENES	R	R prom.
DISEÑO N° 1 % vacíos = 15% SIN FINOS	7 DÍAS	P1-A	23,91	24,13
		P1-B	24,35	
	14 DÍAS	P1-C	25,05	27,06
		P1-D	29,07	
	28 DÍAS	P1-E	41,37	51,3
		P1-F	61,23	
DISEÑO N° 2 % vacíos= 15% CON FINOS= 20%	7 DÍAS	P2-A	64,12	65,56
		P2-C	67,00	
	14 DÍAS	P2-E	62,42	70,96
		P2-F	79,50	
	28 DÍAS	P2-G	103,86	103,26
		P2-H	102,67	
DISEÑO N° 3 % vacíos= 10% CON FINOS= 20%	7 DÍAS	P3-A	59,87	65,17
		P3-C	70,47	
	14 DÍAS	P3-D	107,16	113,17
		P3-E	119,19	
	28 DÍAS	P3-F	107,65	120,72
		P3-G	133,79	
DISEÑO N° 4 % vacíos = 20% CON FINOS= 20%	7 DÍAS	P4-A	38,22	34,18
		P4-B	30,14	
	14 DÍAS	P4-C	38,02	40,55
		P4-D	43,08	
	28 DÍAS	P4-E	53,60	57,75
		P4-F	61,89	
DISEÑO N° 5 % vacíos = 10% CON FINOS= 10%	7 DÍAS	P5-A	111,44	107,22
		P5-B	103,00	
	14 DÍAS	P5-C	141,54	134,76
		P5-D	127,97	
	28 DÍAS	P5-E	175,25	177,98
		P5-F	180,72	

Fuente: Diseño de pavimento rígido permeable para la evacuación de agua pluviales según la norma ACI 522R-10.

2.8. ANÁLISIS DEL APORTE TEÓRICO

La realización de este proyecto tiene una importancia en establecer la elaboración del diseño de concreto poroso, el cual tiene la tendencia en su permeabilidad y su resistencia para un tráfico pesado como también se mejorará la evacuación del agua del pavimento por falta de la infiltración.

Como se puede observar, la teoría está relacionada con lo que se va a estudiar y lo que se pretende realizar en el proyecto. Así mismo, se trabajará dentro del laboratorio de hormigones con la caracterización del cemento y la caracterización de los agregados pétreos. Una vez realizados los mismos, se realizará la interpretación y el análisis.

El objeto de investigación está relacionado con los conceptos estudiados en el capítulo del Marco Conceptual, lo cual podemos dar como factible esta investigación con lo cual podemos resolver el problema que nos planteamos a resolver.

CAPÍTULO III
CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA
INFORMACIÓN

CAPÍTULO III

CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE LOS MATERIALES PÉTREOS

3.1.1. Ubicación y coordenadas del agregado pétreo

Los agregados pétreos a utilizarse en la presente investigación, provienen de la planta chancadora Charajas, y son extraídos del río Camacho. La planta chancadora está ubicada en el kilómetro 45 del municipio de Uriondo del departamento de Tarija.

De la planta chancadora Charajas se tomó la grava 3/4", gravilla 3/8" y arena triturada.

3.1.2. Coordenadas geográficas y UTM

Cuadro 3. 1. Coordenadas

Coordenadas	
Geográficas	UTM
Lat. 21°46'54.1938" S	316882,82 E
Lng. 64°46'16.0651" W	7590282,742 N

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3. 1. Ubicación, planta chancadora de Charajas



Fuente: Elaboración propia

3.2. CRITERIOS DEL DISEÑO METODOLÓGICO

3.2.1. Unidad de estudio o muestra

En la unidad de muestreo se considerará, los ensayos realizados en laboratorio:

- Ensayos de caracterización de agregados.
- Ensayos de caracterización del cemento.
- Ensayos de permeabilidad.
- Ensayos de resistencia.

3.2.2. Población

La población en el presente proyecto está representada por el total de ensayos en laboratorio.

Tabla 3. 1. Población

N°	Etapa	Ensayo	Ni
1	Caracterización	Granulometría de la Grava	10
2		Granulometría de la arena	10
3		Contenido de materia orgánica	3
4		Partículas fracturadas	4
5		Abrasión de agregado grueso máquina de los ángeles	4
6		Índice de alargamiento	4
7		Índice de aplanamiento	4
8		Porcentaje menor al tamiz N° 200	4
9		Peso específico del agregado grueso	4
10		Peso específico del agregado fino	4
11		Equivalente de arena	4
12		Peso unitario agregado grueso	4
13		Peso unitario agregado fino	4
14		Durabilidad	4
15		Cantidad de agregado grueso	4
16		Finura del cemento	3
17		Peso específico del cemento	3
18		Contenido de humedad	3
19		Índice PH del agua	3
20	Pruebas y resultados	Permeabilidad	120
21		Resistencia	120

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Muestra

La muestra son los ensayos de laboratorio seleccionados en la población. Sin embargo, el número de estos debe ajustarse a una afijación de sus proporciones, generándose un muestreo estratificado.

Tabla 3. 2. Muestra

N°	Etapa	Ensayo	Ni
1	Caracterización	Granulometría de la Grava	8
2		Granulometría de la arena	4
3		Abrasión de agregado grueso máquina de los ángeles	4
4		Índice de aplanamiento	4
5		Índice de alargamiento	4
6		Peso específico del agregado grueso	4
7		Peso específico del agregado fino	4
8		Equivalente de arena	4
9		Peso unitario agregado grueso	4
10		Peso unitario agregado fino	4
11		Durabilidad	4
12		Finura del cemento	3
13		Peso específico del cemento	3
14		Contenido de humedad	2
15		Índice PH del agua	2
16	Pruebas y resultados	Permeabilidad	100
17		Resistencia	100
Total			256

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Tamaño de muestra

Para la realización del tamaño de la muestra se tomará el número de elementos que componen la muestra y algunos factores esenciales para su cálculo.

Para utilizar el método se escogió:

- Variable estándar o tipificada **z**: 1,96
- Posibilidad de éxito **p**: 50%
- Posibilidad de fracaso **q**: 50%
- Margen de error **e**: 5%

Utilizando la expresión para la población finita (muestra estratificada), se tiene el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n Ni p q}{\sum_{i=1}^n Ni \left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^n Ni p q}{\sum_{i=1}^n Ni}}$$

Remplazando datos:

$$n = \frac{256 * 0,5 * 0,5}{256 * \left(\frac{0,05}{1,96}\right)^2 + \frac{256 * 0,5 * 0,5}{256}}$$

$$n = 150 \text{ ensayos}$$

Tabla 3. 3. Tamaño de muestra

Nº	Etapa	Ensayo	Ni	p	q	Nipq	fi	ni
1	Caracterización	Granulometría de la Grava	8	0,5	0,5	2	0,03125	5
2		Granulometría de la arena	4	0,5	0,5	1	0,01563	2
3		Abrasión de agregado grueso máquina de los	4	0,5	0,5	1	0,01563	2
4		Índice de aplanamiento	4	0,5	0,5	1	0,01563	2
5		Índice de alargamiento	4	0,5	0,5	1	0,01563	2
6		Peso específico del agregado grueso	4	0,5	0,5	1	0,01563	2
7		Peso específico del agregado fino	4	0,5	0,5	1	0,01563	2
8		Equivalente de arena	4	0,5	0,5	1	0,01563	2
9		Peso unitario agregado grueso	4	0,5	0,5	1	0,01563	2
10		Peso unitario agregado fino	4	0,5	0,5	1	0,01563	2
11		Durabilidad	4	0,5	0,5	1	0,01563	2
12		Finura del cemento	3	0,5	0,5	0,75	0,01172	2
13		Peso específico del cemento	3	0,5	0,5	0,75	0,01172	2
14		Índice PH del agua	2	0,5	0,5	0,50	0,00781	1
15	Pruebas y resultados	Permeabilidad	100	0,5	0,5	25	0,39063	60
16		Resistencia	100	0,5	0,5	25	0,39063	60
Sumatorias=			256	-	-	64	1	150

Fuente: Elaboración propia

3.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

3.3.1. Resumen de las características de los agregados a utilizar

Tabla 3. 4. Resumen de resultados de las características de los agregados

Análisis	Resultados
Abrasión de agregado grueso máquina de los ángeles (%)	25
Índice de aplanamiento de agregados (%)	10
Índice de alargamiento de agregados (%)	10
Peso específico del agregado grueso (gr/cm ³)	2,69
Peso específico del agregado fino (gr/cm ³)	2,61
Equivalente de arena (%)	90,66
Peso unitario del agregado grueso	1,49
Peso unitario del agregado fino	1,67
Durabilidad de sulfatos (%)	18,50
Finura del cemento	1,15
Peso específico del cemento	3,18
Contenido de humedad	0,13

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Análisis de resultados de la caracterización

Tabla 3. 5. Análisis de resultados de agregados pétreos

Análisis	Resultados	Especificación		Norma
Abrasión de agregado grueso máquina de los ángeles (%)	25	Máximo 35	Cumple	ASTM C 131
Índice de aplanamiento de agregados (%)	10	Máximo 10	Cumple	ASTM D 4791
Índice de alargamiento de agregados (%)	10	Máximo 10	Cumple	ASTM D 4791
Peso específico del agregado grueso (gr/cm ³)	2,69	-	NE	ASTM C 127
Peso específico del agregado fino (gr/cm ³)	2,61	-	NE	ASTM C 128
Equivalente de arena (%)	90,66	Mínimo 45	Cumple	ASTM D 2419
Peso unitario del agregado grueso	1,49	-	NE	ASTM C 29
Peso unitario del agregado fino	1,67	-	NE	ASTM C 29
Durabilidad de sulfatos	18,50	Máximo 19		ASTM D 3744
Finura del cemento	1,15	-	NE	
Peso específico del cemento	3,18	-	NE	
Contenido de humedad	0,13	-	NE	ASTM D 2216

Fuente: Elaboración propia

3.4. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL CONCRETO POROSO CON CEMENTO IP-30

Para la realización del diseño del concreto poroso se tomó la granulometría huso N° 8, que conlleva a elegir la granulometría del huso para brindar mayor resistencia a la compresión y una permeabilidad aceptable.

3.4.1. Combinación de agregados pétreos para la mezcla de concreto poroso

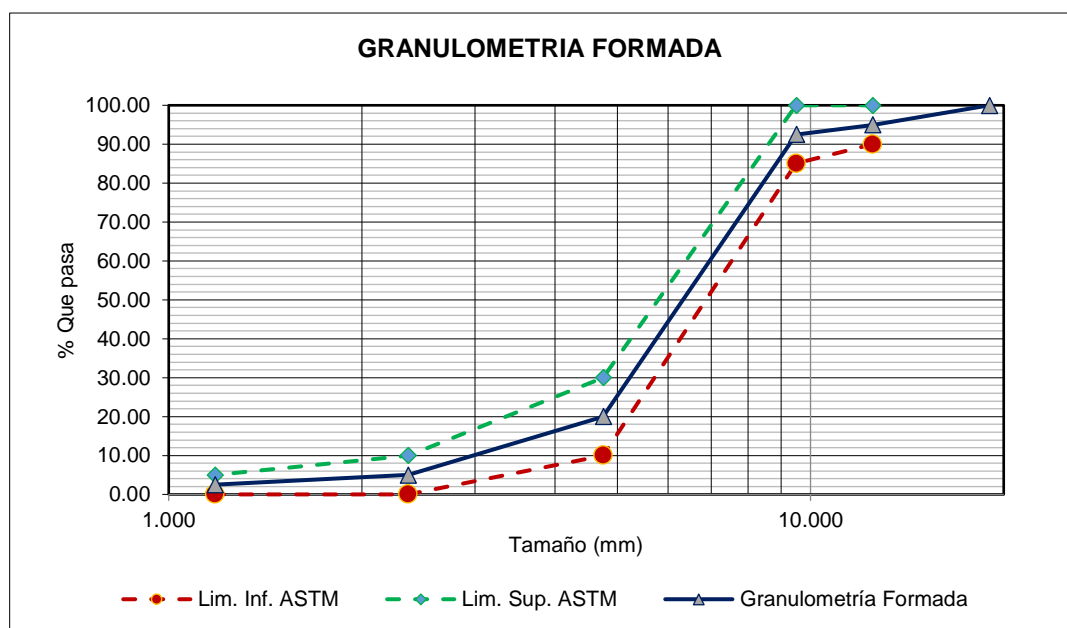
Para la realización del diseño del concreto poroso se realizó, la combinación de agregados gruesos mediante tanteos haciendo variar los porcentajes de cada material de manera que la curva granulométrica este dentro de los parámetros establecidos por las especificaciones, que corresponde al ASTM D 448 de la granulometría huso N° 8.

Tabla 3. 6. Granulometría huso N° 8

Masa total= 1000 gr		A.S.T.M			
Malla		Peso Ret.	Ret. Acum.	% Ret.	% que pasa
Pulg.	mm				
3/4"	19	0,00	0.00	0.00	100
1/2"	12,50	50,00	50.00	5.00	95
3/8"	9,50	25,00	75,00	7,50	92,50
N° 4	4,75	725,00	800,00	80,00	20,00
N° 8	2,36	150,00	950,00	95,00	5,00
N°16	1,18	25,00	975,00	97,50	2,50

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3. 1. Curva granulométrica huso N° 8



Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Procedimiento de dosificación de la mezcla de concreto poroso con cemento IP-30

Los datos para la dosificación se los obtiene de la caracterización de los agregados pétreos, del cemento y de la normativa ACI 211 como se detallan a continuación:

- **Absorción del agregado grueso:** 1,76 %.

- **Relación agua/cemento (a/c):** Para la relación agua/cemento se tomará un valor de 0,40, tomando como criterio que la misma debe estar entre los rangos comprendidos (0,35 – 0,45), los cuales son valores aceptados por el concreto permeable.
- **Relación de vacíos:** La mezcla debe tener una relación de vacíos que se encuentre entre un 15% a 25%. En este caso se tomará en cuenta una relación de vacíos de 15%.
- **Peso específico del cemento:** 3,15 kg/cm³.
- **Gravedad específica del agregado grueso (peso específico saturado con superficie seca):** 2,62 gr/cm³
- **Peso específico de la grava:** 1349,00 Kg/m³.
- **Humedad del agregado grueso:** 0,13 %

Inicialmente se procede a determinar la masa del agregado por metro cubico de mezcla, para lo cual es necesario el valor de b/bo que es el volumen seco de agregado grueso por unidad de volumen de concreto, el cual se obtiene de la Tabla 2.2. Valores efectivos de b/bo (ACI 211.3R, 1998), que para un tamaño de agregado de 3/4" y un 0% de agregado fino b/bo vale 0,99.

Cálculo del peso de la grava:

$$M_{gr} = \text{peso específico de la grava} * \frac{b}{b_o} * (1 + \% \text{absorción})$$

$$M_a = 1349,00 * 0,99 * \left(1 + \frac{0,13}{100}\right)$$

$$M_a = 1358,95 \text{ Kg/m}^3$$

Cálculo del volumen de la grava:

$$V_{gr} = 1 - (V_p + V)$$

$$V_{gr} = 1 - (0,28 + 0,15)$$

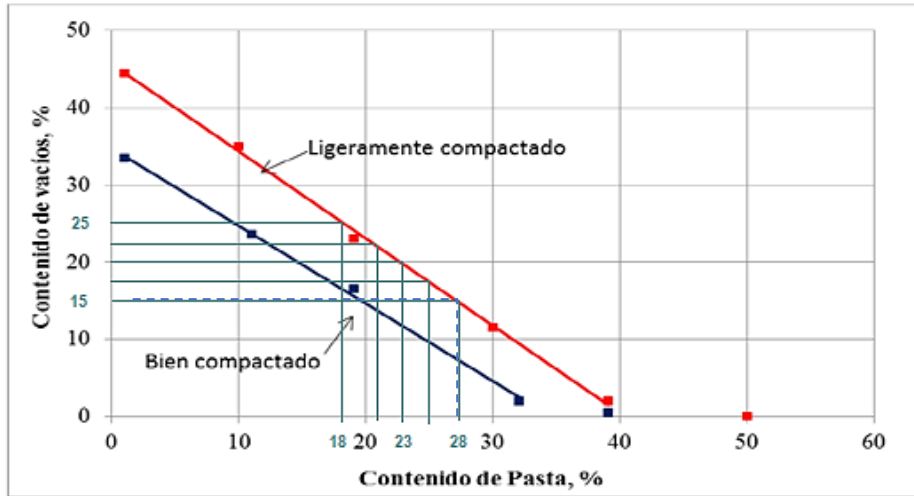
$$V_{gr} = 0,57$$

Cálculo de agua (Volumen de pasta= Volumen de Cemento + Volumen de Agua)

De acuerdo con el nivel de compactación aplicado y el porcentaje de vacíos, podemos obtener el porcentaje de pasta en volumen (Figura 3.1), el cual para un contenido del 15 % de vacíos es:

Volumen de pasta (Vp): 28 %.

Figura 3. 1. Contenido de pasta vs. Contenido de vacíos



Fuente: (Adaptado de ACI 522R-10, ACI 211.3R-02)

$$Vp = \left(\frac{c}{\text{Peso específico del cemento}} \right) + \left(\frac{a}{\text{Peso específico del agua}} \right)$$

Se sabe que la relación agua/cemento (Ra/c) es igual a:

$$R_{a/c} = \frac{a}{c}$$

Se tiene:

$$Vp = \left(\frac{c}{\text{Peso específico del cemento}} \right) + \left(\frac{(R_{a/c}) * c}{\text{Peso específico del agua}} \right)$$

Se despeja el valor de c para obtener el peso del cemento:

$$0,28 = \left(\frac{c}{3,15 * 1000} \right) + \left(\frac{0,40 * c}{1000} \right)$$
$$c = 390,27 \text{ Kg/m}^3$$

Volumen de cemento (Vc):

$$Vc = \frac{c}{\text{Peso específico del cemento}}$$
$$Vc = \frac{390,27}{3,15 * 1000}$$
$$Vc = 0,124 \text{ m}^3$$

Determinación del peso del agua (a):

$$a = (R_{a/c}) * c$$
$$a = 0,40 * 390,27$$
$$a = 156,11 \text{ Kg/m}^3$$

Volumen de agua (Va):

$$Va = \frac{a}{\text{Peso específico del agua}}$$
$$Va = \frac{156,11}{1000}$$
$$Va = 0,156 \text{ m}^3$$

Cálculo de volumen total de vacíos, cemento y agua:

$$Vt = V + Vc + Va$$
$$Vt = 0,15 + 0,124 + 0,156$$
$$Vt = 0,43$$

Cálculo de volumen del agregado:

$$Vgr = 1 - Vt$$

$$V_{gr} = 1 - 0,43$$

$$V_{gr} = 0,57$$

Determinando cantidades reales necesarias:

El diseño de la mezcla del concreto permeable se utilizará para el ensayo a flexión, compresión y para el ensayo de permeabilidad.

Primer diseño: Se calculó para un cilindro de 10 cm de diámetro y 15 cm de alto, en el ensayo de permeabilidad, compresión. Para el ensayo a flexión viguetas de 50 cm de largo, 15 cm de ancho y 15 cm de alto.

Cálculo del volumen del cilindro:

$$V_c = \frac{\pi * D^2 * h}{4}$$

$$V_c = \frac{\pi * 10^2 * 15}{4}$$

$$V_c = 1178,10 \text{ cm}^3$$

Cálculo del volumen de la vigueta (Vv):

$$V_v = l_1 * l_2 * l_3$$

$$V_v = 15 * 15 * 50$$

$$V_v = 11250 \text{ cm}^3$$

Las cantidades totales para la dosificación de la mezcla se encuentran por m³.

Calculando cantidades reales necesarias con el volumen obtenido, se tiene:

Tabla 3. 7. Dosificación de mezcla porosa con cemento IP-30

% vacíos	Cilindro			Viga		
	Peso húmedo (Kg)			Peso húmedo (Kg)		
	Cemento	Grava	Agua	Cemento	Grava	Agua
15,00	0,46	1,60	0,21	4,41	15,31	2,01
17,50	0,41	1,60	0,19	3,94	15,31	1,82
20,00	0,38	1,60	0,18	3,62	15,31	1,70
22,50	0,35	1,60	0,16	3,31	15,31	1,57
25,00	0,30	1,60	0,14	2,83	15,31	1,38
% vacíos	Desperdicio (%) 1,10					
15,00	0,51	1,76	0,23	4,85	16,84	2,21
17,50	0,45	1,76	0,21	4,33	16,84	2,01

20,00	0,42	1,76	0,20	3,98	16,84	1,87
22,50	0,38	1,76	0,18	3,64	16,84	1,73
25,00	0,33	1,76	0,16	3,12	16,84	1,52

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Procedimiento de la elaboración de las probetas cilíndricas y vigas

3.4.3.1. Pesaje de materiales de la dosificación

Se realizó el pesaje de los agregados pétreos y el cemento, tomando en cuenta la dosificación realizada en la Tabla 3.7.

Figura 3. 2. Pesos de los agregados pétreos para la dosificación correspondiente



Fuente: Elaboración propia

3.4.3.2. Mezclado de los materiales para la mezcla

Una vez obtenido los pesos de los agregados pétreos y del material cementante se procedió al mezclado de los materiales, para el vaciado de las probetas cilíndricas y las vigas.

Figura 3. 3. Mezclado de los agregados pétreos y el material cementante



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 4. Ensayo cono de Abrams y vaciado en los moldes cilíndricos



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 5. Vaciado de vigas



Fuente: Elaboración propia

3.4.3.3. Desencofrado de probetas cilíndricas y las vigas

Se desencofraron las muestras después de 24 horas de la elaboración.

Figura 3. 6. Desmoldé de las probetas



Fuente: Elaboración propia

3.4.3.4. Pesos de las vigas y las probetas cilíndricas

Una vez que se tenga que realizar el ensayo de rotura, se procede a pesar las probetas cilíndricas como las vigas.

Figura 3. 7. Pesos de las probetas cilíndricas y las vigas



Fuente: Elaboración propia

3.4.3.5. Rotura de las probetas cilíndricas y las vigas

Figura 3. 8. Rotura de las probetas cilíndricas y las vigas



Fuente: Elaboración propia

3.4.3.6. Medición de la permeabilidad

Figura 3. 9. Ensayo de permeabilidad



Fuente: Elaboración propia

3.4.4. Relevamiento de información de las probetas cilíndricas y vigas IP-30

Los ensayos de compresión simple, flexión y permeabilidad se realizaron a los 7, 14 y 28 días desde su vaciado para cilindros y vigas de concreto.

3.4.4.1. Resultados de rotura a compresión de probetas cilíndricas IP-30

Tabla 3. 8. Resultados de rotura a compresión de probetas cilíndricas IP-30 a los 7 días

Identificación	Fecha de dosificación	Fecha de ensayo	Días	Vacíos	Pesos	Rotura	
						KN	Mpa
C-1	17/6/2021	24/6/2021	7	15,0%	1,91	25,10	3,20
C-2	17/6/2021	24/6/2021	7	15,0%	1,99	26,70	3,40
C-3	17/6/2021	24/6/2021	7	15,0%	1,95	28,70	3,66
C-10	17/6/2021	24/6/2021	7	17,5%	1,96	21,80	2,78
C-11	17/6/2021	24/6/2021	7	17,5%	1,8	22,10	2,82
C-12	17/6/2021	24/6/2021	7	17,5%	1,91	20,99	2,67
C-19	17/6/2021	24/6/2021	7	20,0%	2,08	18,50	2,36
C-20	17/6/2021	24/6/2021	7	20,0%	2,1	18,25	2,32
C-21	17/6/2021	24/6/2021	7	20,0%	2,09	18,05	2,30
C-28	17/6/2021	24/6/2021	7	22,5%	2	15,80	2,23
C-29	17/6/2021	24/6/2021	7	22,5%	1,89	15,90	2,16
C-30	17/6/2021	24/6/2021	7	22,5%	1,87	16,10	2,15
C-37	17/6/2021	24/6/2021	7	25,0%	2	10,50	1,34
C-38	17/6/2021	24/6/2021	7	25,0%	1,98	10,98	1,40
C-39	17/6/2021	24/6/2021	7	25,0%	1,92	11,20	1,43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 9. Resultados de rotura a compresión de probetas cilíndricas IP-30 a los 14 días

Identificación	Fecha de dosificación	Fecha de ensayo	Días	Vacíos	Pesos	Rotura	
						KN	Mpa
C-4	17/6/2021	1/7/2021	14	15,0%	1,98	31,30	3,99
C-5	17/6/2021	1/7/2021	14	15,0%	1,97	32,30	4,11
C-6	17/6/2021	1/7/2021	14	15,0%	1,96	30,50	3,89
C-13	17/6/2021	1/7/2021	14	17,5%	1,88	25,50	3,25
C-14	17/6/2021	1/7/2021	14	17,5%	1,91	24,79	3,16
C-15	17/6/2021	1/7/2021	14	17,5%	1,93	25,10	3,20
C-22	17/6/2021	1/7/2021	14	20,0%	2,06	20,45	2,60
C-23	17/6/2021	1/7/2021	14	20,0%	2,07	21,40	2,73
C-24	17/6/2021	1/7/2021	14	20,0%	1,95	21,50	2,74
C-31	17/6/2021	1/7/2021	14	22,5%	1,87	18,90	2,70
C-32	17/6/2021	1/7/2021	14	22,5%	1,88	18,40	2,81
C-33	17/6/2021	1/7/2021	14	22,5%	1,91	18,90	2,80
C-40	17/6/2021	1/7/2021	14	25,0%	1,96	12,94	1,65
C-41	17/6/2021	1/7/2021	14	25,0%	1,77	13,60	1,73
C-42	17/6/2021	1/7/2021	14	25,0%	1,77	13,80	1,76

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10. Resultados de rotura a compresión de probetas cilíndricas IP-30 a los 28 días

Identificación	Fecha de dosificación	Fecha de ensayo	Días	Vacíos	Pesos	Rotura	
						KN	Mpa
C-7	6/9/2021	4/10/2021	28	15,0%	1,96	39,80	5,07
C-8	6/9/2021	4/10/2021	28	15,0%	1,9	39,70	5,00
C-9	6/9/2021	4/10/2021	28	15,0%	1,78	39,50	5,03
C-16	6/9/2021	4/10/2021	28	17,5%	1,95	31,80	3,71
C-17	6/9/2021	4/10/2021	28	17,5%	1,97	31,97	4,00
C-18	6/9/2021	4/10/2021	28	17,5%	1,99	32,10	4,09
C-25	6/9/2021	4/10/2021	28	20,0%	2,005	25,90	3,30
C-26	6/9/2021	4/10/2021	28	20,0%	2,08	25,69	3,27
C-27	6/9/2021	4/10/2021	28	20,0%	2,01	28,70	3,66
C-34	6/9/2021	4/10/2021	28	22,5%	2,205	23,40	3,27
C-35	6/9/2021	4/10/2021	28	22,5%	2,13	23,90	3,43
C-36	6/9/2021	4/10/2021	28	22,5%	2,21	24,00	3,44
C-43	6/9/2021	4/10/2021	28	25,0%	2,08	17,00	2,17
C-44	6/9/2021	4/10/2021	28	25,0%	2,085	17,95	2,29
C-45	6/9/2021	4/10/2021	28	25,0%	2,16	18,01	2,30

Fuente: Elaboración propia

3.4.4.2. Resultados de rotura de las vigas a flexión IP-30**Tabla 3. 11.** Resultados de rotura a flexión de las vigas prismáticas IP-30 a los 7 días

Identificación	Fecha de dosificación	Fecha de rotura	Días	Vacíos	Pesos	MR	
						KN	Mpa
V-1	1/7/2021	8/7/2021	7	15,0%	21,08	17,60	2,35
V-2	2/9/2021	9/9/2021	7	15,0%	21,26	13,00	1,73
V-3	2/9/2021	9/9/2021	7	15,0%	21,00	15,20	2,03

V-10	1/7/2021	8/7/2021	7	17,5%	23,22	14,02	1,87
V-11	2/9/2021	9/9/2021	7	17,5%	20,98	13,89	1,85
V-12	2/9/2021	9/9/2021	7	17,5%	21,50	13,50	1,80
V-19	1/7/2021	8/7/2021	7	20,0%	22,31	13,30	1,77
V-20	2/9/2021	9/9/2021	7	20,0%	21,49	12,40	1,66
V-21	2/9/2021	9/9/2021	7	20,0%	22,40	13,00	1,73
V-28	1/7/2021	8/7/2021	7	22,5%	21,14	11,70	1,56
V-29	2/9/2021	9/9/2021	7	22,5%	21,58	11,40	1,52
V-30	2/9/2021	9/9/2021	7	22,5%	22,00	12,40	1,65
V-37	1/7/2021	8/7/2021	7	25,0%	20,38	9,00	1,20
V-38	2/9/2021	9/9/2021	7	25,0%	21,13	9,10	1,21
V-39	2/9/2021	9/9/2021	7	25,0%	22,50	8,90	1,19

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 12. Resultados de rotura a flexión de las vigas prismáticas IP-30 a los 14 días

Identificación	Fecha de dosificación	Fecha de rotura	Días	Vacíos	Pesos	MR	
						KN	Mpa
V-4	1/7/2021	15/7/2021	14	15,0%	23,52	20,00	2,67
V-5	12/8/2021	26/8/2021	14	15,0%	21,78	21,10	2,82
V-6	12/8/2021	26/8/2021	14	15,0%	22,00	21,40	2,85
V-13	1/7/2021	15/7/2021	14	17,5%	22,07	17,90	2,38
V-14	12/8/2021	26/8/2021	14	17,5%	23,21	18,90	2,79
V-15	12/8/2021	26/8/2021	14	17,5%	22,20	19,10	2,85
V-22	1/7/2021	15/7/2021	14	20,0%	22,41	17,00	1,88
V-23	12/8/2021	26/8/2021	14	20,0%	21,99	16,80	1,93
V-24	12/8/2021	26/8/2021	14	20,0%	22,00	17,10	1,97
V-31	1/7/2021	15/7/2021	14	22,5%	21,90	14,10	1,88
V-32	12/8/2021	26/8/2021	14	22,5%	21,96	13,80	1,84
V-33	12/8/2021	26/8/2021	14	22,5%	21,40	14,00	1,87
V-40	1/7/2021	15/7/2021	14	25,0%	21,60	10,20	1,36
V-41	12/8/2021	26/8/2021	14	25,0%	20,69	12,00	1,60
V-42	12/8/2021	26/8/2021	14	25,0%	2,30	11,78	1,57

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 13. Resultados de rotura a flexión de las vigas prismáticas IP-30 a los 28 días

Identificación	Fecha de dosificación	Fecha de rotura	Días	Vacíos	Pesos	MR	
						KN	Mpa
V-7	1/7/2021	29/7/2021	28	15,0%	23,99	25,80	3,44
V-8	12/8/2021	9/9/2021	28	15,0%	22,44	24,61	3,28
V-9	12/8/2021	9/9/2021	28	15,0%	22,10	25,00	3,33
V-16	1/7/2021	29/7/2021	28	17,5%	23,50	23,90	3,19
V-17	12/8/2021	9/9/2021	28	17,5%	22,76	23,00	3,07
V-18	12/8/2021	9/9/2021	28	17,5%	21,50	23,65	3,15
V-25	1/7/2021	29/7/2021	28	20,0%	22,69	21,90	2,92
V-26	12/8/2021	9/9/2021	28	20,0%	20,33	20,10	2,68
V-27	12/8/2021	9/9/2021	28	20,0%	20,90	21,50	2,87
V-34	1/7/2021	29/7/2021	28	22,5%	22,77	19,20	2,56
V-35	12/8/2021	9/9/2021	28	22,5%	21,73	18,30	2,43

V-36	12/8/2021	9/9/2021	28	22,5%	22,00	19,00	2,53
V-43	1/7/2021	29/7/2021	28	25,0%	21,00	12,80	1,70
V-44	12/8/2021	9/9/2021	28	25,0%	20,85	14,10	1,88
V-45	12/8/2021	9/9/2021	28	25,0%	21,15	12,10	1,61

Fuente: Elaboración propia

3.4.4.3. Resultados de medición de la permeabilidad IP-30

Tabla 3. 14. Resultados de permeabilidad de probetas cilíndricas IP-30 a los 7 días

Fecha de dosificación	Fecha de ensayo	Días	Vacíos	Permeabilidad			Promedio	Promedio
				Tiempo (Seg)				
17/6/2021	24/6/2021	7	15,0%	7,22	7,04	7,17	7,14	6,86
17/6/2021	24/6/2021	7	15,0%	6,95	7,03	7,07	7,02	
17/6/2021	24/6/2021	7	15,0%	6,35	6,50	6,41	6,42	
17/6/2021	24/6/2021	7	17,5%	6,00	5,90	6,40	6,72	6,25
17/6/2021	24/6/2021	7	17,5%	6,10	6,00	6,93	6,90	
17/6/2021	24/6/2021	7	17,5%	6,20	6,49	6,25	6,32	
17/6/2021	24/6/2021	7	20,0%	6,00	6,08	5,97	6,02	5,97
17/6/2021	24/6/2021	7	20,0%	5,83	6,10	5,87	5,93	
17/6/2021	24/6/2021	7	20,0%	5,85	5,89	6,10	5,95	
17/6/2021	24/6/2021	7	22,5%	5,34	5,57	5,60	5,50	5,72
17/6/2021	24/6/2021	7	22,5%	5,52	5,62	5,66	5,60	
17/6/2021	24/6/2021	7	22,5%	6,20	5,82	6,12	6,05	
17/6/2021	24/6/2021	7	25,0%	5,69	5,52	5,54	5,58	5,42
17/6/2021	24/6/2021	7	25,0%	5,39	5,15	5,22	5,25	
17/6/2021	24/6/2021	7	25,0%	5,44	5,31	5,50	5,42	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 15. Resultados de permeabilidad de probetas cilíndricas IP-30 a los 14 días

Fecha de dosificación	Fecha de ensayo	Días	Vacíos	Permeabilidad			Promedio	Promedio
				Tiempo (Seg)				
17/6/2021	1/7/2021	14	15,0%	6,48	6,35	6,48	6,44	6,32
17/6/2021	1/7/2021	14	15,0%	6,22	6,32	6,50	6,35	
17/6/2021	1/7/2021	14	15,0%	6,13	6,14	6,22	6,16	
17/6/2021	1/7/2021	14	17,5%	6,37	6,20	6,15	6,24	6,05
17/6/2021	1/7/2021	14	17,5%	5,87	6,02	6,06	5,98	
17/6/2021	1/7/2021	14	17,5%	5,84	5,90	6,04	5,93	
17/6/2021	1/7/2021	14	20,0%	5,89	5,80	5,84	5,84	5,83
17/6/2021	1/7/2021	14	20,0%	5,61	5,86	5,77	5,75	
17/6/2021	1/7/2021	14	20,0%	5,87	5,77	6,02	5,89	
17/6/2021	1/7/2021	14	22,5%	5,50	5,60	5,70	5,60	5,46
17/6/2021	1/7/2021	14	22,5%	5,60	5,50	5,60	5,57	

17/6/2021	1/7/2021	14	22,5%	5,10	5,00	5,50	5,20	5,25
17/6/2021	1/7/2021	14	25,0%	5,44	5,10	5,20	5,30	
17/6/2021	1/7/2021	14	25,0%	5,62	5,40	5,10	5,20	
17/6/2021	1/7/2021	14	25,0%	5,44	5,44	5,40	5,12	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 16. Resultados de permeabilidad de probetas cilíndricas IP-30 a los 28 días

Fecha de dosificación	Fecha de ensayo	Días	Vacíos	Permeabilidad			Promedio	Promedio
				Tiempo (Seg)				
6/9/2021	4/10/2021	28	15,0%	5,79	5,49	5,79	5,69	5,70
6/9/2021	4/10/2021	28	15,0%	5,75	5,9	5,78	5,81	
6/9/2021	4/10/2021	28	15,0%	5,73	5,31	5,77	5,60	
6/9/2021	4/10/2021	28	17,5%	5,25	5,11	5,25	5,27	5,28
6/9/2021	4/10/2021	28	17,5%	5,30	5,40	5,50	5,54	
6/9/2021	4/10/2021	28	17,5%	5,30	5,25	5,20	5,25	
6/9/2021	4/10/2021	28	20,0%	5,10	5,21	5,24	5,18	5,12
6/9/2021	4/10/2021	28	20,0%	5,18	4,90	5,11	5,06	
6/9/2021	4/10/2021	28	20,0%	4,96	5,19	5,18	5,11	
6/9/2021	4/10/2021	28	22,5%	4,90	4,90	4,89	4,90	4,98
6/9/2021	4/10/2021	28	22,5%	5,00	5,10	5,01	5,04	
6/9/2021	4/10/2021	28	22,5%	4,98	5,00	5,08	5,02	
6/9/2021	4/10/2021	28	25,0%	4,50	4,40	4,60	4,50	4,54
6/9/2021	4/10/2021	28	25,0%	4,80	4,60	4,20	4,53	
6/9/2021	4/10/2021	28	25,0%	4,40	4,80	4,60	4,60	

Fuente: Elaboración propia

3.4.5. Análisis de resultados del concreto poroso con cemento IP-30

Para el análisis de datos se realizarán gráficas con los resultados de permeabilidad y resistencia a compresión y flexión. Se obtendrá una correlación entre la permeabilidad y la resistencia de la mezcla de concreto poroso.

3.4.5.1. Análisis de resultados a los 7 días con cemento IP-30

Tabla 3. 17. Análisis de resultados de probetas cilíndricas IP-30 a los 7 días

Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Lectura (MPa)	Carga (kg)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Promedio Resistencia (Kg/cm ²)
15,0%	17/6/2021	24/6/2021	7	78,50	25,10	3,20	2560,20	32,61	34,87
15,0%	17/6/2021	24/6/2021	7	78,50	26,70	3,40	2723,40	34,69	
15,0%	17/6/2021	24/6/2021	7	78,50	28,70	3,66	2927,40	37,29	
17,5%	17/6/2021	24/6/2021	7	78,50	21,80	2,78	2223,60	28,33	28,11
17,5%	17/6/2021	24/6/2021	7	78,50	22,10	2,82	2254,20	28,72	
17,5%	17/6/2021	24/6/2021	7	78,50	20,99	2,67	2140,98	27,27	

20,0%	17/6/2021	24/6/2021	7	78,50	18,50	2,36	1887,00	24,04	23,74
20,0%	17/6/2021	24/6/2021	7	78,50	18,25	2,32	1861,50	23,71	
20,0%	17/6/2021	24/6/2021	7	78,50	18,05	2,30	1841,10	23,45	
22,5%	17/6/2021	24/6/2021	7	78,50	15,80	2,23	1611,60	20,53	20,70
22,5%	17/6/2021	24/6/2021	7	78,50	15,90	2,16	1621,80	20,66	
22,5%	17/6/2021	24/6/2021	7	78,50	16,10	2,15	1642,20	20,92	
25,0%	17/6/2021	24/6/2021	7	78,50	10,50	1,34	1071,00	13,64	14,15
25,0%	17/6/2021	24/6/2021	7	78,50	10,98	1,40	1119,96	14,27	
25,0%	17/6/2021	24/6/2021	7	78,50	11,20	1,43	1142,40	14,55	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 18. Cálculos de permeabilidad IP-30 a los 7 días

Fecha de dosificación	Fecha de ensayo	Días	Vacíos	Tiempo seg	L cm	A cm ²	a cm ²	h1 cm	h2 cm	k cm/seg	k mm/seg
17/6/2021	24/6/2021	7	15,0%	6,86	15	78,50	78,50	30	1	7,44	74,37
17/6/2021	24/6/2021	7	17,5%	6,25	15	78,50	78,50	30	1	8,16	76,77
17/6/2021	24/6/2021	7	20,0%	5,97	15	78,50	78,50	30	1	8,55	85,52
17/6/2021	24/6/2021	7	22,5%	5,72	15	78,50	78,50	30	1	8,92	89,24
17/6/2021	24/6/2021	7	25,0%	5,42	15	78,50	78,50	30	1	9,42	94,17

Fuente: Elaboración propia

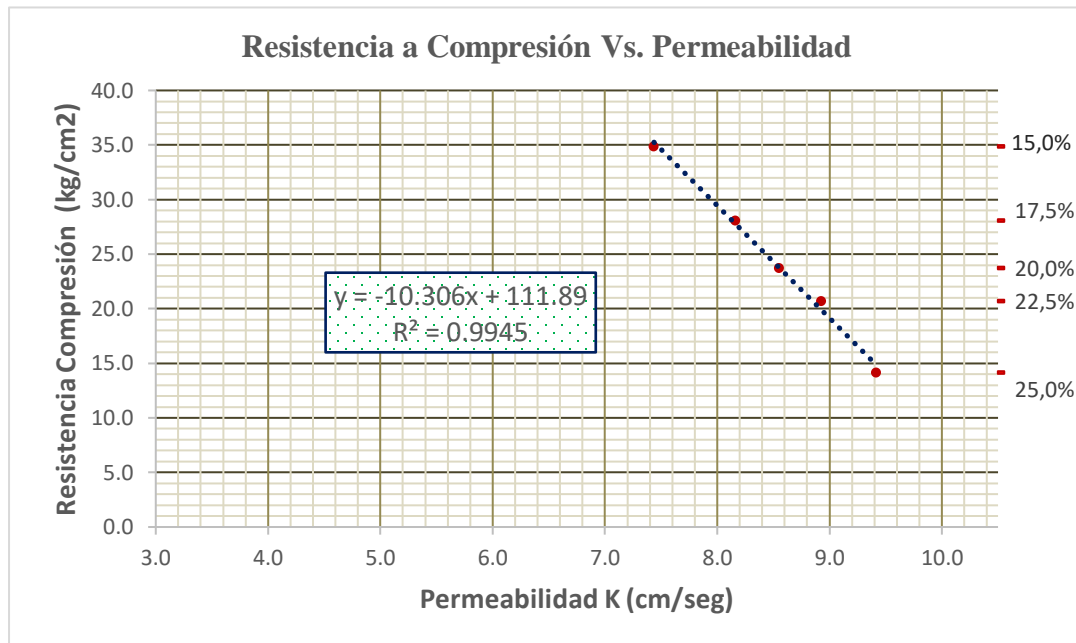
Tabla 3. 19. Análisis de resultados de vigas IP-30 a los 7 días

Identificación	F. Vaciado	F. Rotura	Edad (días)	Ancho "b" (cm)	Alto "d" (cm)	Largo "L" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	MR (Kg/cm ²)	MR promedio (Kg/cm ²)
15,0%	1/7/2021	8/7/2021	7	15	15	45	17,6	1795,20	23,94	20,76
15,0%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	13,0	1326,00	17,68	
15,0%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	15,2	1550,40	20,67	
17,5%	1/7/2021	8/7/2021	7	15	15	45	14,0	1430,04	19,07	18,77
17,5%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	13,9	1416,78	18,89	
17,5%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	13,5	1377,00	18,36	
20,0%	1/7/2021	8/7/2021	7	15	15	45	13,3	1356,60	18,09	17,54
20,0%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	12,4	1264,80	16,86	
20,0%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	13,0	1326,00	17,68	
22,5%	1/7/2021	8/7/2021	7	15	15	45	11,7	1193,40	15,91	16,09
22,5%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	11,4	1162,80	15,50	
22,5%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	12,4	1264,80	16,86	
25,0%	1/7/2021	8/7/2021	7	15	15	45	9,0	918,00	12,24	12,24
25,0%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	9,1	928,20	12,38	
25,0%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	8,9	907,80	12,10	

Fuente: Elaboración propia

Gráficas de correlación a los 7 días.

Gráfica 3. 2. Correlación de probetas cilíndricas IP-30 a los 7 días



Fuente: Elaboración propia

Para el concreto poroso, evaluado a los 7 días de maduración, la correlación que mejor resultado exhibe entre los ensayos de resistencia a la compresión y la permeabilidad, es la lineal como se muestra en la Gráfica 3.2. Además de evidenciarse que presenta una importante variación en el coeficiente de determinación (R^2), esto con respecto a las otras tendencias analizadas.

Gráficamente es posible representarse con la siguiente fórmula, la cual consta de un alto coeficiente de determinación R^2 .

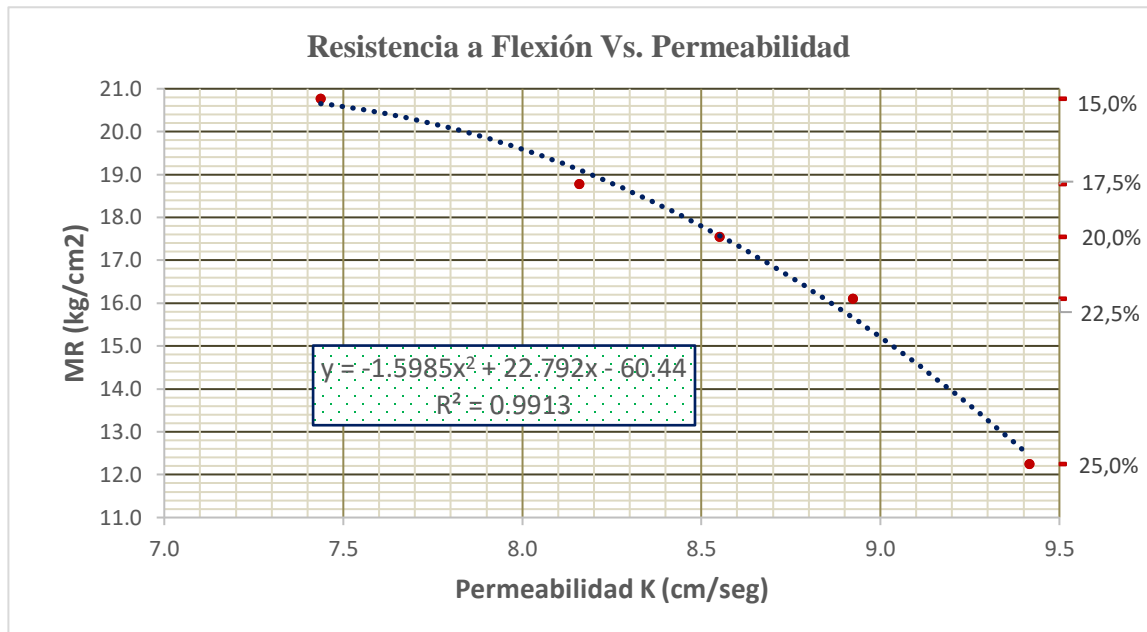
$$y = -10,306 * x + 111,89$$

Dónde:

y= Resistencia a la compresión (Kg/cm²).

x= Permeabilidad (cm/seg)

Gráfica 3. 3. Correlación de vigas IP-30 a los 7 días



Fuente: Elaboración propia

Evaluado a los 7 días de maduración, la correlación que mejor resultado exhibe entre los ensayos de resistencia a flexión y la permeabilidad, es polinómica de grado dos como se muestra en la Gráfica 3.3. Además de evidenciarse que presenta una importante variación en el coeficiente de determinación (R^2), esto con respecto a las otras tendencias analizadas.

Gráficamente es posible representarlo con la siguiente fórmula, que consta de un bajo coeficiente de determinación R^2 .

$$y = -1,5985 * x^2 + 22,792 * x - 60,44$$

Dónde:

y= Resistencia a la compresión (Kg/cm²).

x= Permeabilidad (cm/seg).

3.4.5.2. Análisis de resultados a los 14 días con cemento IP-30

Tabla 3. 20. Análisis de resultados de probetas cilíndricas IP-30 a los 14 días

Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Lectura (MPa)	Carga (kg)	Resistencia compresión (Kg/cm ²)	Promedio Resistencia (Kg/cm ²)
15,0%	17/6/2021	1/7/2021	14	78,50	31,30	3,99	3192,60	40,67	40,76
15,0%	17/6/2021	1/7/2021	14	78,50	32,30	4,11	3294,60	41,97	
15,0%	17/6/2021	1/7/2021	14	78,50	30,50	3,89	3111,00	39,63	
17,5%	17/6/2021	1/7/2021	14	78,50	25,50	3,25	2601,00	33,13	32,65
17,5%	17/6/2021	1/7/2021	14	78,50	24,79	3,16	2528,58	32,21	
17,5%	17/6/2021	1/7/2021	14	78,50	25,10	3,20	2560,20	32,61	
20,0%	17/6/2021	1/7/2021	14	78,50	20,45	2,60	2085,90	26,57	27,44
20,0%	17/6/2021	1/7/2021	14	78,50	21,40	2,73	2182,80	27,81	
20,0%	17/6/2021	1/7/2021	14	78,50	21,50	2,74	2193,00	27,94	
22,5%	17/6/2021	1/7/2021	14	78,50	17,00	2,23	1734,00	22,09	22,05
22,5%	17/6/2021	1/7/2021	14	78,50	16,80	2,28	1713,60	21,83	
22,5%	17/6/2021	1/7/2021	14	78,50	17,10	2,22	1744,20	22,22	
25,0%	17/6/2021	1/7/2021	14	78,50	12,94	1,65	1319,88	16,81	17,47
25,0%	17/6/2021	1/7/2021	14	78,50	13,60	1,73	1387,20	17,67	
25,0%	17/6/2021	1/7/2021	14	78,50	13,80	1,76	1407,60	17,93	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 21. Cálculos de permeabilidad IP-30 a los 14 días

Fecha de dosificación	Fecha de ensayo	Días	Vacíos	Tiempo seg	L cm	A cm ²	a cm ²	h1 cm	h2 cm	k cm/seg	k mm/seg
17/6/2021	1/7/2021	14	15,0%	6,32	15	78,50	78,5	30	1	8,08	80,78
17/6/2021	1/7/2021	14	17,5%	6,05	15	78,50	78,5	30	1	8,43	84,33
17/6/2021	1/7/2021	14	20,0%	5,83	15	78,50	78,5	30	1	8,76	87,58
17/6/2021	1/7/2021	14	22,5%	5,46	15	78,50	78,5	30	1	9,35	93,52
17/6/2021	1/7/2021	14	25,0%	5,25	15	78,50	78,5	30	1	9,72	97,16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 22. Análisis de resultados de vigas IP-30 a los 14 días

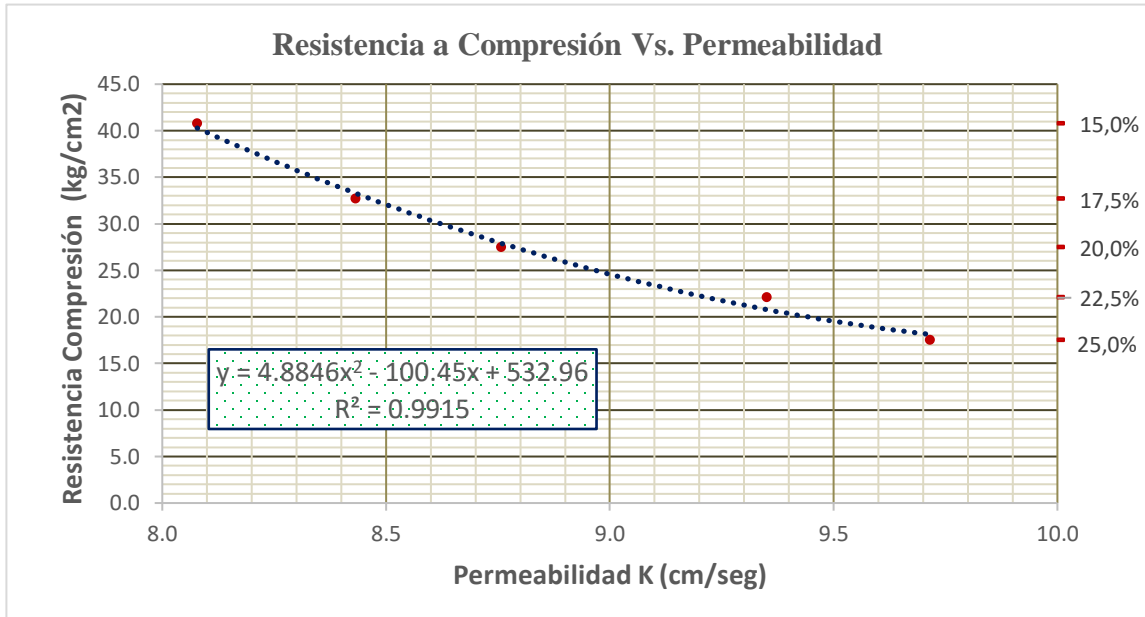
Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Ancho "b" (cm)	Alto "d" (cm)	Largo "L" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	MR (Kg/cm ²)	MR promedio (Kg/cm ²)
12,5%	1/7/2021	15/7/2021	14	15	15	45	16,5	1683,00	22,44	22,12
12,5%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	16,9	1723,80	22,98	
12,5%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	15,4	1570,80	20,94	
15,0%	1/7/2021	15/7/2021	14	15	15	45	17,9	1825,80	24,34	27,29
15,0%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	20,9	2131,80	28,42	
15,0%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	21,4	2182,80	29,10	
17,5%	1/7/2021	15/7/2021	14	15	15	45	20,0	2040,00	27,20	28,33
17,5%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	21,1	2152,20	28,70	
17,5%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	21,4	2182,80	29,10	
20,0%	1/7/2021	15/7/2021	14	15	15	45	14,1	1438,20	19,18	19,67
20,0%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	14,5	1479,00	19,72	
20,0%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	14,8	1509,60	20,13	
22,5%	1/7/2021	15/7/2021	14	15	15	45	14,1	1438,20	19,18	18,99
22,5%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	13,8	1407,60	18,77	

22,5%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	14,0	1428,00	19,04	15,40
25,0%	1/7/2021	15/7/2021	14	15	15	45	10,2	1040,40	13,87	
25,0%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	12,0	1224,00	16,32	
25,0%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	11,8	1201,56	16,02	

Fuente: Elaboración propia

Gráficas de correlación a los 14 días.

Gráfica 3. 4. Correlación de probetas cilíndricas IP-30 a los 14 días



Fuente: Elaboración propia

Para el concreto poroso, evaluado a los 14 días de maduración, la correlación que mejor resultado exhibe entre los ensayos de resistencia a la compresión y la permeabilidad, es una polinómica de grado dos, como se muestra en la Gráfica 3.4. Además de evidenciarse que no presenta una importante variación en el coeficiente de determinación (R^2), esto con respecto a las otras tendencias analizadas.

Gráficamente es posible representarse con la siguiente fórmula, la cual consta de un buen coeficiente de determinación R^2 .

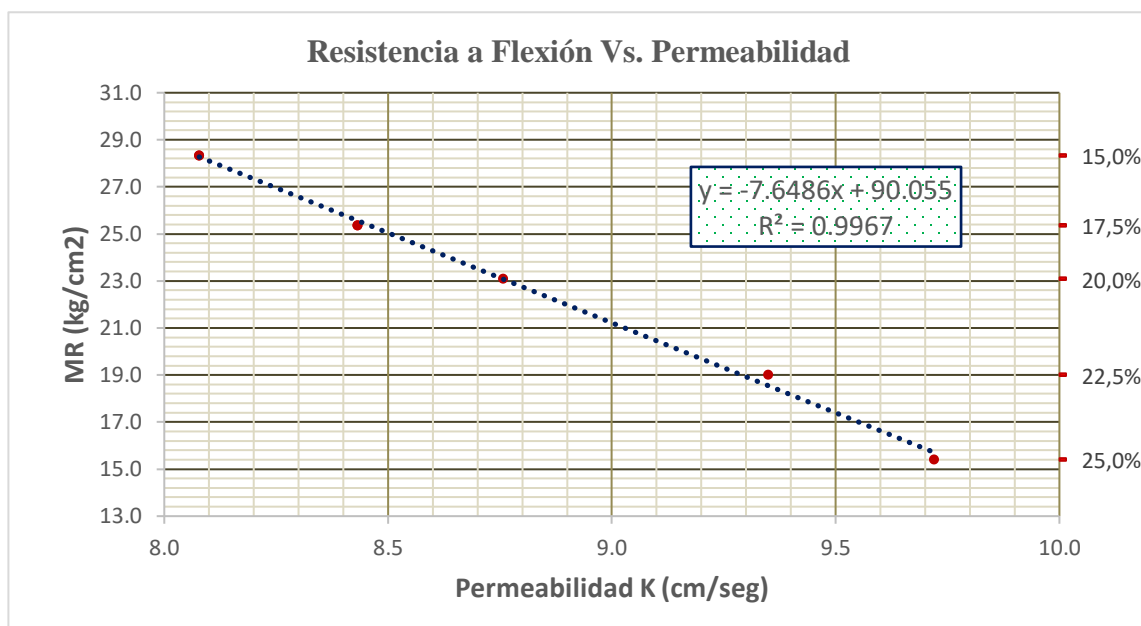
$$y = 4,8846 * x^2 - 100,45 * x + 532,96$$

Dónde:

y= Resistencia a la compresión (Kg/cm²).

x= Permeabilidad (cm/seg)

Gráfica 3. 5. Correlación de vigas IP-30 a los 14 días



Fuente: Elaboración propia

Evaluado a los 14 días de maduración, la correlación que mejor resultado exhibe entre los ensayos de resistencia a la flexión y la permeabilidad es una lineal como se muestra en la Gráfica 3.5. Esto evidencia que no presenta una importante variación en el coeficiente de determinación (R^2), esto con respecto a las otras tendencias analizadas.

Gráficamente es posible representarse con la siguiente fórmula, que consta de un buen coeficiente de determinación R^2 .

$$y = -7,6486 * x + 90,055$$

Dónde:

y = Resistencia a la compresión (Kg/cm²).

x = Permeabilidad (cm/seg).

3.4.5.3. Análisis de resultados a los 28 días con cemento IP-30

Tabla 3. 23. Análisis de resultados de probetas cilíndricas IP-30 a los 28 días

Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Lectura (MPa)	Carga (kg)	Resistencia compresión (Kg/cm ²)	Promedio Resistencia (Kg/cm ²)
15,0%	6/9/2021	4/10/2021	28	78,50	39,80	5,07	4059,60	51,71	51,54
15,0%	6/9/2021	4/10/2021	28	78,50	39,70	5,00	4049,40	51,58	

15,0%	6/9/2021	4/10/2021	28	78,50	39,50	5,03	4029,00	51,32	
17,5%	6/9/2021	4/10/2021	28	78,50	31,80	3,71	3243,60	41,32	41,52
17,5%	6/9/2021	4/10/2021	28	78,50	31,97	4,00	3260,94	41,54	
17,5%	6/9/2021	4/10/2021	28	78,50	32,10	4,09	3274,20	41,71	
20,0%	6/9/2021	4/10/2021	28	78,50	25,90	3,30	2641,80	33,65	34,78
20,0%	6/9/2021	4/10/2021	28	78,50	25,69	3,27	2620,38	33,38	
20,0%	6/9/2021	4/10/2021	28	78,50	28,70	3,66	2927,40	37,29	
22,5%	6/9/2021	4/10/2021	28	78,50	23,40	3,27	2386,80	30,41	30,88
22,5%	6/9/2021	4/10/2021	28	78,50	23,90	3,43	2437,80	31,05	
22,5%	6/9/2021	4/10/2021	28	78,50	24,00	3,44	2448,00	31,18	
25,0%	6/9/2021	4/10/2021	28	78,50	17,00	2,17	1734,00	22,09	22,94
25,0%	6/9/2021	4/10/2021	28	78,50	17,95	2,29	1830,90	23,32	
25,0%	6/9/2021	4/10/2021	28	78,50	18,01	2,30	1837,02	23,40	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 24. Cálculos de permeabilidad IP-30 a los 28 días

Fecha de dosificación	Fecha de ensayo	Días	vaciós	Tiempo seg	L cm	A cm ²	a cm ²	h1 cm	h2 cm	k cm/seg	k mm/seg
6/9/2021	4/10/2021	28	15,0%	5,70	15	78,50	78,5	30	1	8,95	89,49
6/9/2021	4/10/2021	28	17,5%	5,28	15	78,50	78,5	30	1	9,65	96,54
6/9/2021	4/10/2021	28	20,0%	5,12	15	78,50	78,5	30	1	9,97	99,67
6/9/2021	4/10/2021	28	22,5%	4,98	15	78,50	78,5	30	1	10,24	102,35
6/9/2021	4/10/2021	28	25,0%	4,54	15	78,50	78,5	30	1	11,23	112,26

Fuente: Elaboración propia

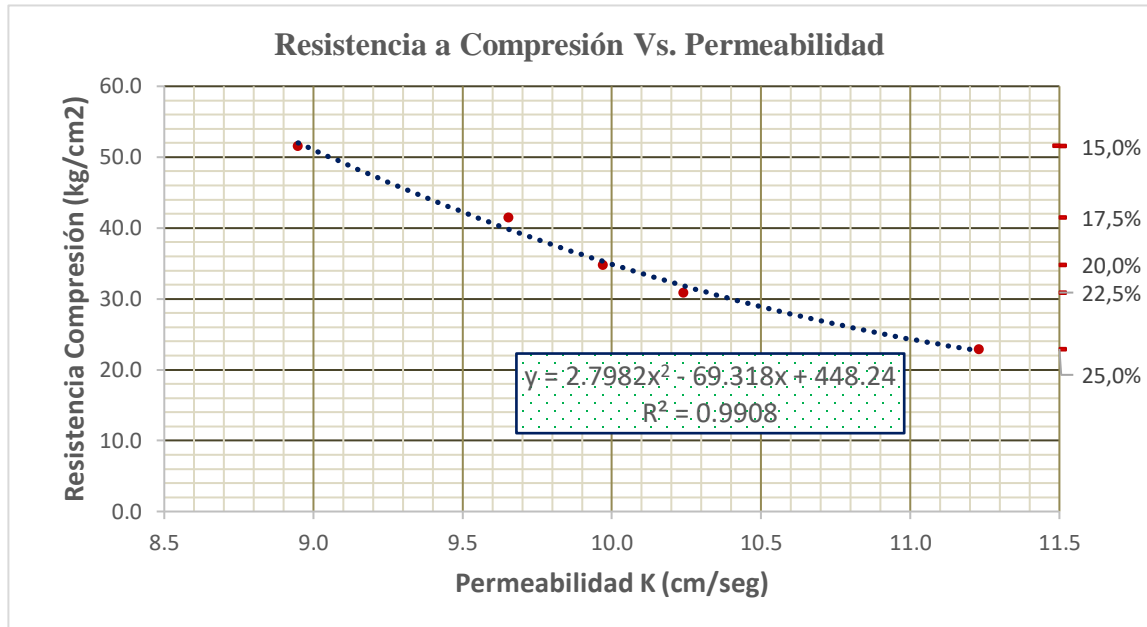
Tabla 3. 25. Análisis de resultado de vigas IP-30 a los 28 días

Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Ancho "b" (cm)	Alto "d" (cm)	Largo "L" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	MR (Kg/cm ²)	MR promedio (Kg/cm ²)
15,0%	1/7/2021	29/7/2021	28	15	15	45	25,8	2631,60	35,09	34,19
15,0%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	24,6	2510,22	33,47	
15,0%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	25,0	2550,00	34,00	
17,5%	1/7/2021	29/7/2021	28	15	15	45	23,9	2437,80	32,50	31,98
17,5%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	23,0	2346,00	31,28	
17,5%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	23,7	2412,30	32,16	
20,0%	1/7/2021	29/7/2021	28	15	15	45	21,9	2233,80	29,78	28,79
20,0%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	20,1	2050,20	27,34	
20,0%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	21,5	2193,00	29,24	
22,5%	1/7/2021	29/7/2021	28	15	15	45	19,1	1948,20	25,98	25,66
22,5%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	18,5	1887,00	25,16	
22,5%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	19,0	1938,00	25,84	
25,0%	1/7/2021	29/7/2021	28	15	15	45	12,8	1305,60	17,41	17,68
25,0%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	14,1	1438,20	19,18	
25,0%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	12,1	1234,20	16,46	

Fuente: Elaboración propia

Gráfica de correlación a los 28 días.

Gráfica 3. 6. Correlación de probetas cilíndricas IP-30 a los 28 días



Fuente: Elaboración propia

Para el concreto poroso, evaluado a los 28 días de maduración, la correlación que mejor resultado exhibe entre los ensayos de resistencia a la compresión y la permeabilidad, es la polinómica de segundo grado como se muestra en la Gráfica 3.6. Además de evidenciarse que no presenta una variación en el coeficiente de determinación (R^2), esto con respecto a las otras tendencias gráficas analizadas.

Gráficamente es posible representarse con la siguiente fórmula, con un alto coeficiente de determinación R^2 .

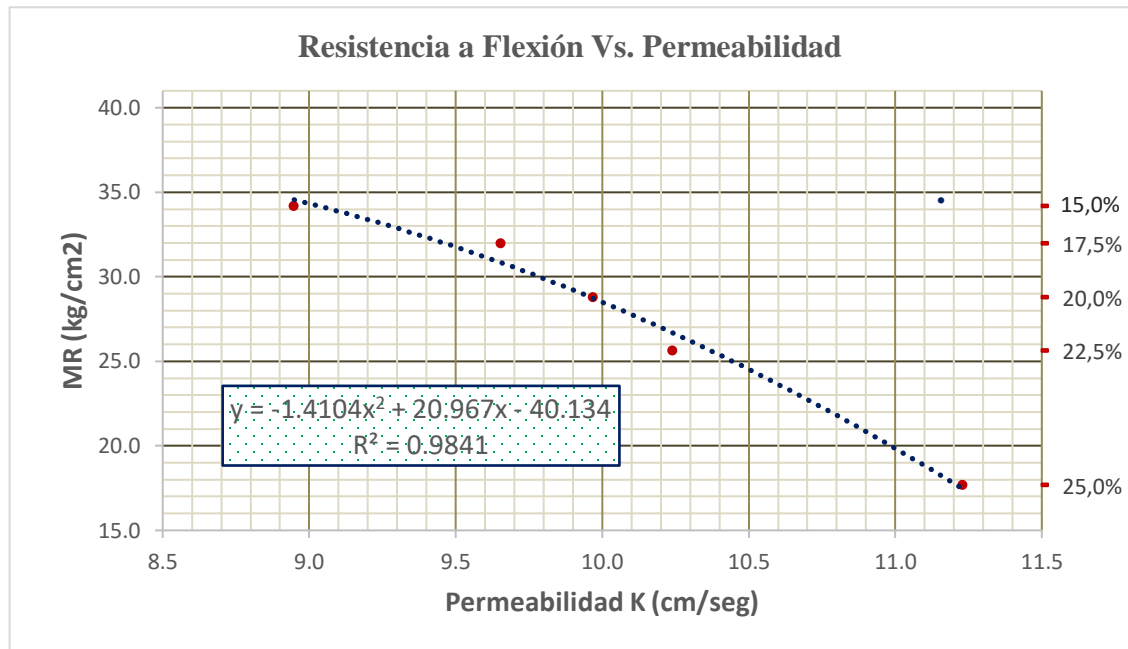
$$y = 2,7982 * x^2 - 69,318 * x + 448,24$$

Dónde:

y= Resistencia a la compresión (Kg/cm²).

x= Permeabilidad (cm/seg)

Gráfica 3. 7. Correlación de vigas IP-30 a los 28 días



Fuente: Elaboración propia

Evaluado a los 28 días de maduración, la correlación que mejor resultado exhibe entre los ensayos de resistencia a la flexión y la permeabilidad, es una polinómica de grado dos como se muestra en la Gráfica 3.7. Se observa que no presenta una importante variación en el coeficiente de determinación (R^2), esto con respecto a las otras tendencias gráficas analizadas.

Gráficamente, es posible representarse con la siguiente fórmula, que consta de un alto coeficiente de determinación R^2 .

$$y = -1,4104x^2 + 20,967x - 40,134$$

Dónde:

y= Resistencia a la compresión (Kg/cm²).

x= Permeabilidad (cm/seg).

3.5. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL CONCRETO POROSO CON CEMENTO IP-40

3.5.1. Procedimiento de dosificación de la mezcla de concreto poroso con cemento IP-40

Los datos para la dosificación se los obtiene de la caracterización de los agregados pétreos, del cemento y de la normativa ACI 211 como se detalla:

- **Absorción del agregado grueso:** 1,76 %.
- **Relación agua/cemento (a/c):** 0,40.
- **Relación de vacíos:** se tomará en cuenta una relación de vacíos de 15%.
- **Peso específico del cemento:** 3,04 kg/cm³.
- **Gravedad específica del agregado grueso** (peso específico saturado con superficie seca): 2,62 gr/cm³
- **Peso específico de la grava:** 1349,00 Kg/m³.
- **Humedad del agregado grueso:** 0,13 %.
- **b/bo:** 0,99.

Cálculo del peso de la grava:

$$M_{gr} = \text{peso específico de la grava} * \frac{b}{b_o} * (1 + \% \text{absorción})$$

$$M_a = 1349,00 * 0,99 * \left(1 + \frac{0,13}{100}\right)$$

$$M_a = 1358,95 \text{ Kg/m}^3$$

Cálculo del volumen de la grava:

$$V_{gr} = 1 - (V_p + V)$$

$$V_{gr} = 1 - (0,28 + 0,15)$$

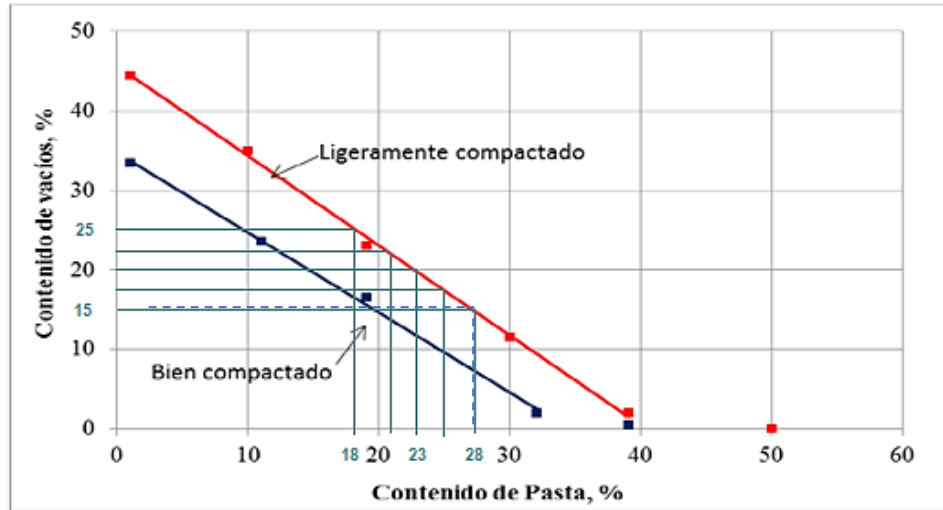
$$V_{gr} = 0,57$$

Cálculo de agua (Volumen de pasta= Volumen de Cemento + Volumen de Agua)

De acuerdo con el nivel de compactación aplicado y el porcentaje de vacíos, podemos obtener el porcentaje de pasta en volumen (Figura 3.10), para un contenido del 15% de vacíos:

Volumen de pasta (Vp): 28 %.

Figura 3. 10. Contenido de pasta vs. Contenido de vacíos



Fuente: (Adaptado de ACI 522R-10, ACI 211.3R-02)

$$V_p = \left(\frac{c}{\text{Peso específico del cemento}} \right) + \left(\frac{a}{\text{Peso específico del agua}} \right)$$

Se sabe que la relación agua/cemento ($R_{a/c}$) es igual a:

$$R_{a/c} = \frac{a}{c}$$

Se tiene:

$$V_p = \left(\frac{c}{\text{Peso específico del cemento}} \right) + \left(\frac{(R_{a/c}) * c}{\text{Peso específico del agua}} \right)$$

Se despeja el valor de c para obtener el peso del cemento:

$$0,28 = \left(\frac{c}{3,04 * 1000} \right) + \left(\frac{0,40 * c}{1000} \right)$$

$$c = 384,12 \text{ Kg/m}^3$$

Volumen de cemento (Vc):

$$Vc = \frac{c}{\text{Peso específico del cemento}}$$

$$Vc = \frac{384,12}{3,04 * 1000}$$

$$Vc = 0,126 \text{ m}^3$$

Determinación del peso del agua (a):

$$a = (R_{a/c}) * c$$

$$a = 0,45 * 384,12$$

$$a = 153,65 \text{ Kg/m}^3$$

Volumen de agua (Va):

$$Va = \frac{a}{\text{Peso específico del agua}}$$

$$Va = \frac{153,65}{1000}$$

$$Va = 0,154 \text{ m}^3$$

Cálculo de volumen total de vacíos, cemento y agua:

$$Vt = V + Vc + Va$$

$$Vt = 0,15 + 0,126 + 0,154$$

$$Vt = 0,43$$

Cálculo de volumen del agregado:

$$Vgr = 1 - Vt$$

$$Vgr = 1 - 0,43$$

$$Vgr = 0,57$$

Determinando cantidades reales necesarias: El diseño de la mezcla del concreto permeable se utilizará para el ensayo a flexión, compresión y para el ensayo de permeabilidad.

Primer diseño: Se calculó para una cantidad de un cilindro de 10 cm de diámetro y 15 cm de alto, para el ensayo de permeabilidad, compresión y para el ensayo a flexión viguetas de 50 cm de largo, 15 cm de ancho y 15 cm de alto.

Cálculo del volumen del cilindro:

$$V_c = \frac{\pi * D^2 * h}{4}$$

$$V_c = \frac{\pi * 10^2 * 15}{4}$$

$$V_c = 1178,10 \text{ cm}^3$$

Cálculo del volumen de la vigueta (Vv):

$$V_v = l_1 * l_2 * l_3$$

$$V_v = 15 * 15 * 50$$

$$V_v = 11250 \text{ cm}^3$$

Las cantidades totales para la dosificación de la mezcla se encuentran por m³.

Calculando cantidades reales necesarias con el volumen obtenido, se tiene:

Tabla 3. 26. Dosificación mezcla porosa con cemento IP-40

% vacíos	Cilindro			Viga		
	Peso húmedo (Kg)			Peso húmedo (Kg)		
	Cemento	Grava	Agua	Cemento	Grava	Agua
15,00	0,45	1,60	0,21	4,32	15,31	1,98
17,50	0,40	1,60	0,19	3,86	15,31	1,79
20,00	0,37	1,60	0,17	3,55	15,31	1,67
22,50	0,34	1,60	0,16	3,24	15,31	1,55
25,00	0,29	1,60	0,14	2,78	15,31	1,36
% vacíos	Desperdicio (%) 1,10					
15,00	0,50	1,76	0,23	4,75	16,84	2,18
17,50	0,44	1,76	0,21	4,24	16,84	1,97
20,00	0,41	1,76	0,19	3,90	16,84	1,84
22,50	0,37	1,76	0,18	3,57	16,84	1,70
25,00	0,32	1,76	0,16	3,06	16,84	1,50

Fuente: Elaboración propia

Para el procedimiento de la elaboración de las probetas y las vigas se debe seguir el apartado 3.4.3.

3.5.2. Relevamiento de información de las probetas cilíndricas y las vigas IP-40

3.5.2.1. Resultados de rotura a compresión de probetas cilíndricas y vigas IP-40

Tabla 3. 27. Resultados de rotura de probetas cilíndricas IP-40

Identificación	Fecha De Dosificación	Fecha De Ensayo	Días	Vacíos	Pesos	Rotura	
						KN	Mpa
C-1	29/7/2022	5/8/2022	7	15,00%	2,03	67,50	3,82
C-2	29/7/2022	5/8/2022	7	15,00%	2,00	67,05	3,79
C-3	29/7/2022	5/8/2022	7	15,00%	2,05	66,90	3,78
C-4	29/7/2022	5/8/2022	7	17,50%	2,09	52,23	2,95
C-5	29/7/2022	5/8/2022	7	17,50%	2,02	51,98	2,94
C-6	29/7/2022	5/8/2022	7	17,50%	2,27	52,11	2,95
C-7	29/7/2022	5/8/2022	7	20,00%	2,45	36,60	2,07
C-8	29/7/2022	5/8/2022	7	20,00%	2,40	36,90	2,09
C-9	29/7/2022	5/8/2022	7	20,00%	2,30	37,60	2,13
C-10	2/8/2022	9/8/2022	7	22,50%	2,41	22,03	1,25
C-11	2/8/2022	9/8/2022	7	22,50%	2,58	21,90	1,24
C-12	2/8/2022	9/8/2022	7	22,50%	2,41	22,45	1,27
C-13	2/8/2022	9/8/2022	7	25,00%	2,39	15,70	0,89
C-14	2/8/2022	9/8/2022	7	25,00%	2,45	15,90	0,90
C-15	2/8/2022	9/8/2022	7	25,00%	2,28	15,40	0,87
C-16	29/7/2022	12/8/2022	14	15,00%	2,38	72,50	4,10
C-17	29/7/2022	12/8/2022	14	15,00%	2,65	71,50	4,04
C-18	29/7/2022	12/8/2022	14	15,00%	2,37	71,90	4,07
C-19	29/7/2022	12/8/2022	14	17,50%	2,36	57,20	3,24
C-20	29/7/2022	12/8/2022	14	17,50%	2,38	58,90	3,33
C-21	29/7/2022	12/8/2022	14	17,50%	2,29	58,20	3,29
C-22	29/7/2022	12/8/2022	14	20,00%	2,60	41,80	4,54
C-23	29/7/2022	12/8/2022	14	20,00%	2,40	40,80	2,31
C-24	29/7/2022	12/8/2022	14	20,00%	2,56	36,90	4,70
C-25	2/8/2022	16/8/2022	14	22,50%	2,74	27,20	2,95
C-26	2/8/2022	16/8/2022	14	22,50%	2,45	27,90	3,03
C-27	2/8/2022	16/8/2022	14	22,50%	2,50	26,90	2,92
C-28	2/8/2022	16/8/2022	14	25,00%	2,47	20,90	2,27
C-29	2/8/2022	16/8/2022	14	25,00%	2,22	21,60	2,35
C-30	2/8/2022	16/8/2022	14	25,00%	2,11	21,40	2,32
C-31	29/7/2022	26/8/2022	28	15,00%	2,14	87,50	9,50
C-32	29/7/2022	26/8/2022	28	15,00%	2,45	87,10	9,46
C-33	29/7/2022	26/8/2022	28	15,00%	2,56	86,90	9,44
C-34	29/7/2022	26/8/2022	28	17,50%	2,65	68,50	7,44
C-35	29/7/2022	26/8/2022	28	17,50%	2,34	68,10	7,40
C-36	29/7/2022	26/8/2022	28	17,50%	2,54	68,24	7,41
C-37	29/7/2022	26/8/2022	28	20,00%	2,45	58,90	3,33
C-38	29/7/2022	26/8/2022	28	20,00%	2,57	59,10	3,34
C-39	29/7/2022	26/8/2022	28	20,00%	2,68	58,70	3,32

C-40	2/8/2022	30/8/2022	28	22,50%	2,8	48,20	2,73
C-41	2/8/2022	30/8/2022	28	22,50%	2,24	48,50	2,74
C-42	2/8/2022	30/8/2022	28	22,50%	2,45	48,10	2,72
C-43	2/8/2022	30/8/2022	28	25,00%	2,53	32,90	1,86
C-44	2/8/2022	30/8/2022	28	25,00%	2,32	31,90	1,80
C-45	2/8/2022	30/8/2022	28	25,00%	2,12	32,10	1,81

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.28. Resultados de rotura de vigas IP-40

Identificación	Fecha De Dosificación	Fecha De Rotura	Días	Vacíos	Pesos	MR	
						KN	Mpa
V-1	3/8/2022	10/8/2022	7	15,00%	20,10	30,40	1,35
V-2	3/8/2022	10/8/2022	7	15,00%	21,40	31,10	1,38
V-3	3/8/2022	10/8/2022	7	15,00%	22,10	32,66	1,45
V-4	3/8/2022	10/8/2022	7	17,50%	22,80	27,50	1,22
V-5	3/8/2022	10/8/2022	7	17,50%	20,10	28,50	1,26
V-6	3/8/2022	10/8/2022	7	17,50%	22,40	28,82	1,28
V-7	5/8/2022	12/8/2022	7	20,00%	20,37	22,80	1,01
V-8	5/8/2022	12/8/2022	7	20,00%	20,87	24,50	1,08
V-9	5/8/2022	12/8/2022	7	20,00%	21,23	23,67	1,05
V-10	5/8/2022	12/8/2022	7	22,50%	21,68	18,50	0,82
V-11	5/8/2022	12/8/2022	7	22,50%	22,10	18,98	0,84
V-12	5/8/2022	12/8/2022	7	22,50%	22,53	17,90	0,79
V-13	5/8/2022	12/8/2022	7	25,00%	22,96	12,75	0,56
V-14	5/8/2022	12/8/2022	7	25,00%	23,39	13,57	0,60
V-15	5/8/2022	12/8/2022	7	25,00%	23,81	13,62	0,60
V-16	3/8/2022	17/8/2022	14	15,00%	20,30	55,50	2,48
V-17	3/8/2022	17/8/2022	14	15,00%	21,13	54,12	2,42
V-18	3/8/2022	17/8/2022	14	15,00%	22,55	53,80	2,41
V-19	3/8/2022	17/8/2022	14	17,50%	20,40	43,89	1,96
V-20	3/8/2022	17/8/2022	14	17,50%	22,40	43,10	1,93
V-21	3/8/2022	17/8/2022	14	17,50%	21,40	44,75	2,00
V-22	5/8/2022	19/8/2022	14	20,00%	23,33	36,00	1,61
V-23	5/8/2022	19/8/2022	14	20,00%	20,63	32,50	1,25
V-24	5/8/2022	19/8/2022	14	20,00%	24,03	30,90	1,77
V-25	5/8/2022	19/8/2022	14	22,50%	22,01	28,50	1,27
V-26	5/8/2022	19/8/2022	14	22,50%	21,80	29,40	1,31
V-27	5/8/2022	19/8/2022	14	22,50%	21,58	29,01	1,30
V-28	5/8/2022	19/8/2022	14	25,00%	21,37	22,25	1,00
V-29	5/8/2022	19/8/2022	14	25,00%	21,55	22,07	0,99
V-30	5/8/2022	19/8/2022	14	25,00%	20,14	23,50	1,05
V-31	3/8/2022	31/8/2022	28	15,00%	21,12	58,81	2,61
V-32	3/8/2022	31/8/2022	28	15,00%	20,10	57,23	2,54
V-33	3/8/2022	31/8/2022	28	15,00%	23,82	57,89	2,57
V-34	3/8/2022	31/8/2022	28	17,50%	23,47	45,10	2,00
V-35	3/8/2022	31/8/2022	28	17,50%	23,12	45,80	2,03
V-36	3/8/2022	31/8/2022	28	17,50%	22,77	45,20	2,01
V-37	9/8/2022	6/9/2022	28	20,00%	22,87	38,50	1,71
V-38	9/8/2022	6/9/2022	28	20,00%	21,17	38,10	1,69
V-39	9/8/2022	6/9/2022	28	20,00%	22,17	37,30	1,66

V-40	9/8/2022	6/9/2022	28	22,50%	21,37	33,89	1,51
V-41	9/8/2022	6/9/2022	28	22,50%	21,02	32,54	1,45
V-42	9/8/2022	6/9/2022	28	22,50%	20,67	32,75	1,45
V-43	9/8/2022	6/9/2022	28	25,00%	20,32	26,90	1,19
V-44	9/8/2022	6/9/2022	28	25,00%	19,97	27,12	1,20
V-45	9/8/2022	6/9/2022	28	25,00%	19,62	26,54	1,18

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 29. Resultados de permeabilidades IP-40

Fecha de dosificación	Fecha de ensayo	Días	Vacíos	Permeabilidad				Promedio
				Tiempo (Seg)				
29/7/2022	5/8/2022	7	15,0%	10,22	10,04	10,17	10,14	9,86
29/7/2022	5/8/2022	7	15,0%	9,95	10,03	10,07	10,02	
29/7/2022	5/8/2022	7	15,0%	9,35	9,50	9,41	9,42	
29/7/2022	12/8/2022	14	15,0%	9,48	9,35	9,48	9,44	9,32
29/7/2022	12/8/2022	14	15,0%	9,22	9,32	9,50	9,35	
29/7/2022	12/8/2022	14	15,0%	9,13	9,14	9,22	9,16	
29/7/2022	26/8/2022	28	15,0%	8,79	8,49	8,79	8,69	8,70
29/7/2022	26/8/2022	28	15,0%	8,75	8,90	8,78	8,81	
29/7/2022	26/8/2022	28	15,0%	8,73	8,31	8,77	8,60	
29/7/2022	5/8/2022	7	17,5%	9,00	8,90	9,40	9,10	9,25
29/7/2022	5/8/2022	7	17,5%	9,10	9,00	9,93	9,34	
29/7/2022	5/8/2022	7	17,5%	9,20	9,49	9,25	9,31	
29/7/2022	12/8/2022	14	17,5%	9,37	9,20	9,15	9,24	9,05
29/7/2022	12/8/2022	14	17,5%	8,87	9,02	9,06	8,98	
29/7/2022	12/8/2022	14	17,5%	8,84	8,90	9,04	8,93	
29/7/2022	26/8/2022	28	17,5%	8,25	8,11	8,25	8,20	8,28
29/7/2022	26/8/2022	28	17,5%	8,30	8,40	8,50	8,40	
29/7/2022	26/8/2022	28	17,5%	8,30	8,25	8,20	8,25	
29/7/2022	5/8/2022	7	20,0%	9,00	9,08	8,97	9,02	8,97
29/7/2022	5/8/2022	7	20,0%	8,83	9,10	8,87	8,93	
29/7/2022	5/8/2022	7	20,0%	8,85	8,89	9,10	8,95	
29/7/2022	12/8/2022	14	20,0%	8,89	8,80	8,84	8,84	8,83
29/7/2022	12/8/2022	14	20,0%	8,61	8,86	8,77	8,75	
29/7/2022	12/8/2022	14	20,0%	8,87	8,77	9,02	8,89	
29/7/2022	26/8/2022	28	20,0%	8,10	8,21	8,24	8,18	8,12
29/7/2022	26/8/2022	28	20,0%	8,18	7,90	8,11	8,06	
29/7/2022	26/8/2022	28	20,0%	7,96	8,19	8,18	8,11	
2/8/2022	9/8/2022	7	22,5%	8,34	8,57	8,60	8,50	8,72
2/8/2022	9/8/2022	7	22,5%	8,52	8,62	8,66	8,60	
2/8/2022	9/8/2022	7	22,5%	9,20	8,82	9,12	9,05	
2/8/2022	16/8/2022	14	22,5%	8,50	8,60	8,70	8,60	8,46
2/8/2022	16/8/2022	14	22,5%	8,60	8,50	8,60	8,57	
2/8/2022	16/8/2022	14	22,5%	8,10	8,00	8,50	8,20	
2/8/2022	30/8/2022	28	22,5%	7,90	7,90	7,89	7,90	7,98
2/8/2022	30/8/2022	28	22,5%	8,00	8,10	8,01	8,04	
2/8/2022	30/8/2022	28	22,5%	7,98	8,00	8,08	8,02	
2/8/2022	9/8/2022	7	25,0%	8,69	8,52	8,54	8,58	8,42
2/8/2022	9/8/2022	7	25,0%	8,39	8,15	8,22	8,25	
2/8/2022	9/8/2022	7	25,0%	8,44	8,31	8,50	8,42	

2/8/2022	16/8/2022	14	25,0%	8,10	8,20	8,30	8,20	8,25
2/8/2022	16/8/2022	14	25,0%	8,40	8,10	8,20	8,23	
2/8/2022	16/8/2022	14	25,0%	8,44	8,40	8,12	8,32	
2/8/2022	30/8/2022	28	25,0%	7,50	7,40	7,60	7,50	7,54
2/8/2022	30/8/2022	28	25,0%	7,80	7,60	7,20	7,53	
2/8/2022	30/8/2022	28	25,0%	7,40	7,80	7,60	7,60	

Fuente: Elaboración propia

3.5.3. Análisis de resultados del concreto poroso con cemento IP-40

3.5.3.1. Análisis de resultados de cilindros y vigas a los 7 días con cemento IP-40

Tabla 3. 30. Análisis de resultados de probetas cilíndricas IP-40 a los 7 días

Identificación	F. de	F. de	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Lectura (MPa)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Promedio Resistencia (Kg/cm ²)
	Vaciado	Rotura							
15,0%	29/7/2022	5/8/2022	7	78,50	67,50	3,82	6885,00	87,71	87,25
15,0%	29/7/2022	5/8/2022	7	78,50	67,05	3,79	6839,10	87,12	
15,0%	29/7/2022	5/8/2022	7	78,50	66,90	3,78	6823,80	86,93	
17,5%	29/7/2022	5/8/2022	7	78,50	52,23	2,95	5327,46	67,87	67,71
17,5%	29/7/2022	5/8/2022	7	78,50	51,98	2,94	5301,96	67,54	
17,5%	29/7/2022	5/8/2022	7	78,50	52,11	2,95	5315,22	67,71	
20,0%	29/7/2022	5/8/2022	7	78,50	36,60	2,07	3733,20	47,56	48,12
20,0%	29/7/2022	5/8/2022	7	78,50	36,90	2,09	3763,80	47,95	
20,0%	29/7/2022	5/8/2022	7	78,50	37,60	2,13	3835,20	48,86	
22,5%	2/8/2022	9/8/2022	7	78,50	22,03	1,25	2247,06	28,62	28,75
22,5%	2/8/2022	9/8/2022	7	78,50	21,90	1,24	2233,80	28,46	
22,5%	2/8/2022	9/8/2022	7	78,50	22,45	1,27	2289,90	29,17	
25,0%	2/8/2022	9/8/2022	7	78,50	15,70	0,89	1601,40	20,40	20,36
25,0%	2/8/2022	9/8/2022	7	78,50	15,90	0,90	1621,80	20,66	
25,0%	2/8/2022	9/8/2022	7	78,50	15,40	0,87	1570,80	20,01	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 31. Cálculos de permeabilidad IP-40 a los 7 días

Fecha de dosificación	Fecha de ensayo	Días	Vacíos	Tiempo seg	L cm	A cm ²	a cm ²	h1 cm	h2 cm	k cm/seg	k mm/seg
29/7/2022	5/8/2022	7	15,0%	9,86	15	78,50	78,5	30	1	5,17	51,74
29/7/2022	5/8/2022	7	17,5%	9,25	15	78,50	78,5	30	1	5,51	55,14
29/7/2022	5/8/2022	7	20,0%	8,97	15	78,50	78,5	30	1	5,69	56,90
2/8/2022	9/8/2022	7	22,5%	8,72	15	78,50	78,5	30	1	5,85	58,53
2/8/2022	9/8/2022	7	25,0%	8,42	15	78,50	78,5	30	1	6,06	60,61

Fuente: Elaboración propia

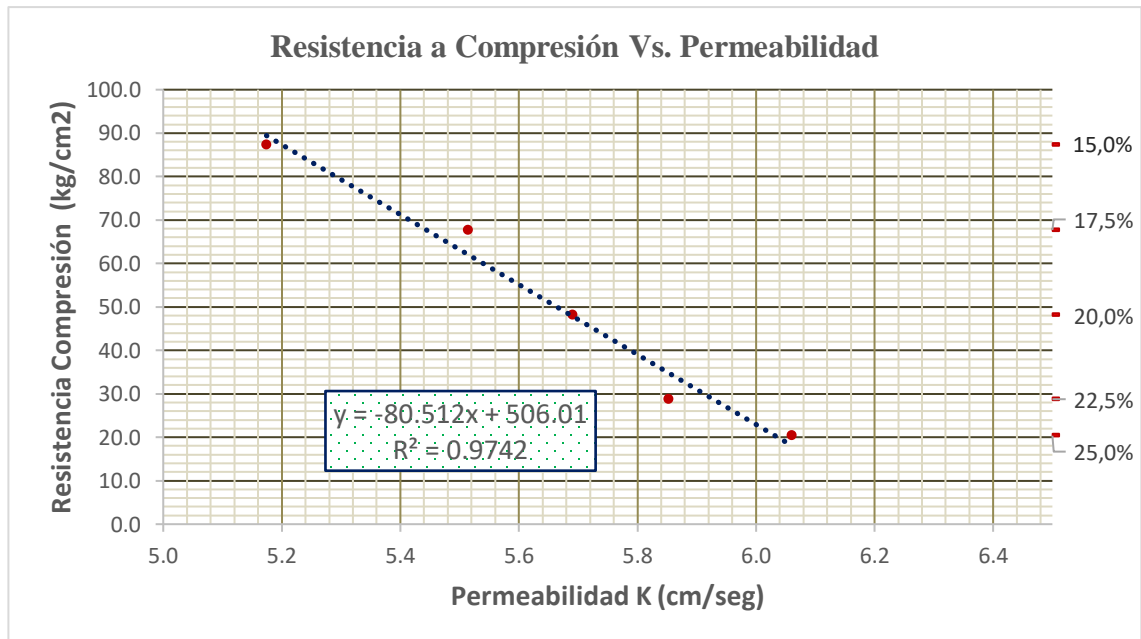
Tabla 3. 32. Análisis de resultado de vigas IP-40 a los 7 días

Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Ancho "b" (cm)	Alto "d" (cm)	Largo "L" (cm)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	MR (Kg/cm2)	MR promedio (Kg/cm2)
15,0%	1/7/2021	8/7/2021	7	15	15	45	30,4	3100,80	41,34	42,69
15,0%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	31,1	3172,20	42,30	
15,0%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	32,7	3331,32	44,42	
17,5%	1/7/2021	8/7/2021	7	15	15	45	27,5	2805,00	37,40	38,45
17,5%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	28,5	2907,00	38,76	
17,5%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	28,8	2939,64	39,20	
20,0%	1/7/2021	8/7/2021	7	15	15	45	22,8	2325,60	31,01	32,17
20,0%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	24,5	2499,00	33,32	
20,0%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	23,7	2414,34	32,19	
22,5%	1/7/2021	8/7/2021	7	15	15	45	18,5	1887,00	25,16	25,11
22,5%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	19,0	1935,96	25,81	
22,5%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	17,9	1825,80	24,34	
25,0%	1/7/2021	8/7/2021	7	15	15	45	12,8	1300,50	17,34	18,11
25,0%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	13,6	1384,14	18,46	
25,0%	2/9/2021	9/9/2021	7	15	15	45	13,6	1389,24	18,52	

Fuente: Elaboración propia

Gráficas de correlación a los 7 días.

Gráfica 3. 8. Correlación de probetas cilíndricas IP-40 a los 7 días



Fuente: Elaboración propia

Para el concreto poroso, evaluado a los 7 días de maduración, la correlación que mejor resultado exhibe entre los ensayos de resistencia a la compresión y la permeabilidad, es la lineal como se muestra en la Gráfica 3.8. Además de evidenciarse que no presenta una

variación en el coeficiente de determinación (R^2), esto con respecto a las otras tendencias gráficas analizadas.

Gráficamente, es posible representarse con la siguiente fórmula, la cual consta de un alto coeficiente de determinación R^2 .

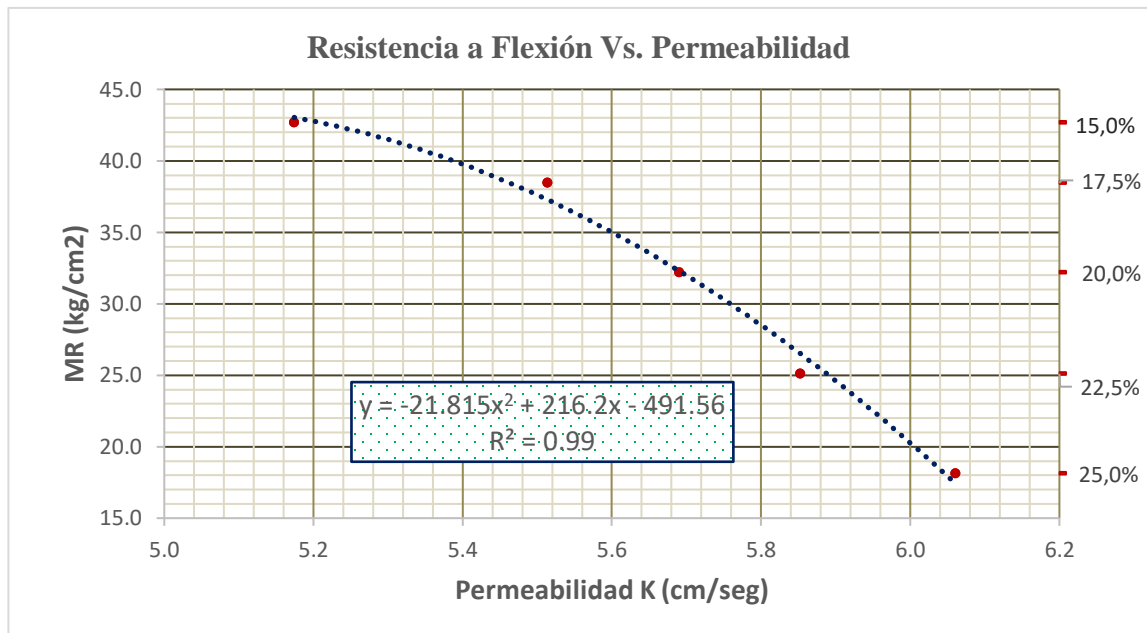
$$y = -80,512x + 506,01$$

Dónde:

y= Resistencia a la compresión (Kg/cm^2).

x= Permeabilidad (cm/seg)

Gráfica 3. 9. Correlación de vigas IP-40 a los 7 días



Fuente: Elaboración propia

Evaluable a los 7 días de maduración, la correlación que mejor resultado exhibe entre los ensayos de resistencia a flexión y la permeabilidad, es la polinómica de grado 2 como se muestra en la Gráfica 3.9; además de evidenciarse que presenta una importante variación en el coeficiente de determinación (R^2), esto con respecto a las otras tendencias analizadas.

Gráficamente es posible representarlo con la siguiente fórmula, la cual consta de un bajo coeficiente de determinación R^2 .

$$y = -21,815x^2 + 216,2x - 491,56$$

Dónde:

y= Resistencia a la compresión (Kg/cm²).

x= Permeabilidad (cm/seg).

3.5.3.2. Análisis de resultados de cilindros y vigas a los 14 días con cemento IP-40

Tabla 3. 33. Análisis de resultados de probetas cilíndricas IP-40 a los 14 días

Identificación	F. de	F. de	Edad (días)	Área (cm2)	Lectura (KN)	Lectura (MPa)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm2)	Promedio Resistencia (Kg/cm2)
	Vaciado	Rotura							
15,0%	29/7/2022	12/8/2022	14	78,50	72,50	4,10	7395,00	94,20	93,51
15,0%	29/7/2022	12/8/2022	14	78,50	71,50	4,04	7293,00	92,90	
15,0%	29/7/2022	12/8/2022	14	78,50	71,90	4,07	7333,80	93,42	
17,5%	29/7/2022	12/8/2022	14	78,50	57,20	3,24	5834,40	74,32	75,49
17,5%	29/7/2022	12/8/2022	14	78,50	58,90	3,33	6007,80	76,53	
17,5%	29/7/2022	12/8/2022	14	78,50	58,20	3,29	5936,40	75,62	
20,0%	29/7/2022	12/8/2022	14	78,50	41,80	4,54	4263,60	54,31	51,76
20,0%	29/7/2022	12/8/2022	14	78,50	40,80	2,31	4161,60	53,01	
20,0%	29/7/2022	12/8/2022	14	78,50	36,90	4,70	3763,80	47,95	
22,5%	2/8/2022	16/8/2022	14	78,50	27,20	2,95	2774,40	35,34	35,52
22,5%	2/8/2022	16/8/2022	14	78,50	27,90	3,03	2845,80	36,25	
22,5%	2/8/2022	16/8/2022	14	78,50	26,90	2,92	2743,80	34,95	
25,0%	2/8/2022	16/8/2022	14	78,50	20,90	2,27	2131,80	27,16	27,68
25,0%	2/8/2022	16/8/2022	14	78,50	21,60	2,35	2203,20	28,07	
25,0%	2/8/2022	16/8/2022	14	78,50	21,40	2,32	2182,80	27,81	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 34. Cálculos de permeabilidad IP-40 a los 14 días

Fecha de dosificación	Fecha de ensayo	Días	Vacíos	Tiempo seg	L cm	A cm2	a cm2	h1 cm	h2 cm	k cm/seg	k mm/seg
29/7/2022	12/8/2022	14	15,0%	9,32	15	78,50	78,5	30	1	5,48	54,77
29/7/2022	12/8/2022	14	17,5%	9,05	15	78,50	78,5	30	1	5,64	56,37
29/7/2022	12/8/2022	14	20,0%	8,83	15	78,50	78,5	30	1	5,78	57,81
2/8/2022	16/8/2022	14	22,5%	8,46	15	78,50	78,5	30	1	6,03	60,34
2/8/2022	16/8/2022	14	25,0%	8,25	15	78,50	78,5	30	1	6,18	61,83

Fuente: Elaboración propia

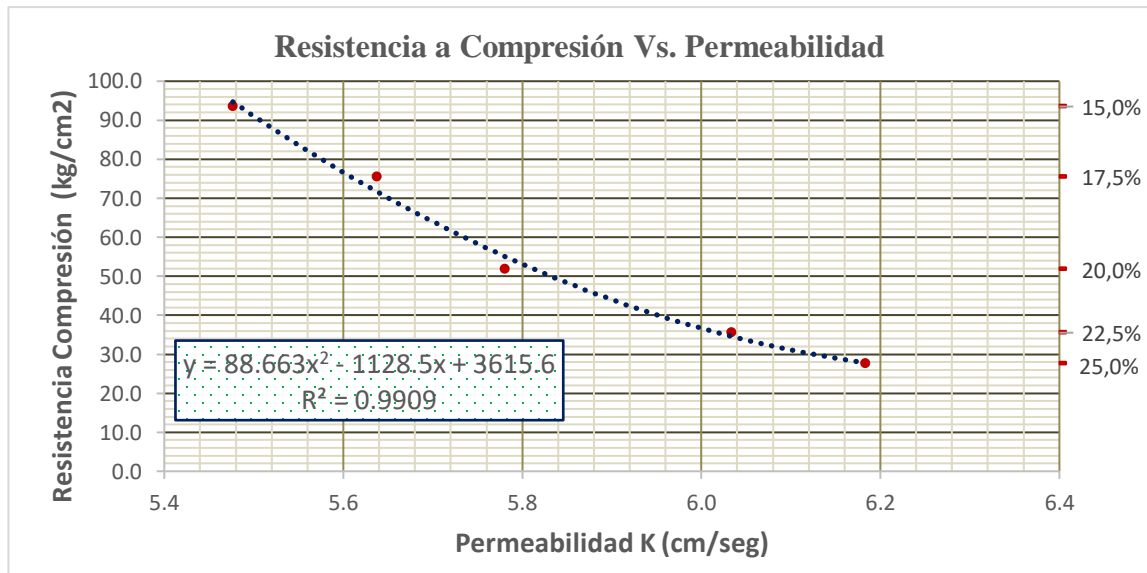
Tabla 3. 35. Análisis de resultado de vigas IP-40 a los 14 días

Identificación	Fecha de	Fecha de	Edad	Ancho "b" (cm)	Alto "d" (cm)	Largo "L" (cm)	Carga	Carga	MR	MR promedio (Kg/cm2)
	Vaciado	Rotura					"F" (KN)	"F" (kg)		
15,0%	1/7/2021	15/7/2021	14	15	15	45	55,5	5661,00	75,48	74,08
15,0%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	54,1	5520,24	73,60	
15,0%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	53,8	5487,60	73,17	
17,5%	1/7/2021	15/7/2021	14	15	15	45	43,9	4476,78	59,69	59,72
17,5%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	43,1	4396,20	58,62	
17,5%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	44,8	4564,50	60,86	
20,0%	1/7/2021	15/7/2021	14	15	15	45	36,0	3672,00	48,96	45,06
20,0%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	32,5	3315,00	44,20	
20,0%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	30,9	3151,80	42,02	
22,5%	1/7/2021	15/7/2021	14	15	15	45	28,5	2907,00	38,76	39,40
22,5%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	29,4	2998,80	39,98	
22,5%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	29,0	2959,02	39,45	
25,0%	1/7/2021	15/7/2021	14	15	15	45	22,3	2269,50	30,26	30,75
25,0%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	22,1	2251,14	30,02	
25,0%	12/8/2021	26/8/2021	14	15	15	45	23,5	2397,00	31,96	

Fuente: Elaboración propia

Gráficas de correlación a los 14 días.

Gráfica 3. 10. Correlación de probetas cilíndricas IP-40 a los 14 días



Fuente: Elaboración propia

Para el concreto poroso, evaluado a los 14 días de maduración, la correlación que mejor resultado exhibe entre los ensayos de resistencia a la compresión y la permeabilidad, es la polinómica de grado dos como se muestra en la Gráfica 3.10. Además de evidenciarse

que no presenta una variación en el coeficiente de determinación (R^2), esto con respecto a las otras tendencias gráficas analizadas.

Gráficamente es posible representarlo con la siguiente fórmula, la cual consta de un alto coeficiente de determinación R^2 .

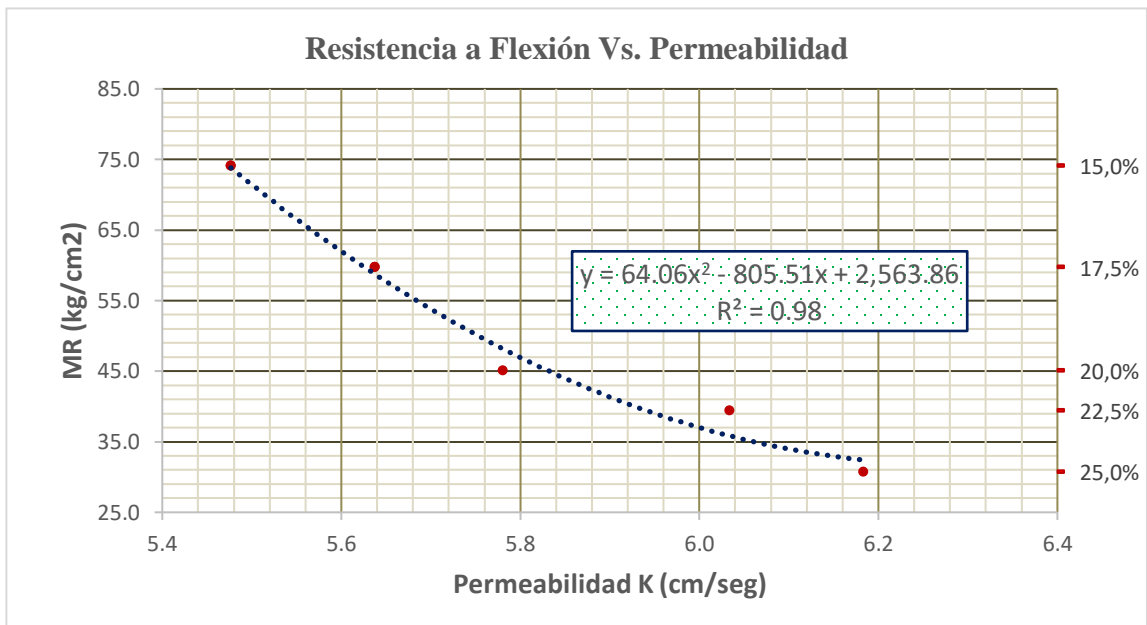
$$y = 88,663x^2 - 1128,5x + 3615,6$$

Dónde:

y = Resistencia a la compresión (Kg/cm^2).

x = Permeabilidad (cm/seg)

Gráfica 3. 11. Correlación de vigas IP-40 a los 14 días



Fuente: Elaboración propia

Evaluable a los 14 días de maduración, la correlación que mejor resultado exhibe entre los ensayos de resistencia a flexión y la permeabilidad, es la polinómica de grado 2 como se muestra en la Gráfica 3.11; además de evidenciarse que presenta una importante variación en el coeficiente de determinación (R^2), esto con respecto a las otras tendencias analizadas.

Gráficamente, es posible representarse con la siguiente fórmula, la cual consta de un bajo coeficiente de determinación R^2 .

$$y = 64,06 * x^2 - 805,51 * x + 2563,86$$

Dónde:

y = Resistencia a la compresión (Kg/cm²).

x = Permeabilidad (cm/seg).

3.5.3.3. Análisis de resultados de cilindros y vigas a los 28 días con cemento IP-40

Tabla 3. 36. Análisis de resultados de probetas cilíndricas IP-40 a los 28 días

Identificación	F. de	F. de	Edad (días)	Área (cm ²)	Lectura (KN)	Lectura (MPa)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Promedio Resistencia (Kg/cm ²)
	Vaciado	Rotura							
15,0%	29/7/2022	26/8/2022	28	78,50	87,50	9,50	8925,00	113,69	113,26
15,0%	29/7/2022	26/8/2022	28	78,50	87,10	9,46	8884,20	113,17	
15,0%	29/7/2022	26/8/2022	28	78,50	86,90	9,44	8863,80	112,91	
17,5%	29/7/2022	26/8/2022	28	78,50	68,50	7,44	6987,00	89,01	88,72
17,5%	29/7/2022	26/8/2022	28	78,50	68,10	7,40	6946,20	88,49	
17,5%	29/7/2022	26/8/2022	28	78,50	68,24	7,41	6960,48	88,67	
20,0%	29/7/2022	26/8/2022	28	78,50	58,90	3,33	6007,80	76,53	76,53
20,0%	29/7/2022	26/8/2022	28	78,50	59,10	3,34	6028,20	76,79	
20,0%	29/7/2022	26/8/2022	28	78,50	58,70	3,32	5987,40	76,27	
22,5%	2/8/2022	30/8/2022	28	78,50	48,20	2,73	4916,40	62,63	62,72
22,5%	2/8/2022	30/8/2022	28	78,50	48,50	2,74	4947,00	63,02	
22,5%	2/8/2022	30/8/2022	28	78,50	48,10	2,72	4906,20	62,50	
25,0%	2/8/2022	30/8/2022	28	78,50	32,90	1,86	3355,80	42,75	41,97
25,0%	2/8/2022	30/8/2022	28	78,50	31,90	1,80	3253,80	41,45	
25,0%	2/8/2022	30/8/2022	28	78,50	32,10	1,81	3274,20	41,71	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 37. Cálculos de permeabilidad IP-40 a los 28 días

Fecha de dosificación	Fecha de ensayo	Días	Vacíos	Tiempo seg	L cm	A cm ²	a cm ²	h1 cm	h2 cm	k cm/seg	k mm/seg
29/7/2022	26/8/2022	28	15,0%	8,70	15	78,50	78,5	30	1	5,86	58,63
29/7/2022	26/8/2022	28	17,5%	8,28	15	78,50	78,5	30	1	6,16	61,58
29/7/2022	26/8/2022	28	20,0%	8,12	15	78,50	78,5	30	1	6,28	62,84
2/8/2022	30/8/2022	28	22,5%	7,98	15	78,50	78,5	30	1	6,39	63,90
2/8/2022	30/8/2022	28	25,0%	7,54	15	78,50	78,5	30	1	6,76	67,62

Fuente: Elaboración propia

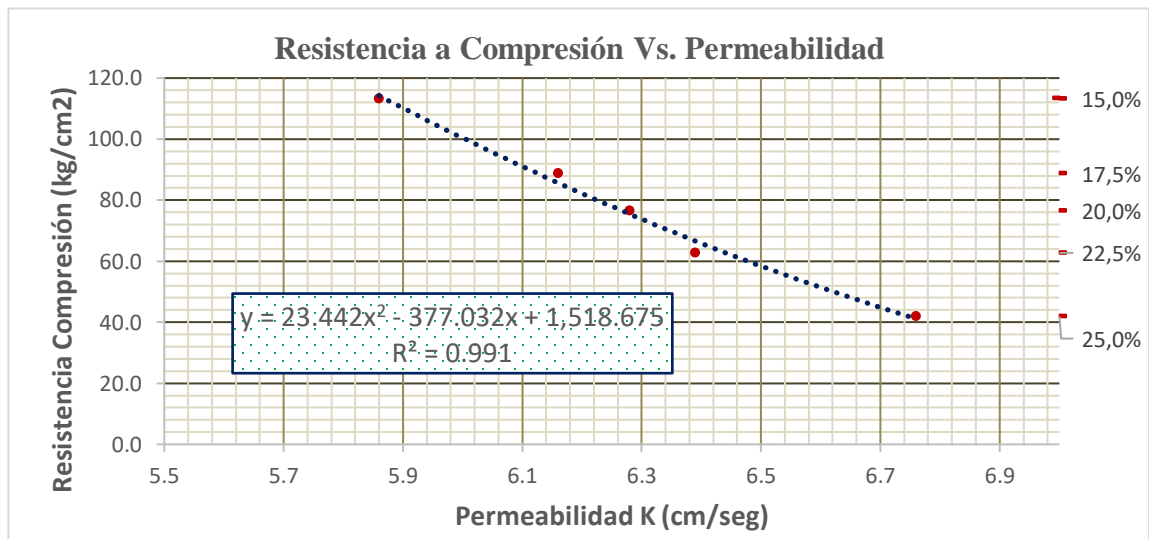
Tabla 3. 38. Análisis de resultado de vigas IP-40 a los 28 días

Identificación	Fecha de	Fecha de	Edad (días)	Ancho "b" (cm)	Alto "d" (cm)	Largo "L" (cm)	Carga	Carga	MR	MR promedio (Kg/cm2)
	Vaciado	Rotura					"F" (KN)	"F" (kg)		
15,0%	1/7/2021	29/7/2021	28	15	15	45	58,8	5998,62	79,98	78,85
15,0%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	57,2	5837,46	77,83	
15,0%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	57,9	5904,78	78,73	
17,5%	1/7/2021	29/7/2021	28	15	15	45	45,1	4600,20	61,34	61,70
17,5%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	45,8	4671,60	62,29	
17,5%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	45,2	4610,40	61,47	
20,0%	1/7/2021	29/7/2021	28	15	15	45	38,5	3927,00	52,36	51,63
20,0%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	38,1	3886,20	51,82	
20,0%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	37,3	3804,60	50,73	
22,5%	1/7/2021	29/7/2021	28	15	15	45	33,9	3456,78	46,09	44,96
22,5%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	32,5	3319,08	44,25	
22,5%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	32,8	3340,50	44,54	
25,0%	1/7/2021	29/7/2021	28	15	15	45	26,9	2743,80	36,58	36,52
25,0%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	27,1	2766,24	36,88	
25,0%	12/8/2021	9/9/2021	28	15	15	45	26,5	2707,08	36,09	

Fuente: Elaboración propia

Gráficas de correlación a los 28 días.

Gráfica 3. 12. Correlación de probetas cilíndricas IP-40 a los 28 días



Fuente: Elaboración propia

Para el concreto poroso, evaluado a los 28 días de maduración, la correlación que mejor resultado exhibe entre los ensayos de resistencia a la compresión y la permeabilidad, es la polinómica de grado 2 como se muestra en la Gráfica 3.12. Además de evidenciarse que no presenta una variación en el coeficiente de determinación (R^2), esto con respecto a las otras tendencias gráficas analizadas.

Gráficamente, es posible representarse con la siguiente fórmula, la cual consta de un alto coeficiente de determinación R^2 .

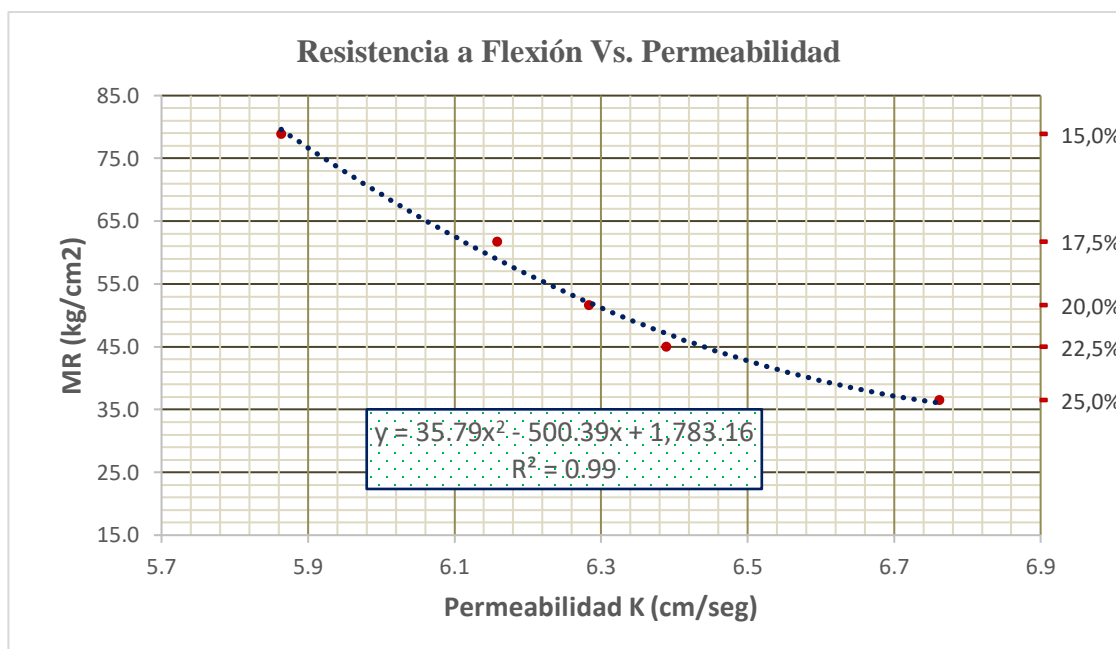
$$y = 23,442x^2 - 377,032 + 1518,675$$

Dónde:

y= Resistencia a la compresión (Kg/cm^2).

x= Permeabilidad (cm/seg)

Gráfica 3. 13. Correlación de vigas IP-40 a los 28 días



Fuente: Elaboración propia

Evaluable a los 28 días de maduración, la correlación que mejor resultado exhibe entre los ensayos de resistencia a flexión y la permeabilidad, es la polinómica de grado 2 como se muestra en la Gráfica 3.13; además de evidenciarse que presenta una importante variación en el coeficiente de determinación (R^2), esto con respecto a las otras tendencias analizadas.

Gráficamente es posible representarse con la siguiente fórmula:

$$y = 35,79x^2 - 500,39x + 1783,16$$

Dónde:

y = Resistencia a la compresión (Kg/cm²).

x = Permeabilidad (cm/seg).

3.6. PRUEBA DE INFILTRACIÓN

Para la prueba de infiltración se tomó los cilindros de diseño que se someterán al método de prueba de la Norma ACI 522R.

3.5.1. Infiltración

Se eligió a la estación pluviométrica del Aeropuerto Tarija, como se menciona a continuación en la tabla siguiente:

Tabla 3. 39. Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel

Nº	Año	Precipitación (mm)		Nº	Año	Precipitación (mm)	
		x_i	$(x_i - x)^2$			x_i	$(x_i - x)^2$
1	1944	30,00	634,112	39	1982	41,00	201,117
2	1945	72,00	282,859	40	1983	34,00	448,659
3	1946	46,00	84,301	41	1984	59,00	14,580
4	1947	72,50	299,928	42	1985	37,80	302,119
5	1948	58,20	9,111	43	1986	42,00	173,754
6	1949	57,00	3,307	44	1987	97,80	1816,330
7	1950	45,20	99,632	45	1988	39,40	249,058
8	1951	55,20	0,000	46	1989	74,00	354,133
9	1952	68,30	172,093	47	1990	44,00	125,028
10	1953	41,40	189,932	48	1991	48,00	51,575
11	1954	125,00	4874,612	49	1992	68,10	166,886
12	1955	56,00	0,670	50	1993	50,10	25,822
13	1956	57,20	4,074	51	1994	38,20	288,374
14	1957	54,20	0,963	52	1995	45,00	103,665
15	1958	56,00	0,670	53	1996	52,00	10,122
16	1959	60,10	24,191	54	1997	27,70	755,237
17	1960	54,00	1,396	55	1998	48,00	51,575
18	1961	70,00	219,586	56	1999	74,70	380,969
19	1962	37,00	330,570	57	2000	78,00	520,680
20	1963	51,00	17,486	58	2001	82,00	719,228
21	1964	52,00	10,122	59	2002	60,00	23,217
22	1965	37,00	330,570	60	2003	48,80	40,725
23	1966	106,00	2582,512	61	2004	52,40	7,737
24	1967	56,00	0,670	62	2005	54,20	0,963
25	1968	55,00	0,033	63	2006	49,50	32,280
26	1969	57,00	3,307	64	2007	48,30	47,356
27	1970	83,30	790,646	65	2008	38,60	274,949
28	1971	55,10	0,007	66	2009	43,20	143,558
29	1972	45,00	103,665	67	2010	75,20	400,737
30	1973	82,60	751,770	68	2011	52,00	10,122
31	1974	48,50	44,643	69	2012	41,40	189,932

32	1975	58,90	13,827	70	2013	29,20	675,042
33	1976	40,60	212,622	71	2014	67,30	146,856
34	1977	59,00	14,580	72	2015	58,80	13,093
35	1978	49,00	38,212	73	2016	35,60	383,438
36	1979	34,60	423,601	74	2017	57,30	4,488
37	1980	39,70	239,679	75	2018	56,20	1,037
38	1981	64,40	84,979	76	2019	55,00	0,033
-	-	-	-	Suma		4193,8	22049,4

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de variables probabilísticas:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{4193,80}{76}$$

$$\bar{x} = 55,18 \text{ mm}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{22049,40}{76 - 1}}$$

$$S = 17,15 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * 17,15$$

$$\alpha = 13,37 \text{ mm}$$

$$\mu = \bar{x} - 0,5772 * \alpha$$

$$\mu = 55,18 - 0,5772 * 13,37$$

$$\mu = 47,47 \text{ mm}$$

Tabla 3.40. Cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables para distintas frecuencias

Periodo retorno	Variable reducida	Precip. (mm)	Prob. de ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0,3665	52,3649	0,5000	59,1724
5	1,4999	67,5175	0,8000	76,2948
10	2,2504	77,5499	0,9000	87,6314
25	3,1985	90,2258	0,9600	101,9551
50	3,9019	99,6295	0,9800	112,5813
100	4,6001	108,9637	0,9900	123,1290
500	6,2136	130,5338	0,9980	147,5032

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 41. Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas.

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0,30	0,39	0,46	0,52	0,57	0,61	0,68	0,80	0,91	1,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 42. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

Tiempo de duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	59,1724	76,2948	87,6314	101,9551	112,5813	123,1290	147,5032
18 hr	X18 = 91%	53,8469	69,4283	79,7445	81,5641	102,4490	112,0474	134,2279
12 hr	X12 = 80%	47,3379	61,0359	70,1051	81,5641	90,0650	98,5032	118,0025
8 hr	X8 = 68%	40,2372	51,8805	59,5893	69,3295	76,5553	83,7277	100,3022
6 hr	X6 = 61%	36,0952	46,5398	53,4551	62,1926	68,6746	75,1087	89,9769
5 hr	X5 = 57%	33,7283	43,4880	49,9499	58,1144	64,1713	70,1835	84,0768
4 hr	X4 = 52%	30,7696	39,6733	45,5683	53,0167	58,5423	64,0271	76,7017
3 hr	X3 = 46%	27,2193	35,0956	40,3104	46,8994	51,7874	56,6393	67,8515
2 hr	X2 = 39%	23,0772	29,7550	34,1762	39,7625	43,9067	48,0203	57,5262
1 hr	X1 = 30%	17,7517	22,8884	26,2894	30,5865	33,7744	36,9387	44,2510

Fuente: Elaboración propia

Intensidades de lluvia a partir de Pd, según duración de precipitación y frecuencia de la misma.

$$I = \frac{P \text{ (mm)}}{t_{\text{duración}} \text{ (hr)}}$$

Tabla 3. 43. Intensidades de lluvia a partir de Pd

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	2,4655	3,1790	3,6513	4,2481	4,6909	5,1304	6,1460
18 hr	1080	2,9915	3,8571	4,4303	4,5313	5,6916	6,2249	7,4571
12 hr	720	3,9448	5,0863	5,8421	6,7970	7,5054	8,2086	9,8335
8 hr	480	5,0297	6,4851	7,4487	8,6662	9,5694	10,4660	12,5378
6 hr	360	6,0159	7,7566	8,9092	10,3654	11,4458	12,5181	14,9962
5 hr	300	6,7457	8,6976	9,9900	11,6229	12,8343	14,0367	16,8154
4 hr	240	7,6924	9,9183	11,3921	13,2542	14,6356	16,0068	19,1754
3 hr	180	9,0731	11,6985	13,4368	15,6331	17,2625	18,8798	22,6172
2 hr	120	11,5386	14,8775	17,0881	19,8812	21,9534	24,0102	28,7631
1 hr	60	17,7517	22,8884	26,2894	30,5865	33,7744	36,9387	44,2510

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. 44. Resumen de aplicación de regresión potencial

Periodo de Retorno (años)	Término ctte. de regresión (d)	Coef. de regresión [n]
2	223,70267333796	-0,61638608809
5	288,43449247319	-0,61638608809
10	331,29258924216	-0,61638608809
25	420,63527223041	-0,63362500463
50	425,61644990604	-0,61638608809
100	465,49236394517	-0,61638608809
500	557,63951392077	-0,61638608809
Promedio	387,54476500796	-0,61884879045

Fuente: Elaboración propia

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación:

$$d = K * T^m$$

Tabla 3. 45. Regresión lineal

Regresión potencial						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	223,7027	0,6931	5,4103	3,7501	0,4805
2	5	288,4345	1,6094	5,6645	9,1166	2,5903
3	10	331,2926	2,3026	5,8030	13,3619	5,3019
4	25	420,6353	3,2189	6,0418	19,4477	10,3612
5	50	425,6164	3,9120	6,0535	23,6816	15,3039
6	100	465,4924	4,6052	6,1431	28,2900	21,2076
7	500	557,6395	6,2146	6,3237	39,2994	38,6214
7	692	2712,8134	22,5558	41,4399	136,9473	93,8667
Ln (K) = 5,4003		K = 221,4660		m = 0,1613		

Fuente: Elaboración propia

Termino constante de regresión (K)= 221,4660

Coef. de regresión (m)= 0,161289

La ecuación de intensidad válida para la cuenca resulta:

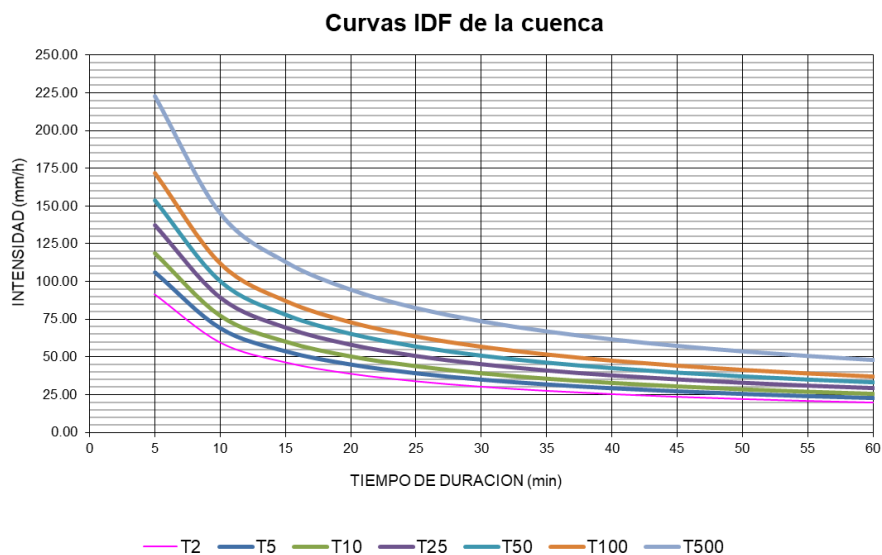
$$I = \frac{221,4660 * T^{0,161289}}{t^{0,61885}}$$

Tabla 3. 46. Intensidades

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia	Duración en minutos											
	años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
2	91,48	59,57	46,35	38,79	33,79	30,18	27,44	25,26	23,48	22,00	20,74	19,65
5	106,04	69,05	53,73	44,97	39,17	34,99	31,81	29,28	27,22	25,51	24,04	22,78
10	118,59	77,22	60,09	50,29	43,80	39,13	35,57	32,75	30,44	28,52	26,89	25,48
25	137,47	89,52	69,66	58,30	50,78	45,36	41,23	37,96	35,29	33,07	31,17	29,54
50	153,74	100,11	77,90	65,19	56,78	50,72	46,11	42,45	39,47	36,98	34,86	33,03
100	171,92	111,95	87,11	72,90	63,50	56,72	51,56	47,47	44,14	41,35	38,98	36,94
500	222,88	145,14	112,93	94,51	82,32	73,54	66,85	61,54	57,22	53,61	50,54	47,89

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3. 14. Curvas IDF



Fuente: Elaboración propia

La Intensidad de lluvia de diseño se puede considerar como el valor hallado con el método Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia. Las curvas IDF nos indican el volumen de agua de lluvia para un determinado periodo de retorno (10 años) y duración de precipitación (1 hora) escogidos. Se obtuvo una intensidad de 25.48 mm/h, e intensidad de diseño de 254.80 mm/h, con el factor por colmatación de la superficie del pavimento permeable.

CAPÍTULO IV
PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE
RESULTADOS

4. PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

El análisis del tratamiento estadístico sigue una secuencia de pasos para hallar confiabilidad en los resultados del diseño del concreto poroso.

Respecto a la validación de los resultados, se tomaron las variables estudiadas: la permeabilidad y resistencia.

4.1. RESULTADOS PARA EL INICIO DEL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO CORRESPONDIENTE

Tabla 4. 1. Resumen de resultados de resistencia a la flexión 7 días, con cemento IP-40

N°	Días	% Vacíos	Resistencia flexión Kg/cm2	Permeabilidad mm/seg
1	7	15,00%	42,69	51,74
2	7	17,50%	38,45	55,14
3	7	20,00%	32,17	56,90
4	7	22,50%	25,11	58,53
5	7	25,00%	18,11	60,61

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 2. Resumen de resultados de resistencia a la flexión 14 días, con cemento IP-40

N°	Días	% Vacíos	Resistencia flexión Kg/cm2	Permeabilidad mm/seg
1	14	15,00%	74,08	54,77
2	14	17,50%	59,72	56,37
3	14	20,00%	45,06	57,81
4	14	22,50%	39,40	60,34
5	14	25,00%	30,75	61,83

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 3. Resumen de resultados de resistencia a la flexión 28 días, con cemento IP-40

N°	Días	% Vacíos	Resistencia flexión Kg/cm2	Permeabilidad mm/seg
1	28	15,00%	78,85	58,63
2	28	17,50%	61,70	61,58
3	28	20,00%	51,63	62,84
4	28	22,50%	44,96	63,90
5	28	25,00%	36,52	67,62

Fuente: Elaboración propia

4.2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

4.2.1. Cálculo de curva de frecuencia relativa y acumulada

Para calcular la frecuencia relativa es necesario calcular la frecuencia absoluta. Sin la cual no podríamos obtener la frecuencia relativa. La frecuencia relativa se representa con las letras h_i y su fórmula de cálculo es la siguiente:

$$h_i = \frac{f_i}{N}$$

Donde:

h_i = Frecuencia relativa

f_i = Frecuencia absoluta (número de veces que se repite el suceso)

N = Número total de observaciones de la muestra

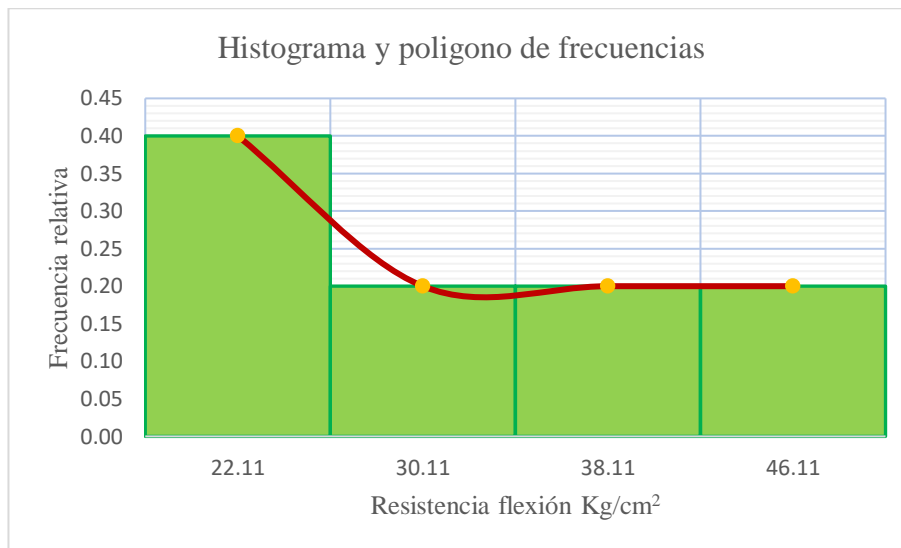
4.2.2. Determinación del histograma 7 días

Tabla 4. 4. Cálculo de histograma 7 días

Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acum.	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acum.	$f_i * X_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$f_i * (X_i - \bar{X})^2$
		X_i	f_i	F_i	h_i	H_i				
18,11	26,11	22,11	2,00	2,00	0,40	0,40	44,22	-9,60	92,16	184,32
26,11	34,11	30,11	1,00	3,00	0,20	0,60	30,11	-1,60	2,56	2,56
34,11	42,11	38,11	1,00	4,00	0,20	0,80	38,11	6,40	40,96	40,96
42,11	50,11	46,11	1,00	5,00	0,20	1,00	46,11	14,40	207,36	207,36
Total			5,00	-	1	-	158,55	9,60	343	435

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4. 1. Histograma y polígono de frecuencias a los 7 días



Fuente: Elaboración propia

Cálculo de medidas de tendencia central 7 días

Tomando los valores de los resultados para el análisis estadístico considera la media aritmética como se muestra en la Tabla.

Tabla 4. 5. Medidas de tendencia central 7 días

Número de muestras (N)	5,00
Rango de datos (Rx)	32,00
Número de intervalos (K)	4,00
Amplitud (A)	8,00
Media (\bar{X})	31,71
Mediana (\bar{X}_m)	30,11
Moda (\bar{X}_o)	23,44

Fuente: Elaboración propia

Cálculos de medidas de dispersión 7 días

Paso 1. Varianza.

$$S^2 = \sigma^2$$

$$\sigma^2 = \frac{fi * (Xi - \bar{X})^2}{N - 1}$$

$$\sigma^2 = 108,80 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Paso 2. Desviación estándar.

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{f_i * (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

$$S = \sqrt{108,80}$$

$$S = 10,43 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

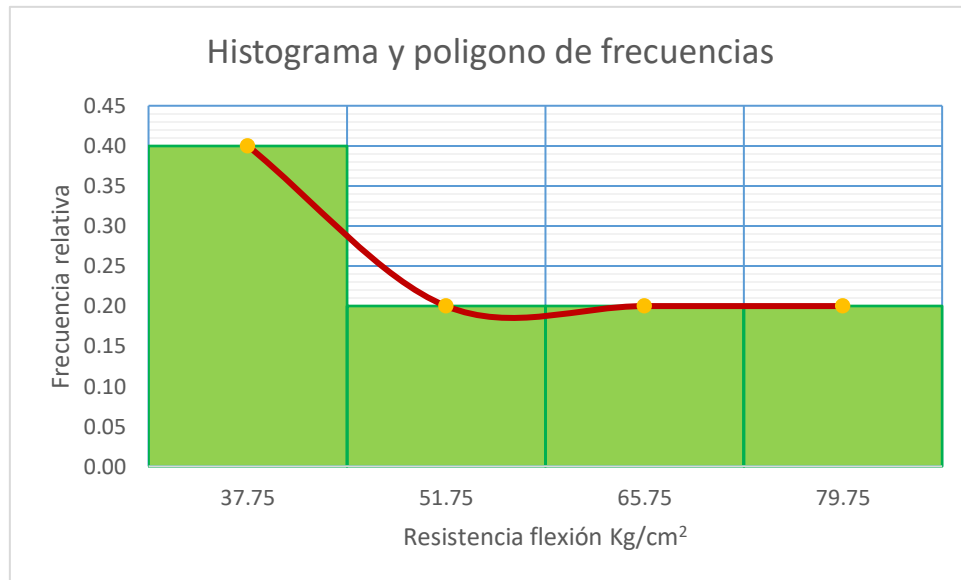
4.2.3. Determinación del histograma 14 días

Tabla 4. 6. Cálculo de histograma 14 días

Límite inferior	Límite superior	Marc a de clase	Frecuenci a absoluta	Frecuenci a absoluta acum.	Frecuencia relativa	Frecuenci a relativa acum.	fi*Xi	Xi- \bar{X}	(Xi- \bar{X}) ²	fi*(Xi- \bar{X}) ²
		Xi	fi	Fi	hi	Hi				
30,75	44,75	37,75	2,00	2,00	0,40	0,40	75,50	-16,80	282,24	564,48
44,75	58,75	51,75	1,00	3,00	0,20	0,60	51,75	-2,80	7,84	7,84
58,75	72,75	65,75	1,00	4,00	0,20	0,80	65,75	11,20	125,44	125,44
72,75	86,75	79,75	1,00	5,00	0,20	1,00	79,75	25,20	635,04	635,04
Total			5,00	-	1	-	272,75	16,80	1051	1333

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4. 2. Histograma y polígono de frecuencia a los 14 días



Fuente: Elaboración propia

Cálculo de medidas de tendencia central 14 días

Tabla 4. 7. Medidas de tendencia central 14 días

Número de muestras (N)	5,00
Rango de datos (Rx)	56,00
Número de intervalos (K)	4,00
Amplitud (A)	14,00
Media (\bar{X})	54,55
Mediana (\bar{X}_m)	51,75
Moda (X_o)	40,08

Fuente: Elaboración propia

Cálculos de medidas de dispersión 14 días

Tabla 4. 8. Medidas de dispersión 14 días

Varianza (σ^2)	333,20
Desviación estándar (σ)	18,25
Coefficiente de Variación (CV)	33,46

Fuente: Elaboración propia

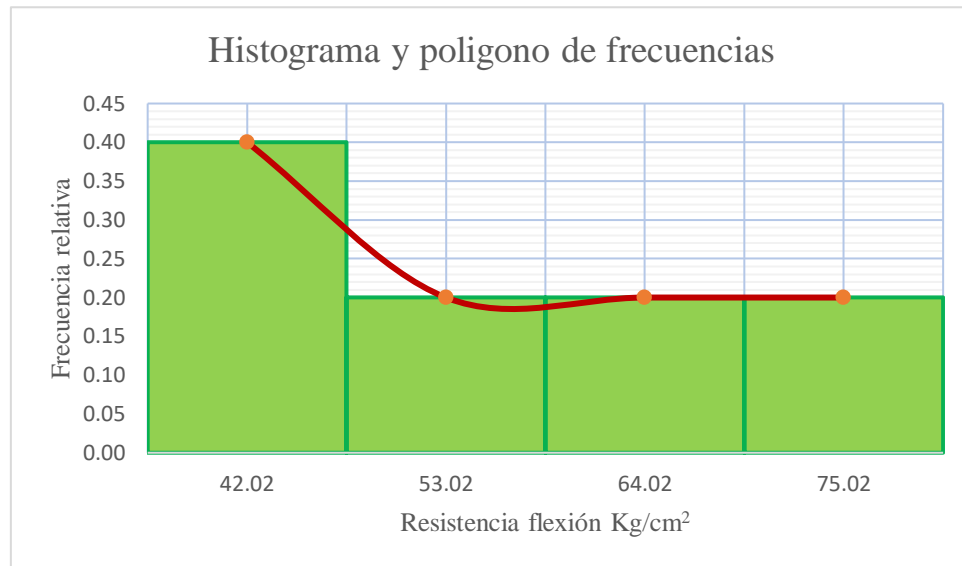
4.2.4. Determinación del histograma 28 días

Tabla 4. 9. Cálculo de histograma 28 días

Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia absoluta acum.	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acum.	fi*Xi	Xi- \bar{X}	(Xi- \bar{X}) ²	fi*(Xi- \bar{X}) ²
			fi	Fi	hi	Hi				
36,52	47,52	42,02	2,00	2,00	0,40	0,40	84,04	-13,20	174,24	348,48
47,52	58,52	53,02	1,00	3,00	0,20	0,60	53,02	-2,20	4,84	4,84
58,52	69,52	64,02	1,00	4,00	0,20	0,80	64,02	8,80	77,44	77,44
69,52	80,52	75,02	1,00	5,00	0,20	1,00	75,02	19,80	392,04	392,04
Total			5,00	-	1	-	276,10	44,00	1597	823

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4. 3. Histograma y polígono de frecuencia a los 28 días



Fuente: Elaboración propia

Cálculo de medidas de tendencia central 28 días

Tabla 4. 10. Medidas de tendencia central 28 días

Número de muestras (N)	5,00
Rango de datos (Rx)	44,00
Número de intervalos (K)	4,00
Amplitud (A)	11,00
Media (\bar{X})	55,22
Mediana (\bar{X}_m)	53,02
Moda (\bar{X}_o)	43,85

Fuente: Elaboración propia

Cálculos de medidas de dispersión 28 días

Tabla 4. 11. Medidas de dispersión 28 días

Varianza (σ^2)	205,70
Desviación estándar (σ)	14,34
Coefficiente de Variación (CV)	25,97

Fuente: Elaboración propia

4.3. ESTADÍSTICA INFERENCIAL

Paso 1. Error medio de la media

$$E_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$$E_{\bar{x}} = \frac{14,34}{\sqrt{5}}$$

$$E_{\bar{x}} = 6,41 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Paso 2. Error probable

$$E_p = Z * E_{\bar{x}}$$

NC = Nivel de confianza = 95 % → Z= 1,96 (De tabla, distribución normal)

$$E_p = 1,96 * 6,41$$

$$E_p = 12,57$$

Paso 3. Rango de confianza.

\bar{X} = (Media aritmética) = 55,22 Kg/cm².

$$Va = \bar{X} \pm E_p$$

$$Va = 67,79 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow \text{Valor máximo}$$

$$Va = 48,81 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow \text{Valor mínimo}$$

Como se puede observar el resultado de la media aritmética de los ensayos realizados se encuentran en el rango de confianza dando así validez a los resultados obtenidos.

A continuación, se detalla un análisis de los resultados obtenidos por el tratamiento estadístico.

Tabla 4. 12. Estadística inferencial 28 días

Error medio de la media (Em)	6,41
Error probable (Ep)	12,57
Rango de confianza superior ($\bar{X}+E_p$)	67,79
Rango de confianza inferior($\bar{X}-E_p$)	48,81

Fuente: Elaboración propia

4.4. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Se analizará con los datos de la correlación para una edad de 28 días, ya que es donde se obtiene su mayor resistencia del concreto.

Para la prueba de hipótesis se debe seguir unas secuencias de pasos que se detallaran a continuación.

Paso 1: Determinar la prueba de hipótesis.

Variable dependiente: Resistencia

Datos:

$$n = N^{\circ} \text{ de probetas de diseño} = 15$$

$$\bar{X} = \text{Media aritmética} = 55,22 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S = \text{Desviación muestral} = 14,34$$

$$\mu = \text{Media poblacional (10,5 kg/cm}^2 \text{ y 40 kg/cm}^2) = 40 \text{ kg/cm}^2$$

Paso 2: Generando la hipótesis.

Tabla 4. 13. Tipos de relación en función a la hipótesis

Ho	H1
=	≠
≤	>
≥	<

Fuente: Elaboración propia

Donde:

Ho = Hipótesis nula

H1 = Hipótesis alternativa

En la tabla 4.13 se muestra la relación en función de la hipótesis.

$$H1: \bar{X} > \mu$$

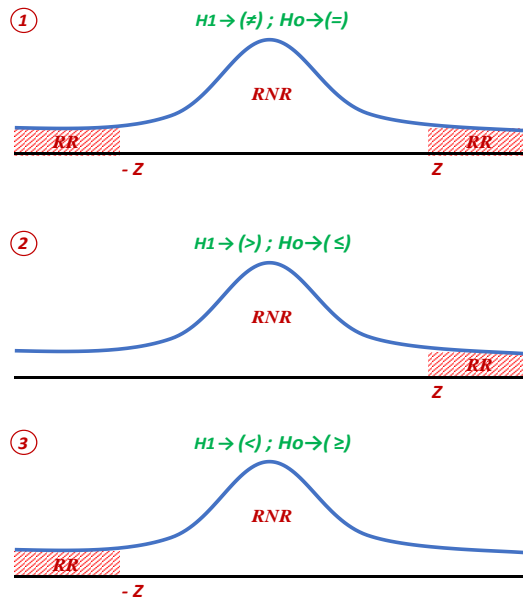
$$Ho = \bar{X} \leq \mu$$

Reemplazando tenemos:

$$H1: 55,22 > 40$$

$$Ho = 55,22 \leq 40$$

Gráfica 4. 4. Tipos de regiones según el tipo de relación en función a la hipótesis



Fuente: Elaboración propia

Paso 3: Determinar el nivel de Significancia (α).

$$NC + \alpha = 1$$

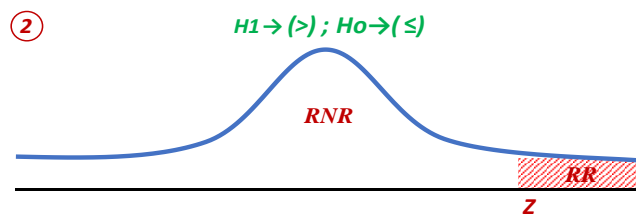
NC = Nivel de confianza = 95.00 % = 0.95

$\alpha = 1.00 - 0.95 = 0.05$ (Tabla distribución normal)

Z = 1.96 (De la tabla de distribución normal)

De la gráfica 4,4, obtenemos el tipo de región el cuál es el 3 con la cola a la izquierda.

Gráfica 4. 5. Región 3, cola a la izquierda



Fuente: Elaboración propia

Paso 4: Calcular el Z_c .

$$Z_c = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$$

$$\sigma = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Calculando:

$$\sigma = \frac{14,34}{\sqrt{15}}$$

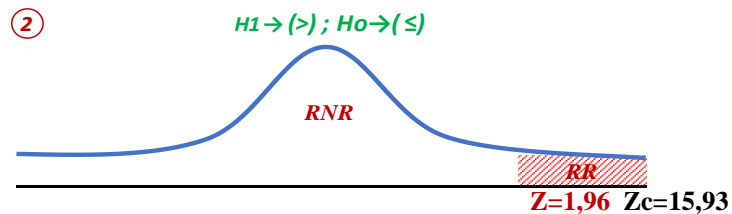
$$\sigma = 3,70$$

$$Z_c = \frac{55,22 - 40}{5,30/\sqrt{15}}$$

$$Z_c = 15,93$$

Paso 5: Verificar con el Z_c en qué región se encuentra dicho valor.

Gráfica 4. 6. Región 3, con valores calculados



Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 4.6 se advierte que el Z_c está en la región rechazada (RR) con cola hacia la derecha.

Paso 6: Conclusión.

La hipótesis nula es rechazada por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa.

Al terminar la prueba de hipótesis, se puede verificar que la hipótesis planteada es válida ya que se puede utilizar la correlación de resistencia y permeabilidad a los 28 días con una confiabilidad del 95%, donde con la misma se puede obtener resultados con un grado de aceptación favorable, respecto a los datos obtenidos en laboratorio.

4.5. PRECIOS UNITARIOS DE LA MEZCLA DE CONCRETO POROSO

Se realizó el análisis de precios unitarios por metro cúbico para la mezcla de concreto poroso.

El precio a tener en cuenta es el costo de producción, este es uno de los indicadores más importantes a considerar en los proyectos de ingeniería civil. Por lo tanto, mientras más eficiente sea menor será la inversión de los recursos en la producción de la mezcla y menor será la cuantía de los gastos.

Para la ejecución y transporte de la misma, el análisis de precios unitarios, que comprende los costos de materiales, mano de obra, equipo y herramientas, gastos generales e impuestos.

A continuación, se detalla la dosificación para una mezcla de concreto poroso:

Tabla 4. 14. Dosificación para 1 m³ de mezcla porosa 15% de vacíos

Dosificación para 1 m ³ de la mezcla porosa 15% de vacíos				
Material	Peso (kg)	Porcentajes de materiales	Peso específico (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Grava triturada	1594,06	70,85%	2667	0,598
Cemento	449,99	20,00%	3040	0,148
Agua	205,95	9,15%	1000	0,206

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 15. Precios unitarios de la mezcla de concreto poroso 15% de vacíos

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
Proyecto : Carpeta de concreto poroso 15%			Item N°	1
Actividad: Colocado de carpeta		CANTIDAD : 1,00		
Unidad : m ³		MONEDA : Bs		
Tipo de cambio Bs/\$us:				6,91
Descripción	Unidad	Cantidad o rendimiento	Precio unitario	Costo total
1.- MATERIALES				
Grava triturada (grava,gravilla)	m ³	0,5977	150,00	89,65
Cemento	kg	0,1480	50,00	7,40
Agua	lts	0,2059	1,00	0,21
TOTAL MATERIALES				97,26
2.- MANO DE OBRA				
Maestro hormigonero especialista	hr	0,6100	18,75	11,44
Ayudante hormigonero	hr	0,2540	12,50	3,18
SUBTOTAL MANO DE OBRA				14,61
BENEFICIOS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA)			71,18%	10,40
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO = (% SUBTOTAL M.O. + CARGAS SOCIAL)			14,94%	3,74
TOTAL MANO DE OBRA				28,75
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
Camion Mixer	hr	0,1040	1.274,43	132,54
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA)			5,00%	1,44
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				133,98
4.- GASTOS GENERALES				
GASTOS GENERALES = % DE (1+2+3)			15,50%	40,30
TOTAL GASTOS GENERALES				40,30
5.- UTILIDAD				
UTILIDADES = % (de 1+2+3+4)			10,00%	30,03
TOTAL UTILIDAD				30,03
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES = % DE (de 1+2+3+4+5)			3,09%	10,21
TOTAL IMPUESTOS				10,21
TOTAL PRECIO UNITARIO				340,53

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 16. Dosificación para 1 m³ de mezcla porosa 17.50% de vacíos

Dosificación para 1 m ³ de la mezcla porosa 17.5% de vacíos				
Material	Peso (kg)	Porcentajes de materiales	Peso específico (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Grava triturada	1643,37	73,04%	2667	0,616
Cemento	414,20	18,41%	3040	0,136
Agua	192,43	8,55%	1000	0,192

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 17. Precios unitarios de la mezcla de concreto poroso 17.50% de vacíos

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
Proyecto : Carpeta de concreto poroso 17,5%				Item N° 1
Actividad: Colocado de carpeta			CANTIDAD : 1,00	
Unidad : m ³			MONEDA : Bs	
Tipo de cambio Bs/\$us:				6,91
Descripción	Unidad	Cantidad o rendimiento	Precio unitario	Costo total
1.- MATERIALES				
Grava triturada (grava,gravilla)	m ³	0,6162	150,00	92,43
Cemento	kg	0,1362	50,00	6,81
Agua	lts	0,1924	1,00	0,19
TOTAL MATERIALES				99,43
2.- MANO DE OBRA				
Maestro hormigonero especialista	hr	0,6100	18,75	11,44
Ayudante hormigonero	hr	0,2540	12,50	3,18
SUBTOTAL MANO DE OBRA				14,61
BENEFICIOS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA)			71,18%	10,40
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO = (% SUBTOTAL M.O. + CARGAS SOCIAL)			14,94%	3,74
TOTAL MANO DE OBRA				28,75
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
Camion Mixer	hr	0,1040	1.274,43	132,54
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA)			5,00%	1,44
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				133,98
4.- GASTOS GENERALES				
GASTOS GENERALES = % DE (1+2+3)			15,50%	40,64
TOTAL GASTOS GENERALES				40,64
5.- UTILIDAD				
UTILIDADES = % (de 1+2+3+4)			10,00%	30,28
TOTAL UTILIDAD				30,28
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES = % DE (de 1+2+3+4+5)			3,09%	10,29
TOTAL IMPUESTOS				10,29
TOTAL PRECIO UNITARIO				343,37

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 18. Dosificación para 1 m³ de mezcla porosa 20% de vacíos

Dosificación para 1 m ³ de la mezcla porosa 20% de vacíos				
Material	Peso (kg)	Porcentajes de materiales	Peso específico (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Grava triturada	1677,97	74,58%	2667	0,629
Cemento	389,08	17,29%	3040	0,128
Agua	182,95	8,13%	1000	0,183

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 19. Precios unitarios de la mezcla de concreto poroso 20% de vacíos

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
Proyecto : Carpeta de concreto poroso 20%			Item N°	1
Actividad: Colocado de carpeta		CANTIDAD :		1,00
Unidad : m ³		MONEDA :		Bs
Tipo de cambio Bs/\$us:				6,91
Descripción	Unidad	Cantidad o rendimiento	Precio unitario	Costo total
1.- MATERIALES				
Grava triturada (grava,gravilla)	m ³	0,6292	150,00	94,37
Cemento	kg	0,1280	50,00	6,40
Agua	lts	0,1829	1,00	0,18
TOTAL MATERIALES				100,96
2.- MANO DE OBRA				
Maestro hormigonero especialista	hr	0,6100	18,75	11,44
Ayudante hormigonero	hr	0,2540	12,50	3,18
SUBTOTAL MANO DE OBRA				14,61
BENEFICIOS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA)			71,18%	10,40
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO = (% SUBTOTAL M.O. + CARGAS SOCIAL)			14,94%	3,74
TOTAL MANO DE OBRA				28,75
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
Camion Mixer	hr	0,1040	1.274,43	132,54
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA)			5,00%	1,44
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				133,98
4.- GASTOS GENERALES				
GASTOS GENERALES = % DE (1+2+3)			15,50%	40,87
TOTAL GASTOS GENERALES				40,87
5.- UTILIDAD				
UTILIDADES = % (de 1+2+3+4)			10,00%	30,46
TOTAL UTILIDAD				30,46
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES = % DE (de 1+2+3+4+5)			3,09%	10,35
TOTAL IMPUESTOS				10,35
TOTAL PRECIO UNITARIO				345,36

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 20. Dosificación para 1 m³ de mezcla porosa 22.50 % de vacíos

Dosificación para 1 m ³ de la mezcla porosa 22.5 % de vacíos				
Material	Peso (kg)	Porcentajes de materiales	Peso específico (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Grava triturada	1714,04	76,18%	2667	0,643
Cemento	362,90	16,13%	3040	0,119
Agua	173,06	7,69%	1000	0,173

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 21. Precios unitarios de la mezcla de concreto poroso 22.50% de vacíos

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
Proyecto : Carpeta de concreto poroso 22,5%			Item N°	1
Actividad: Colocado de carpeta		CANTIDAD : 1,00		
Unidad : m ³		MONEDA : Bs		
Tipo de cambio Bs/\$us:				6,91
Descripción	Unidad	Cantidad o rendimiento	Precio unitario	Costo total
1.- MATERIALES				
Grava triturada (grava,gravilla)	m ³	0,6427	150,00	96,40
Cemento	kg	0,1194	50,00	5,97
Agua	lts	0,1731	1,00	0,17
TOTAL MATERIALES				102,54
2.- MANO DE OBRA				
Maestro hormigonero especialista	hr	0,6100	18,75	11,44
Ayudante hormigonero	hr	0,2540	12,50	3,18
SUBTOTAL MANO DE OBRA				14,61
BENEFICIOS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA)			71,18%	10,40
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO = (% SUBTOTAL M.O. + CARGAS SOCIAL)			14,94%	3,74
TOTAL MANO DE OBRA				28,75
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
Camion Mixer	hr	0,1040	1.274,43	132,54
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA)			5,00%	1,44
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				133,98
4.- GASTOS GENERALES				
GASTOS GENERALES = % DE (1+2+3)			15,50%	41,12
TOTAL GASTOS GENERALES				41,12
5.- UTILIDAD				
UTILIDADES = % (de 1+2+3+4)			10,00%	30,64
TOTAL UTILIDAD				30,64
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES = % DE (de 1+2+3+4+5)			3,09%	10,41
TOTAL IMPUESTOS				10,41
TOTAL PRECIO UNITARIO				347,44

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 22. Dosificación para 1 m³ de mezcla porosa 25% de vacíos

Dosificación para 1 m ³ de la mezcla porosa 25% de vacíos				
Material	Peso (kg)	Porcentajes de materiales	Peso específico (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Grava triturada	1771,18	78,72%	2667	0,664
Cemento	321,42	14,29%	3040	0,106
Agua	157,40	7,00%	1000	0,157

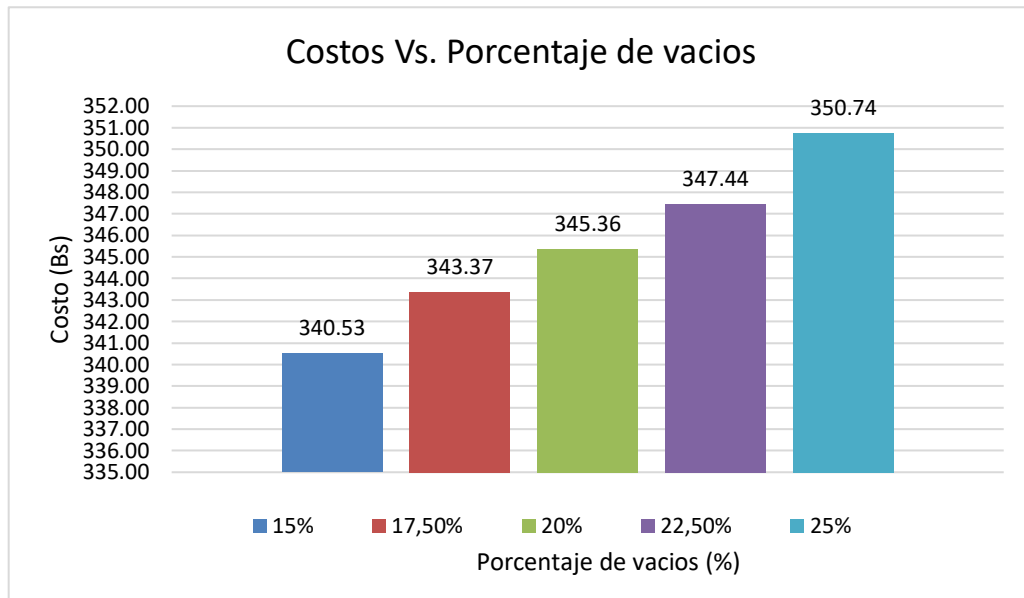
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 23. Precios unitarios de la mezcla de concreto poroso 25% de vacíos

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
Proyecto : Carpeta de concreto poroso 25%			Item N°	1
Actividad: Colocado de carpeta		CANTIDAD :	1,00	
Unidad : m ³		MONEDA :	Bs	
Tipo de cambio Bs/\$us:				6,91
Descripción	Unidad	Cantidad o rendimiento	Precio unitario	Costo total
1.- MATERIALES				
Grava triturada (grava, gravilla)	m ³	0,6641	150,00	99,62
Cemento	kr	0,1057	50,00	5,29
Agua	lts	0,1574	1,00	0,16
TOTAL MATERIALES				105,06
2.- MANO DE OBRA				
Maestro hormigonero especialista	hr	0,6100	18,75	11,44
Ayudante hormigonero	hr	0,2540	12,50	3,18
SUBTOTAL MANO DE OBRA				14,61
BENEFICIOS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA)			71,18%	10,40
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO = (% SUBTOTAL M.O. + CARGAS SOCIAL)			14,94%	3,74
TOTAL MANO DE OBRA				28,75
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
Camion Mixer	hr	0,1040	1.274,43	132,54
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA)			5,00%	1,44
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				133,98
4.- GASTOS GENERALES				
GASTOS GENERALES = % DE (1+2+3)			15,50%	41,51
TOTAL GASTOS GENERALES				41,51
5.- UTILIDAD				
UTILIDADES = % (de 1+2+3+4)			10,00%	30,93
TOTAL UTILIDAD				30,93
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES = % DE (de 1+2+3+4+5)			3,09%	10,51
TOTAL IMPUESTOS				10,51
TOTAL PRECIO UNITARIO				350,74

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4. 7. Costos Vs. Porcentajes de vacíos



Fuente: Elaboración propia

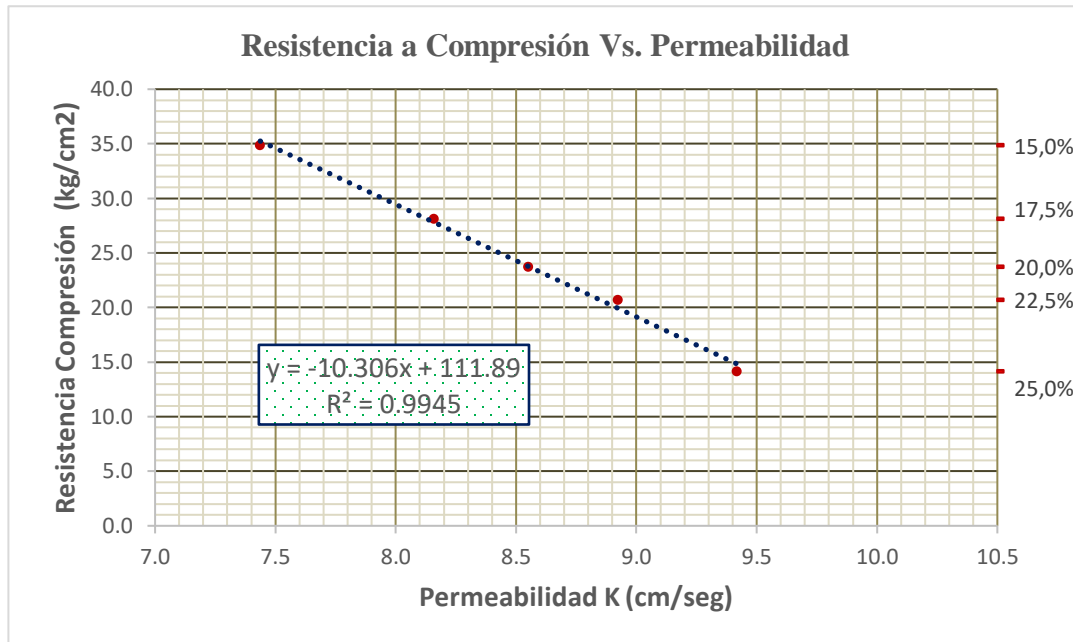
A menor porcentaje de vacíos menor es el costo y a mayor porcentaje de vacíos mayor el costo. Esto se debe porque a mayor porcentaje de vacíos se necesita más agregados gruesos para su elaboración.

4.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS CORRELACIONES

Analizando las correlaciones que se analizó anteriormente se pudo realizar un análisis de las correlaciones, para su verificación.

4.6.1. Análisis de resultados de las correlaciones a los 7 días, con cemento IP-30 y IP-40

Gráfica 4. 8. Correlación a los 7 días, resistencia a la compresión con cemento IP-30



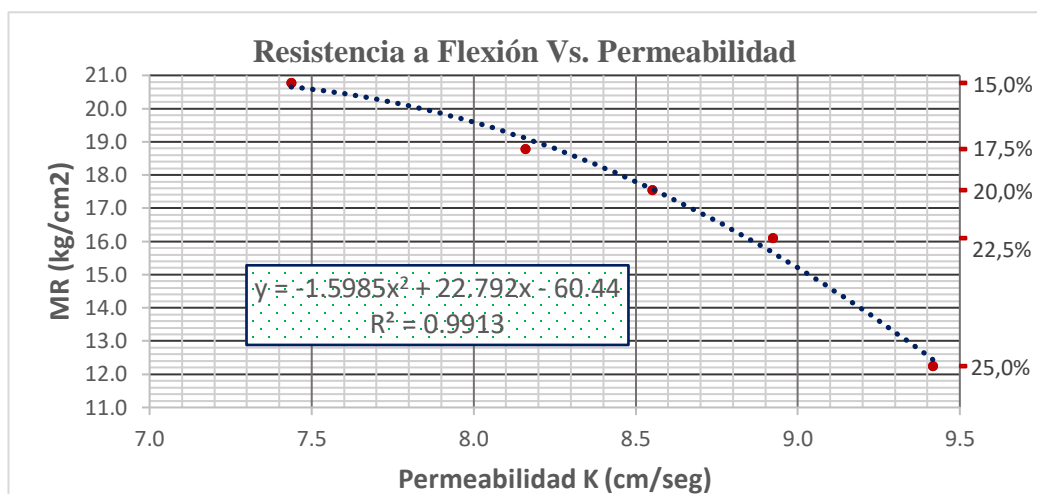
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.24. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a compresión en laboratorio a los 7 días, con cemento IP-30

Permeabilidad cm/seg	Correlación lineal	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia labo. (kg/cm ²)	% Vacíos
7,44	y=-10,306x+111,89	35,24	34,9	15,0%
8,16	y=-10,306x+111,89	27,79	28,1	17,5%
8,55	y=-10,306x+111,89	23,75	23,7	20,0%
8,92	y=-10,306x+111,89	19,91	20,7	22,5%
9,42	y=-10,306x+111,89	14,84	14,2	25,0%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4. 9. Correlación a los 7 días, resistencia a flexión con cemento IP-30



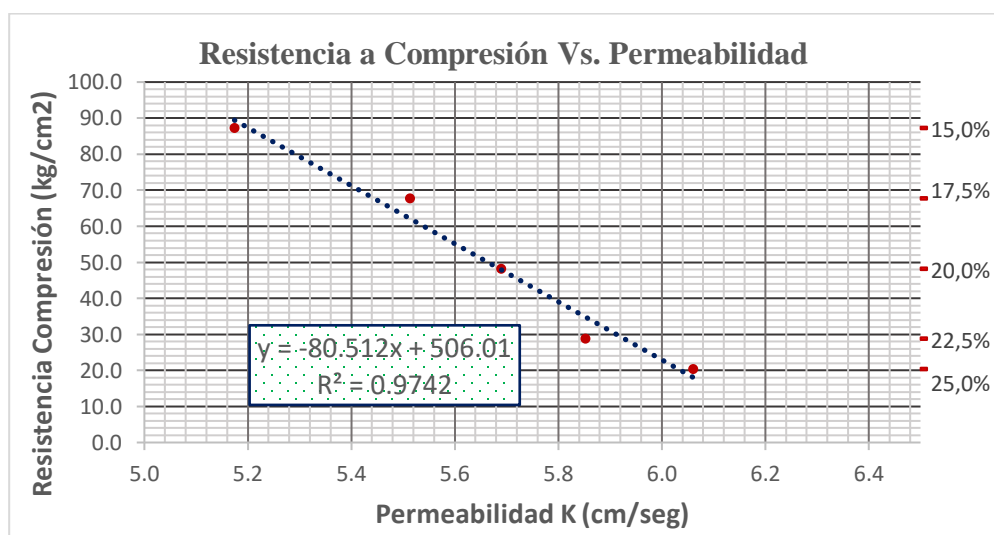
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.25. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a flexión en laboratorio a los 7 días, con cemento IP-30

Permeabilidad cm/seg	Correlación	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Lab. (kg/cm ²)	% Vacíos
7,44	$y = -1,5985x^2 + 22,792x - 60,44$	20,65	20,76	15,0%
8,16	$y = -1,5985x^2 + 22,792x - 60,44$	19,11	18,77	17,5%
8,55	$y = -1,5985x^2 + 22,792x - 60,44$	17,57	17,54	20,0%
8,92	$y = -1,5985x^2 + 22,792x - 60,44$	15,65	16,09	22,5%
9,42	$y = -1,5985x^2 + 22,792x - 60,44$	12,44	12,24	25,0%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4. 10. Correlación a los 7 días, resistencia a compresión con cemento IP-40



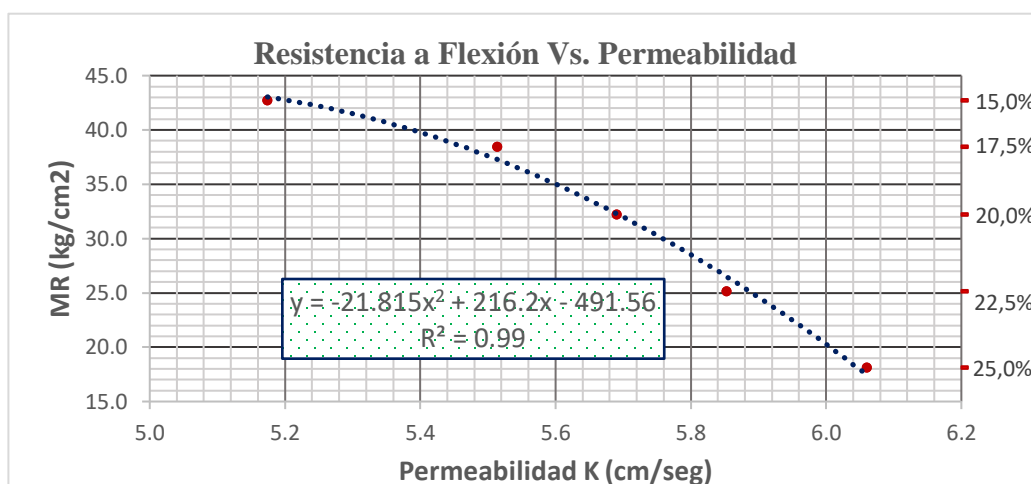
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.26. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a compresión en laboratorio a los 7 días, con cemento IP-40

Permeabilidad cm/seg	Correlación	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Lab. (kg/cm ²)	% Vacíos
5,17	$y=-80,512X+506,01$	89,42	87,3	15,0%
5,51	$y=-80,512X+506,01$	62,06	67,7	17,5%
5,69	$y=-80,512X+506,01$	47,86	48,1	20,0%
5,85	$y=-80,512X+506,01$	34,78	28,8	22,5%
6,06	$y=-80,512X+506,01$	18,05	20,4	25,0%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4. 11. Correlación a los 7 días, resistencia a flexión con cemento IP-40



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.27. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a flexión en laboratorio a los 7 días, con cemento IP-40

Permeabilidad cm/seg	Correlación	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Lab. (kg/cm ²)	% Vacíos
5,17	$y=-21,815x^2+216,20-491,56$	43,06	42,69	15,0%
5,51	$y=-21,815x^2+216,20-491,56$	37,30	38,45	17,5%
5,69	$y=-21,815x^2+216,20-491,56$	32,32	32,17	20,0%
5,85	$y=-21,815x^2+216,20-491,56$	26,53	25,11	22,5%
6,06	$y=-21,815x^2+216,20-491,56$	17,45	18,11	25,0%

Fuente: Elaboración propia

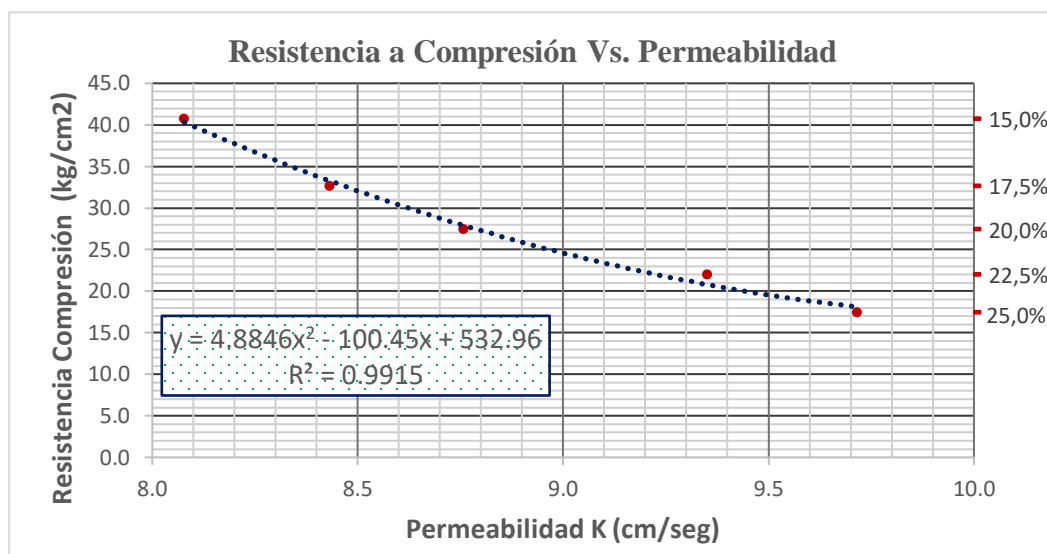
Los resultados obtenidos con la correlación arrojan valores similares a los obtenidos en laboratorio. Este dato podrá hacer variar la resistencia para encontrar la permeabilidad o,

de la misma manera variar la permeabilidad para encontrar la resistencia. De este modo los resultados obtenidos son válidos.

Como también mencionar que se obtuvo una mejor resistencia con un cemento de tipo IP-40 en función al IP-30 que se utilizó en el proyecto.

4.6.2. Análisis de resultados de las correlaciones a los 14 días

Gráfica 4. 12. Correlación a los 14 días, resistencia a compresión con cemento IP-30



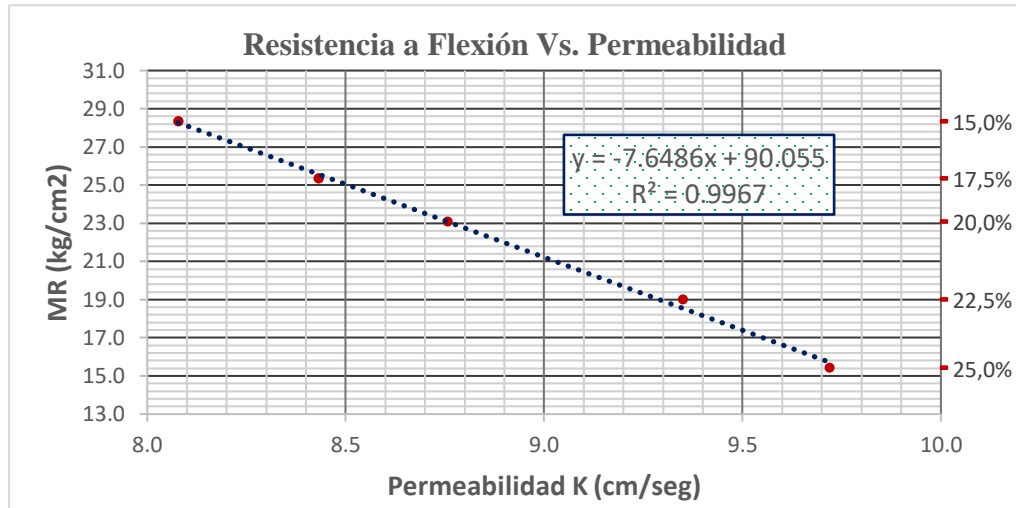
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.28. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a compresión en laboratorio a los 14 días, con cemento IP-30

Permeabilidad cm/seg	Correlación	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia Lab. (kg/cm²)	% Vacíos
8,08	$y=4,8846x^2-100,45x+532,96$	40,26	40,8	15,0%
8,43	$y=4,8846x^2-100,45x+532,96$	33,24	32,7	17,5%
8,76	$y=4,8846x^2-100,45x+532,96$	27,89	27,4	20,0%
9,35	$y=4,8846x^2-100,45x+532,96$	20,76	22,0	22,5%
9,72	$y=4,8846x^2-100,45x+532,96$	18,10	17,5	25,0%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4. 13. Correlación a los 14 días, resistencia a flexión con cemento IP-30



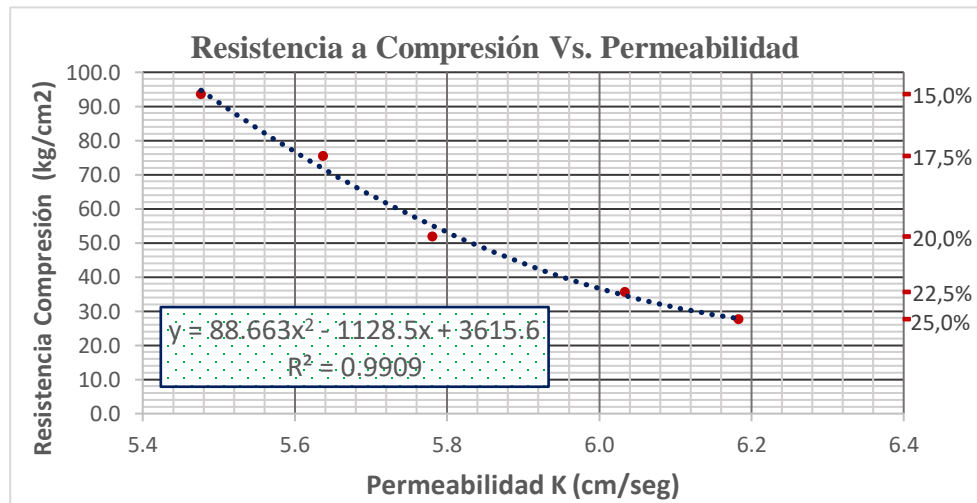
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.29. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a flexión en laboratorio a los 14 días, con cemento IP-30

Permeabilidad cm/seg	Correlación	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Lab. (kg/cm ²)	% Vacíos
8,08	$y = -7,6486x + 90,055$	28,27	28,33	15,0%
8,43	$y = -7,6486x + 90,055$	25,56	25,34	17,5%
8,76	$y = -7,6486x + 90,055$	23,07	23,07	20,0%
9,35	$y = -7,6486x + 90,055$	18,54	18,99	22,5%
9,72	$y = -7,6486x + 90,055$	15,71	15,40	25,0%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4. 14. Correlación a los 14 días, resistencia a compresión con cemento IP-40



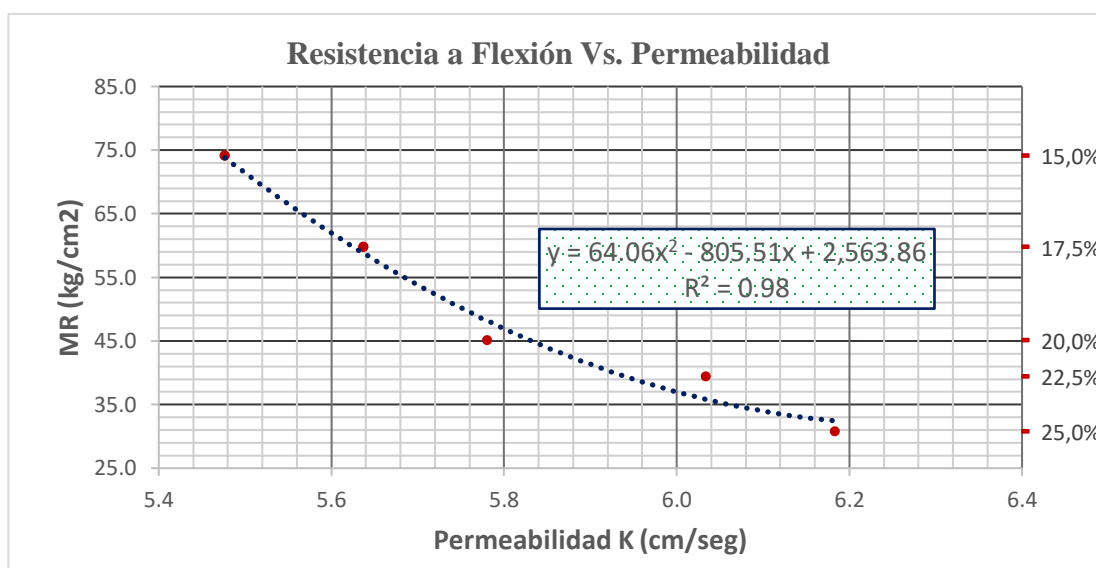
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.30. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a compresión en laboratorio a los 14 días, con cemento IP-40

Permeabilidad cm/seg	Correlación	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Labo. (kg/cm ²)	% Vacíos
5,48	$y=88,663X^2-1128,5X+3615,6$	94,53	93,5	15,0%
5,64	$y=88,663X^2-1128,5X+3615,6$	71,54	75,5	17,5%
5,78	$y=88,663X^2-1128,5X+3615,6$	54,89	51,8	20,0%
6,03	$y=88,663X^2-1128,5X+3615,6$	34,40	35,5	22,5%
6,18	$y=88,663X^2-1128,5X+3615,6$	27,62	27,7	25,0%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4. 15. Correlación a los 14 días, resistencia a flexión con cemento IP-40



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.31. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a flexión en laboratorio a los 14 días, con cemento IP-40

Permeabilidad cm/seg	Correlación	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Labo. (kg/cm ²)	% Vacíos
5,48	$y=64,06x^2-805,51x+2563,86$	73,76	74,08	15,0%
5,64	$y=64,06x^2-805,51x+2563,86$	58,73	59,72	17,5%
5,78	$y=64,06x^2-805,51x+2563,86$	48,11	45,06	20,0%
6,03	$y=64,06x^2-805,51x+2563,86$	35,79	39,40	22,5%
6,18	$y=64,06x^2-805,51x+2563,86$	32,37	30,75	25,0%

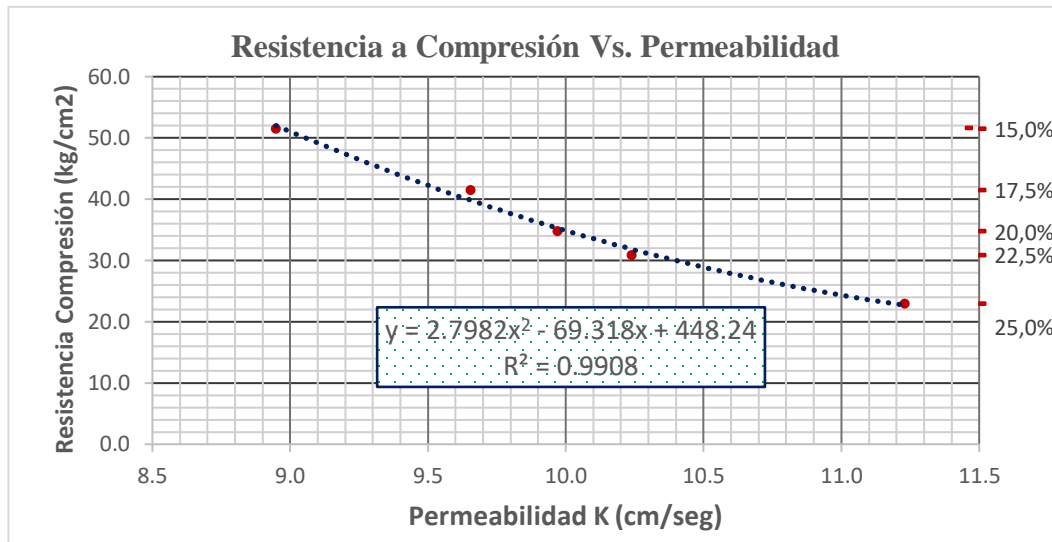
Fuente: Elaboración propia

Los resultados arrojan valores similares a los obtenidos en laboratorio. Con esta correlación se podrá variar la resistencia para encontrar la permeabilidad, o variar la

permeabilidad para encontrar la resistencia. Se obtuvo una mejor resistencia con un cemento de tipo IP-40 en función al IP-30 que se utilizó en el proyecto.

4.6.3. Análisis de resultados de las correlaciones a los 28 días

Gráfica 4. 16. Correlación a los 28 días, resistencia a compresión con cemento IP-30



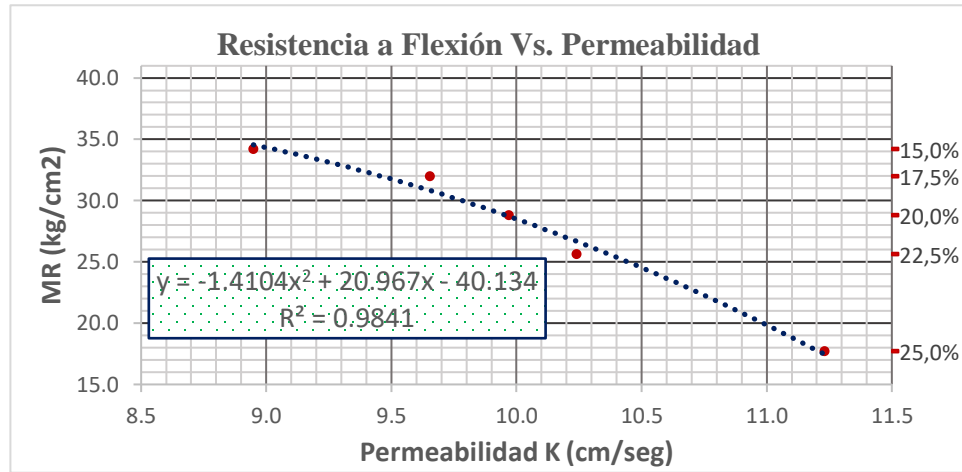
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.32. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a compresión en laboratorio a los 28 días, con cemento IP-30

Permeabilidad cm/seg	Correlación lineal	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Lab. (kg/cm ²)	% Vacíos
8,95	$y=2,7982x^2-69,318x+448,24$	51,99	51,5	15,0%
9,65	$y=2,7982x^2-69,318x+448,24$	39,81	41,5	17,5%
9,97	$y=2,7982x^2-69,318x+448,24$	35,26	34,8	20,0%
10,24	$y=2,7982x^2-69,318x+448,24$	31,82	30,9	22,5%
11,23	$y=2,7982x^2-69,318x+448,24$	22,66	22,9	25,0%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4. 17. Correlación a los 28 días, resistencia a flexión con cemento IP-30



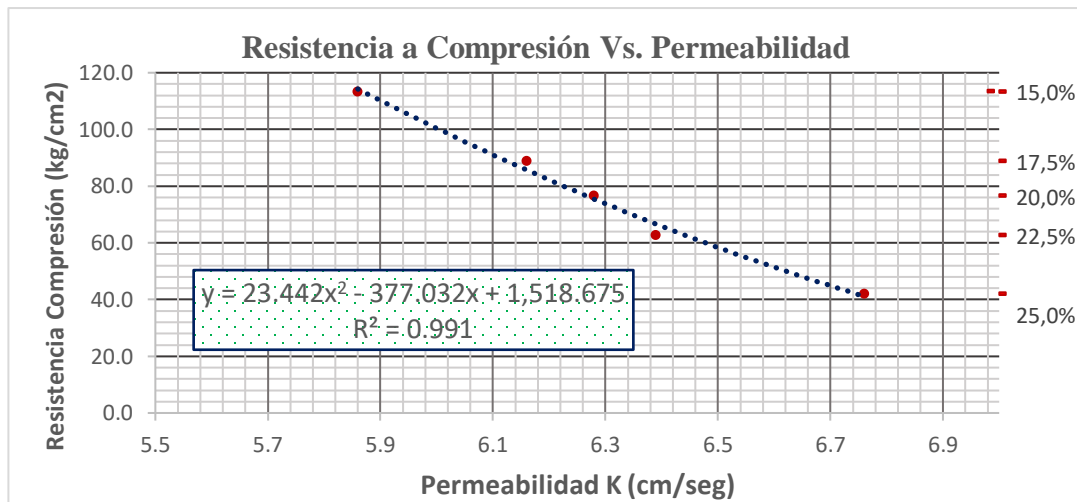
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.33. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a flexión en laboratorio a los 28 días, con cemento IP-30

Permeabilidad cm/seg	Correlación lineal	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Lab. (kg/cm ²)	% Vacíos
8,95	$y = -1,4104x^2 + 20,967x - 40,134$	34,55	34,19	15,0%
9,65	$y = -1,4104x^2 + 20,967x - 40,134$	30,83	31,98	17,5%
9,97	$y = -1,4104x^2 + 20,967x - 40,134$	28,71	28,79	20,0%
10,24	$y = -1,4104x^2 + 20,967x - 40,134$	26,68	25,61	22,5%
11,23	$y = -1,4104x^2 + 20,967x - 40,134$	17,46	17,68	25,0%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.18. Correlación a los 28 días, resistencia a compresión con cemento IP-40



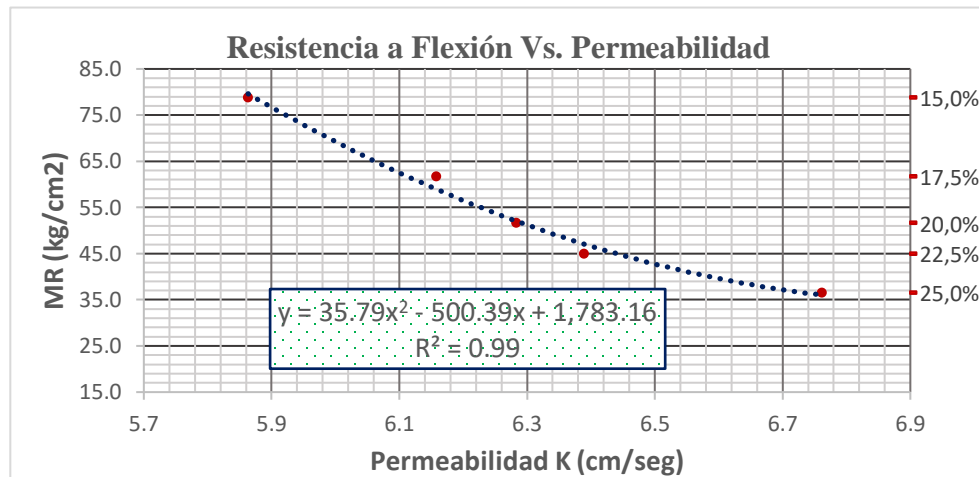
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.34. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a compresión en laboratorio a los 28 días, con cemento IP-40

Permeabilidad cm/seg	Correlación lineal	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Labo. (kg/cm ²)	% Vacíos
5,86	$y=23,442X^2-377,032X+1518,675$	114,26	113,3	15,0%
6,16	$y=23,442X^2-377,032X+1518,675$	85,68	88,7	17,5%
6,28	$y=23,442X^2-377,032X+1518,675$	75,43	76,5	20,0%
6,39	$y=23,442X^2-377,032X+1518,675$	66,63	62,7	22,5%
6,76	$y=23,442X^2-377,032X+1518,675$	41,18	42,0	25,0%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4. 19. Correlación a los 28 días, resistencia a flexión con cemento IP-40



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.35. Resultados de comparación con la fórmula de la correlación y resultados obtenidos de resistencia a flexión en laboratorio a los 28 días, con cemento IP-40

Permeabilidad cm/seg	Correlación lineal	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia Labo. (kg/cm ²)	% Vacíos
5,86	$y= 35,79x^2-500,39x+1783,16$	79,62	78,85	15,0%
6,16	$y= 35,79x^2-500,39x+1783,16$	58,93	61,70	17,5%
6,28	$y= 35,79x^2-500,39x+1783,16$	52,02	51,63	20,0%
6,39	$y= 35,79x^2-500,39x+1783,16$	47,06	44,96	22,5%
6,76	$y= 35,79x^2-500,39x+1783,16$	36,00	36,52	25,0%

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos con la correlación indican valores similares a los obtenidos en laboratorio. Con esta correlación se puede variar la resistencia para encontrar la permeabilidad o variar la permeabilidad para encontrar la resistencia. Con estas correlaciones se pueden obtener resultados para realizar diseños de vías en base a concreto poroso con diferentes porcentajes de vacíos o diferentes permeabilidades. Esto ayudará a recortar el tiempo de diseño de las vías.

Tabla 4.36. Comparación coeficiente de permeabilidad de campo y laboratorio

Vacíos %	Permeabilidad calculada cm/seg	Intensidad cm/seg	Resistencia laboratorio (kg/cm ²)
15	5,86	2,77x10 ⁻⁵	78,85

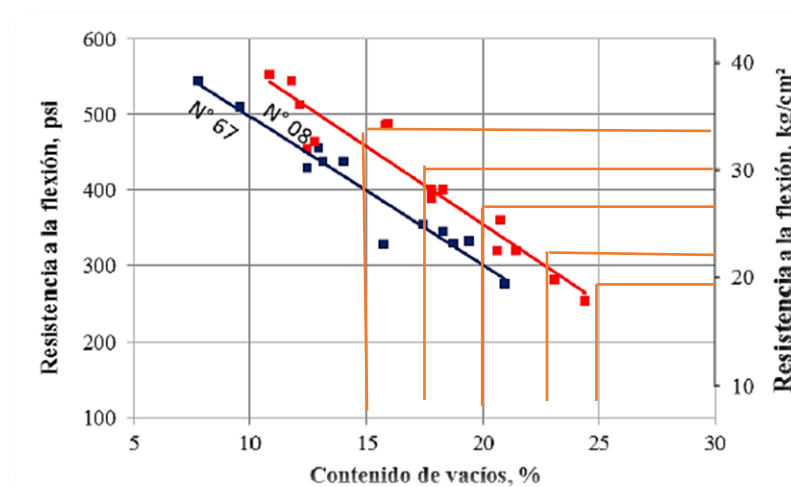
Fuente: Elaboración propia

Escogiendo un diseño de la mezcla al 15% de vacíos tenemos una permeabilidad del 5,86 cm/seg y realizando la comparación con la intensidad se puede observar que será suficiente para que pueda filtrar una precipitación dada en la ciudad de Tarija. Como también podemos mencionar que tendremos una mayor resistencia al 15% de vacíos.

4.6.4. Comparación de las resistencias

Resistencia a la flexión.

Gráfica 4. 20. Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la flexión para el concreto permeable



Fuente: (Adaptado de ACI 522R-10, ACI 211.3R-02)

Tras comparar los incrementos de las resistencias en función a la normativa, se concluye lo siguiente:

Se concluye que si existe una variación de la resistencia de la normativa en función a la resistencia encontrada en laboratorio, la cual se puede dar por el tipo de cemento, agregados, temperatura y elaboración. Por lo siguiente se valida los resultados que obtuvimos en el proyecto.

Tabla 4.37. Comparación de resistencias a flexión

Resistencia correlación (kg/cm ²)	Resistencia Labo. (kg/cm ²)	Resistencia Normativa (kg/cm ²)	% Vacíos
79,62	78,85	32	15,0%
58,93	61,70	29	17,5%
52,02	51,63	26	20,0%
47,06	44,96	20,5	22,5%
36,00	36,52	18	25,0%

Fuente: Elaboración propia

Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión debe oscilar entre 70 y 280 kg/cm² para pavimentos. Según normativa ACI 522R-10. Comparando las resistencias con las correlaciones y la normativa, se concluye lo siguiente:

Tabla 4.38. Comparación de resistencias a compresión

Resistencia correlación (kg/cm ²)	Resistencia Labo. (kg/cm ²)	Resistencia Normativa (kg/cm ²)	% Vacíos
114,26	113,3	105 a 280 Kg/cm ²	15,0%
85,68	88,7		17,5%
75,43	76,5		20,0%
66,63	62,7		22,5%
41,18	42,0		25,0%

Fuente: Elaboración propia

La resistencia a la compresión para tráfico liviano en concreto permeable se considera de 105 a 280 kg/cm², Estas referencias están en función a los valores encontrados en laboratorio. Por tanto, se concluye que el diseño que se realizó está dentro del parámetro de las resistencias de la normativa y el diseño que se realizó si cumplen para pavimentos de tráfico liviano.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se realizó la verificación de los agregados pétreos y el cemento, ambos cumplen las especificaciones de la normativa del concreto poroso.
- En el análisis de la permeabilidad de la mezcla de concreto poroso, este presenta una menor resistencia a la compresión cuando eleva su porcentaje de vacíos. Esto sucede por su composición granulométrica y reacción química que tiene en la mezcla además sus propiedades que la clasifican.
- Se puede observar que a mayores porcentajes de vacíos mayor será el costo de la mezcla. Esto sucede porque se aumenta la cantidad de agregados pétreos, que se utiliza y se reduce solo una pequeña cantidad del cemento.
- Con las correlaciones estudiadas se puede ver que sí existe una confiabilidad matemática, que corrobora los resultados de laboratorio.
- La resistencia desarrollada a los 28 días en relación con el aumento del porcentaje de vacíos disminuye a compresión y a flexión. Esto se debe a la cantidad de vacíos que se tiene en la mezcla.
- El diseño de la mezcla al 15% de vacíos tiene una permeabilidad del 5,86 cm/seg y comparándolo con la intensidad se puede observar que es suficiente para que pueda filtrar una intensidad dada en la ciudad de Tarija.
- El diseño de la mezcla al 15% de vacíos tenemos una mayor resistencia a la compresión de 113,3 Kg/cm² y una resistencia a flexión de 78,85 Kg/cm².
- Se recomienda el uso del concreto poroso en porcentajes de vacíos del 15 % en adelante por su rápida evacuación del agua.

5.2. RECOMENDACIONES

- Si se quiere facilitar la trabajabilidad al momento de realizar las probetas y las vigas con cada contenido de vacíos, se debe realizar el pesaje de los agregados pétreos en bandejas separadas, para facilitar su elaboración.
- Realizar el mezclado de los agregados y el cemento de la manera más homogénea posible para evitar la variabilidad de los resultados de la mezcla en los distintos ensayos, que se realicen para la investigación.
- Al momento de la compactación ésta se debe realizar a una velocidad y una altura constante, debido a que estas alteraciones podrían variar los resultados en el momento de realizar los ensayos correspondientes.
- Tener mucho cuidado durante el proceso de medición y obtención de datos para poder verificar los resultados con las especificaciones del diseño de la mezcla de concreto poroso.
- El aporte de esta investigación estimula la necesidad de seguir investigando más a detalle el comportamiento de las propiedades de la mezcla de concreto poroso es la relación agua cemento y poder ver su comportamiento mecánico.