

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN.

La carga de tránsito es una de las variables más significativas del diseño del pavimento y sin embargo es una de las que más incertidumbre presenta al momento de estimarse. Es importante hacer notar que debemos contar con la información más precisa posible del tráfico para el diseño.

En las últimas décadas el pavimento poroso aplicado a pavimentos ha adquirido una gran atención debido al calentamiento global lo que está provocando sequías en muchos países a nivel mundial, obligándolos a impulsar, medidas de conservación del agua y de esta manera implementar sistemas sostenibles en las ciudades, porque permiten el tratamiento de las escorrentías, infiltrando esta agua al subsuelo, recargando los acuíferos o almacenando estas aguas en reservorios para luego utilizarlas en riego en sus diversas formas.

En cuanto a investigaciones similares en el ámbito nacional y regional no se encuentra una adecuada información de la identificación de la capacidad ante carga de tránsito expuesta en la ley N°441, no existe datos ni información de que se puso en práctica la implementación de pavimentos rígidos porosos con fibras de polipropileno. En cuanto al ámbito internacional sin ir muy lejos en México, Estados Unidos, Perú y Colombia se realizaron investigaciones que servirán como guía en cuanto al tema en estudio.

Lo que el autor pretende es Identificar la capacidad ante cargas de tránsito que podía soportar un pavimento rígido poroso con fibras de polipropileno, para disponer como una alternativa técnica con determinado tipo de flujo vehicular en la ciudad de Tarija.

El fundamento de esta investigación, estará basado en la norma ASSTHO Y ACI., su aplicación práctica sería la realización de ensayos en laboratorio para la identificación de las cargas y sus propiedades para implementar en las calles de la ciudad de Tarija. Con esta investigación se mostrarán los resultados obtenidos, que determinarán una adecuada dosificación para la construcción de pavimentos.

1.2. ANTECEDENTES.

El concreto permeable ha sido usado en la construcción de edificios desde mediados del siglo XIX debido a su bajo costo (ACI 522R-10, 2010). En 1945-1950 comenzaron los primeros experimentos al concreto poroso como capa de rodadura en la construcción de vías terrestres. Años más tarde estos estudios se detuvieron ya que este tipo de capa de rodadura, contradecía los principios de rigidez y homogeneidad que condicionaba los concretos convencionales en pavimentos.

En los setentas, se revitalizó el interés en el uso de este tipo de pavimentos, con el objetivo de proporcionar mayor seguridad al usuario y dar una fluidez al tránsito en distintas condiciones meteorológicas. Además, se consideró como “reservorios de retención” de agua para solucionar los problemas inherentes al rápido crecimiento de las pavimentaciones suburbanas y a la deficiencia del alcantarillado existente.

Los primeros ejemplos del uso del concreto poroso en capa de rodadura de los que se tienen noticias tuvieron lugar en 1974 en Japón, país cuyas características (80% de la superficie es ondulada y montañosa, y cuenta con una precipitación media anual de 1500 mm) han obligado a adoptar medidas para reducir en lo posible la escorrentía de las zonas urbanas (Cruz-Palafoz, y otros, 2014).

Para el año 2002, la investigación del concreto permeable, se resumía en estudios independientes de universidades e instituciones privadas, pero aún no existía un procedimiento estándar unificado de criterios de diseño y una metodología de ensayos. Recién en ese año, el ACI 522R-02 publicó un reporte sobre su aplicación, diseño, propiedades, métodos de construcción, ensayos e inspección. En el 2009, el subcomité ASTM C09.49 publica los procedimientos de ensayos de compresión, flexión, peso unitario/contenido de vacíos e infiltración del concreto poroso.

En Bolivia este tema es relativamente nuevo, se han realizado escasos estudios y ensayos. No obstante, recientemente se ha usado el hormigón permeable tipo especial para pisos y pavimentos exteriores del condominio Aguazú en el departamento de Santa Cruz en el año 2019.

A pesar de estudios y ensayos, los pavimentos porosos no se han implementado en el país y los resultados mencionados anteriormente no han sido usados para implementar técnicas constructivas para este material. Por lo tanto, su diseño e instalación no representa una

alternativa normada en la ingeniería Boliviana. Lo anterior puede deberse a que no existe aún en nuestro medio un documento en español que reúna los procesos de diseño, construcción y mantenimiento del concreto permeable que pueda ser usado en las principales ciudades del país, y que tenga en cuenta los resultados obtenidos sobre aspectos estructurales, geotécnicos, hidráulicos y ambientales.

1.3. JUSTIFICACIÓN.

Esta investigación necesita determinar si la capa de rodadura del pavimento rígido poroso con fibras de polipropileno puede ser capaz de cumplir los requisitos de resistencia para diferentes tipos de cargas de tránsito, además de cumplir los requisitos de drenaje. De lo contrario, seguirán existiendo problemas en la gestión de aguas pluviales ocasionados por la falta de infraestructura o al inadecuado diseño de estas al no considerar precipitaciones de diseño.

Este pavimento rígido poroso con fibras de polipropileno es aplicado para evacuar las aguas de los pavimentos que impiden el libre tránsito de los vehículos, también para evitar las inundaciones de calles y que el agua ingrese a los domicilios causando daños a las viviendas.

Lo más importante para aportar al medio ambiente es dar una alternativa a los ciudadanos para poder evacuar las aguas pluviales que perjudican a la sociedad causando inundaciones y dañando los pavimentos, generando la infiltración de las aguas al suelo.

1.4. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

Cuando se habla de capacidad en cargas de tránsito se habla de la caracterización del pavimento rígido poroso con fibras de polipropileno para resistir a la acción de las cargas de tránsito. La investigación efectuada busca establecer condiciones de cargas de tránsito, debido al mal estado e ineficiencia que presentan las capas que componen la estructura del pavimento rígido poroso con fibras de polipropileno. En la ciudad de Tarija, existe la necesidad de implementar estos tipos de pavimentos para evitar la inundación de sus calles.

A la hora de identificar la capacidad ante cargas de tránsito pavimentos rígidos porosos con fibras de polipropileno, se adquiere conocimiento para saber dónde y cómo utilizar estos tipos de pavimentos para su construcción e implementarlas en obras futuras para la evacuación de aguas pluviales.

1.4.1. Formulación del problema.

¿De qué forma se puede obtener la capacidad ante cargas de tránsito, sobre pavimentos rígidos porosos con fibras de polipropileno?

1.5. OBJETIVOS.

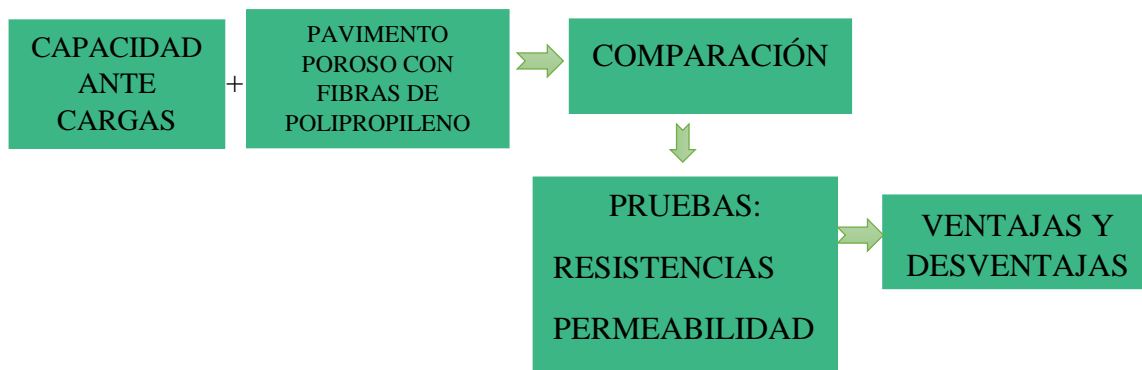
1.5.1. Objetivo general.

- Identificar la capacidad ante cargas de tránsito que podía soportar un pavimento rígido poroso con fibras de polipropileno, para disponer como una alternativa técnica con determinado tipo de flujo vehicular en la ciudad de Tarija.

1.5.2. Objetivos específicos.

- Identificar los bancos de muestreo.
- Caracterizar los componentes que forman parte de un pavimento rígido poroso con fibras de polipropileno.
- Establecer una adecuada dosificación con diferentes porcentajes de fibras de polipropileno.
- Establecer la permeabilidad, las resistencias a compresión y flexión.

1.6. HIPÓTESIS.



Al aplicar diferentes cargas a un pavimento rígido poroso con diferentes porcentajes de fibras de polipropileno, se podrá establecer resistencias y permeabilidades que superan los parámetros de diseño para mejorar las condiciones.

1.6.1. Identificación de variables.

Variable independiente.

- Cantidades de fibras de polipropileno
- Variación de cargas de tránsito.

Variables dependientes

- Pruebas de resistencia a flexión.
- Pruebas de resistencia a compresión.
- Prueba de permeabilidad.

1.7. CONCEPTUALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.

Tabla 1.1. Conceptualización y operacionalización de las variables.

Variables	Conceptos	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Variación de cargas de tránsito.	La carga aplicada a los pavimentos por efecto del transporte, desde un punto de vista mecánico, está directamente relacionada con el peso y las dimensiones de los vehículos que transitan sobre éstos.	Diferentes tipos de cargas	Kg/cm ²	Se determina diferentes tipos de cargas de tránsito con las cuales trabajaremos.
Cantidades de fibras polipropileno.	Es una fibra acrílica de alta tenacidad, que ha sido diseñada especialmente para evitar la fisuración por retracción plástica y evitar el deterioro prematuro del hormigón o mortero.	Diferentes tipos de porcentajes de polipropileno	Porcentajes %	Se determina diferentes porcentajes de polipropileno con las cuales trabajaremos
Prueba de resistencia a 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.	Curado	Tiempo (t)	Sumergir en agua en un determinado tiempo
		Rotura	Kg/cm ²	Prensa hidráulica
Prueba de resistencia a flexión	La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del hormigón, es una medida de la resistencia a la falla por	Curado	Tiempo (t)	Sumergir en agua en un determinado tiempo
		Rotura	Kg/cm ²	Prensa flexura

	momento de una viga o loza de hormigón no reforzado. Es determinada mediante los métodos de ensayos ASTM C78 (cargada en los puntos tercios).			
Permeabilidad	Es la capacidad que tiene un material de permitirle a un fluido que lo atraviese sin alterar su composición.	Coefficiente de permeabilidad	cm/s	La que un caudal de agua entra al concreto poroso, se almacena por algún tiempo en la estructura del concreto y migra a través de los poros.

Fuente: Elaboración propia.

1.8. IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El método de investigación es **cuantitativo**, puesto que el medio de prueba de hipótesis se basa en mediciones numéricas y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

1.9. UNIDAD DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL.

1.9.1. Unidad de estudio.

Las propiedades del hormigón poroso donde se modificará los porcentajes de fibras de polipropileno en el hormigón para medir y analizar la capacidad ante cargas de tránsito, aquellas propiedades netamente referidas al pavimento rígido como ser: permeabilidad y las resistencias.

1.9.2. Población.

Los hormigones porosos con fibras de polipropileno son la totalidad de la población de análisis sobre la cual se realizará los ensayos.

1.9.3. Muestra.

El porcentaje de fibras de polipropileno dentro del hormigón poroso producirá una variación en las propiedades y características a medir en la investigación. Por tanto, la muestra en el presente caso son los hormigones porosos con diferentes porcentajes de fibras de polipropileno.

1.9.4. Selección de las técnicas de muestreo.

Se dispondrá de los siguientes porcentajes de fibras de polipropileno obtenidas de Fredy Reyes y Andrés Torres en el Vol. 17 N° 2 de la revista de investigación “Ingeniería de Construcción” que presentan su trabajo: “Efecto de las fibras plásticas en la flexión de estructuras de pavimentos drenantes”, realizada en la Pontificia Universidad Javeriana, Departamento de Ingeniería Civil, Colombia 2002. Los investigadores a lo largo del estudio diseñaron un pavimento rígido con una estructura permeable con adiciones de tiras de plástico en diferentes porcentajes (0.025%, 0.05%, 0.075%, 0.100%, 0.200%, 0.300%, 0.400%, 0.500% y 0.600%). Para el muestreo del estudio se consideró trabajar con los tres últimos porcentajes de fibras para su respectivo estudio.

Tabla 1.2. Porcentaje de fibras de polipropileno que se consideró.

Porcentaje de fibras de polipropileno
0.400%
0.500%
0.600%

Fuente: Elaboración propia.

1.10. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS.

1.10.1. Métodos.

Para poder estudiar las propiedades del hormigón poroso modificando el porcentaje de fibras de polipropileno por dosificación, de tal manera que se obtenga valores de permeabilidad y resistencias que garanticen una buena funcionalidad vial, se seguirán los siguientes pasos:

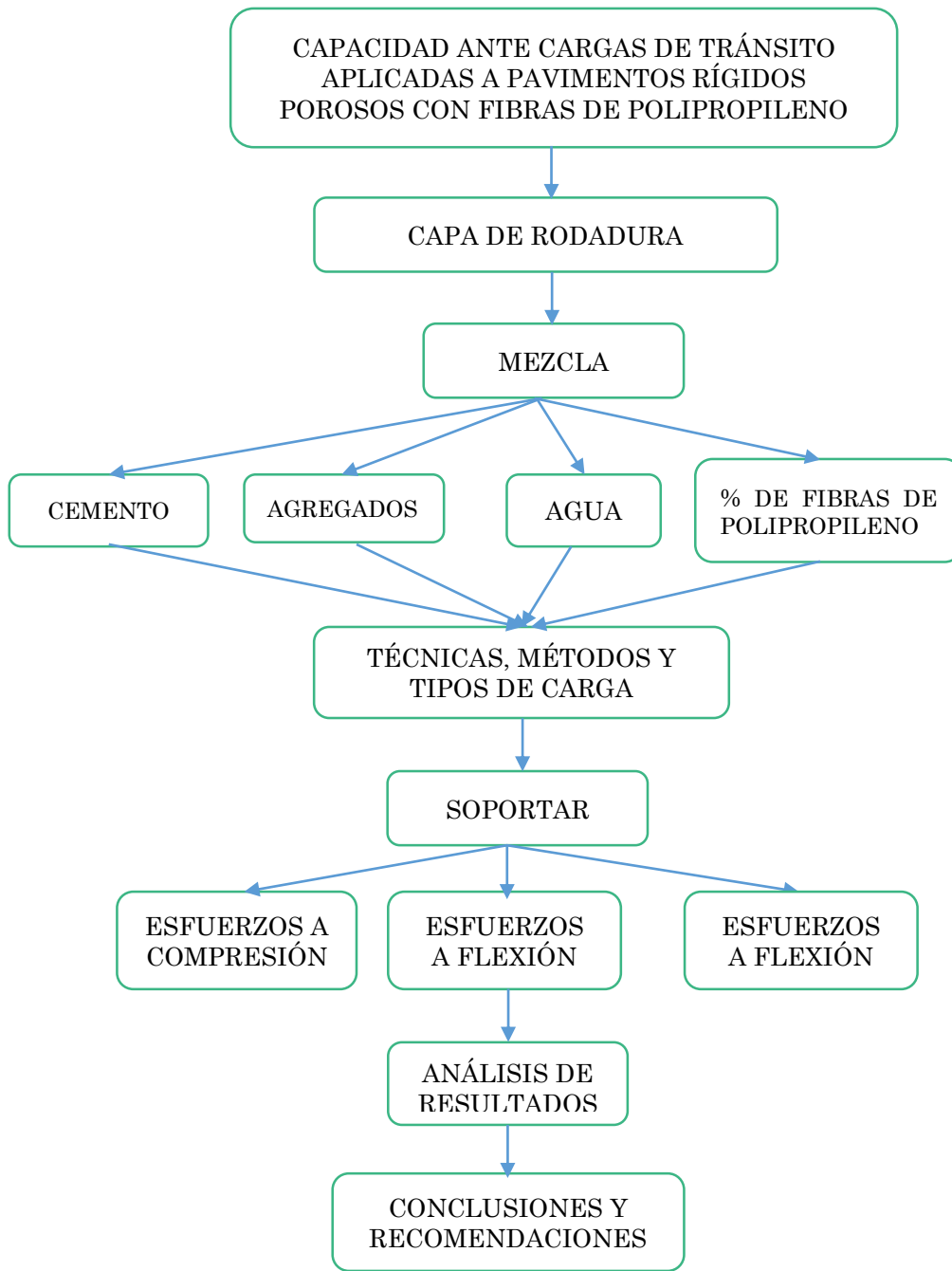
- Determinar el material a ser utilizado en la elaboración del hormigón poroso, realizando ensayos de laboratorio.
- Efectuar la dosificación correspondiente a cada uno de los hormigones.
- Elaborar especímenes para la ejecución de los ensayos.
- Realizar los ensayos de resistencia a compresión, resistencia a flexión y permeabilidad.
- Analizar los resultados.

1.10.2. Técnicas.

Las técnicas en este trabajo de investigación son documentales y experimentales.

- Documentales por los documentos bibliográficos a utilizar para el diseño de hormigones porosos aplicados a pavimentos rígidos.
- Experimentales porque se realizarán ensayos de laboratorio para efectuar la dosificación y determinar las propiedades del hormigón poroso.

1.11. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.



1.12. ALCANCE.

El alcance es de nivel explicativo o causal.

La investigación pretende establecer el comportamiento de un pavimento en función de las resistencias de un pavimento rígido poroso aplicando diferentes tipos de cargas de tránsito, con la finalidad de mejorar sus propiedades de resistencia y permeabilidad del mismo.

Para este estudio lo que se hará es lo siguiente: se conseguirá un cemento especial FANCESA IP-40, también los materiales granulares como grava de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{3}{8}$ " y arena gruesa para el hormigón extraídos de la chancadora de SEDECA y las fibras de polipropileno SikaFiber, se caracterizará los materiales en laboratorio, luego se procederá a hormigonar tanto las probetas como la vigas y luego la roturas de ambos. Debido a que solo la grava de $\frac{3}{4}$ " no cumplía con la curva granulométrica, razón por la que se tuvo que aumentar un 25 % de grava de $\frac{3}{8}$ ", quedando con un 75% de grava de $\frac{3}{4}$ " del 100% de su peso.

Un hormigón poroso tienen que cumplir con una resistencia a compresión de entre 28 kg/cm² a 280 kg/cm², resistencia a flexión de entre 10.200 kg/cm² a 38.800 kg/cm², una permeabilidad de entre 0.140 cm/s a 1.220 cm/s y una porosidad de entre 15% a 35%. Mientras que según la NB CBH87 e IBCH la resistencia del hormigón para pavimentos es de 45 kg/cm² o más de resistencia a flexión la cual equivale a 350 kg/cm² de resistencia a compresión.

CAPÍTULO II
ESTADO DE
CONOCIMIENTO
SOBRE EL PAVIMENTO
RÍGIDO POROSO

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO SOBRE EL PAVIMENTO RÍGIDO POROSO

2.1. MARCO TEÓRICO.

2.1.1. Pavimento.

Se entiende por pavimento la capa superior del conjunto de los elementos que componen el suelo de la vía pública, es decir, las vías de comunicación en general, tal es el caso de las rutas, calzadas y aceras; como así también, las bandas de estacionamiento, bulevares, etc. (Pérez, 2009)

Un pavimento tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Hay una gran diversidad de tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos que transitarán y del volumen de tráfico. (Pérez, 2009)

2.1.2. Tipos de pavimentos.

2.1.2.1. Pavimentos flexibles o asfálticos.

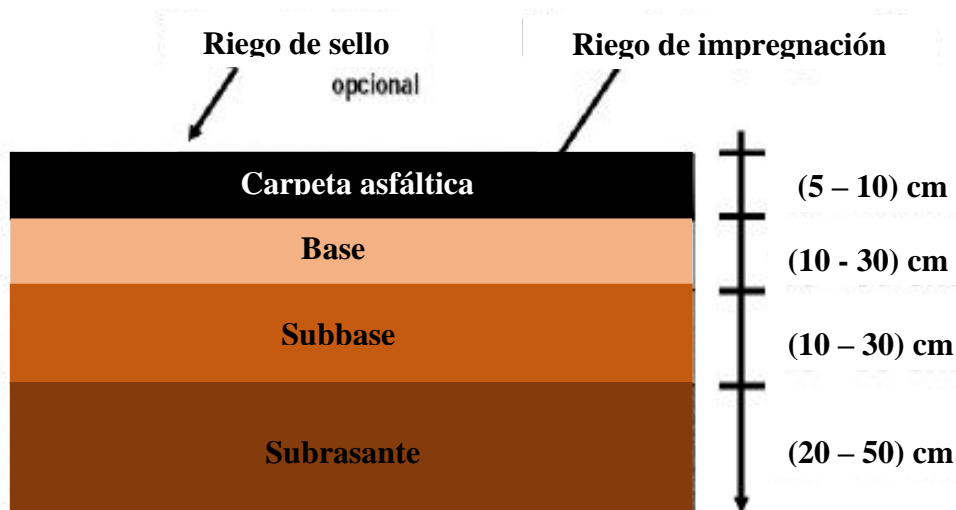
Pavimento Flexible o Asfáltico es todo aquel pavimento que tenga una superficie asfáltica. El mismo está conformado por una capa superficial de agregado mineral cubierto y ligado con asfalto y una o más capas portantes.

Las mezclas asfálticas utilizadas en pavimentos están constituidas por gravas, parcialmente trituradas, arena, filler y asfalto como ligante. Los asfaltos pueden ser cementos asfálticos, emulsiones o asfaltos cortados.

El pavimento asfáltico, en sí, está compuesto por todas las capas que descansan en una capa de suelo compactado, llamada subrasante. Las capas siguientes a la subrasante son las sub-bases y bases, siendo éstas un material granular compuesto principalmente por roca triturada, grava, arena o combinaciones de ellas.

La base y la sub-base son elementos estructurales del pavimento, que al estar ligadas con la superficie asfáltica, tienen por objetivo distribuir las cargas del tránsito sobre la subrasante. (FLORES & PACOMPIA, 2015)

Figura 2.1. Sección transversal.

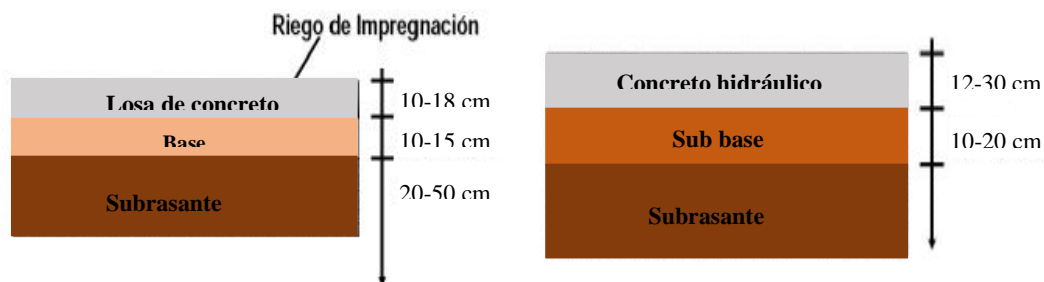


Fuente: Guía sectorial: Pavimentos, Dirección de Inversión Pública Provincia de Buenos Aires, Pág. 8.

2.1.2.2. Pavimentos rígidos o de concreto.

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o sub base. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

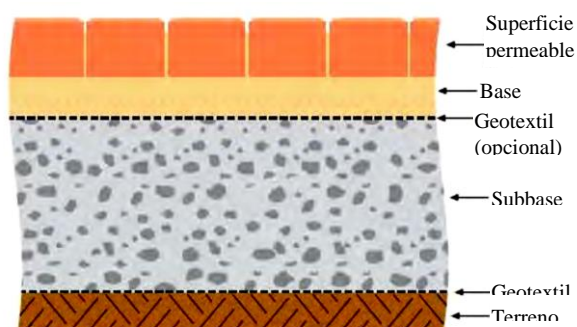
Esta clase de pavimentos se integran por una capa (losa) de concreto de cemento portland que se apoya en una capa de sub-base, constituida por grava; esta capa descansa en una capa de suelo compactado, llamada subrasante. La resistencia estructural depende principalmente de la losa de concreto y en algunas ocasiones presenta un armado de acero, la resistencia a flexión usualmente especificada es de 45 kg/cm² (equivalente a por lo menos 350 kg/cm² a compresión) de acuerdo al futuro uso de dicho pavimento. Con un costo inicial más elevado que el flexible, su período de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas. (FLORES & PACOMPIA, 2015)

Figura 2.2. Sección Transversal.

Fuente: Guía sectorial: Pavimentos, Dirección de Inversión Pública Provincia de Buenos Aires, Pág. 8.

2.1.3. Pavimento rígido poroso.

Los Pavimentos rígidos porosos son una gama de materiales y técnicas para pavimentos con una base y sub-base que permite la circulación de las aguas pluviales a través de la superficie sostenible. Además de la reducción de **la escorrentía**, esta trampa eficazmente los sólidos en suspensión y filtros de contaminantes del agua. Los ejemplos incluyen las carreteras, caminos, jardines y lotes que están sujetos al tráfico de vehículos ligeros, como aparcamiento de autos, ciclo-rutas, servicio o carriles de acceso de emergencia, por carretera y los hombros al aeropuerto, y las aceras residenciales y vías de acceso. (Pérez, 2009)

Figura 2.3. Sección transversal

Fuente: Adaptado de Permeable Pavements. Interpave, 2007.

2.1.3.1. La escorrentía.

La Escorrentía que se genera en obras viales de la ciudad; dicho problema se genera debido a que el agua no sigue su ciclo natural, generando que las obras viales fallen. Desde hace mucho se han instalados sistemas de drenaje (canaletas, sumideros, canales, etc.) para

contrarrestar dicho problema, pero este sistema esta susceptible a fallas y no presenta una solución definitiva para manejar esta escorrentía, ya que el agua al ser evacuada por la obras de drenaje, generan problemas en los puntos de intersección generando crecidas repentinas del nivel del agua; provocando que la zona central de la ciudad se inunde y la eficiencia de descargar no sean capaces de drenar el agua lo que conllevan a inundaciones repentinas. (Saucedo, 2012)

Figura 2.4. Inundación en la ciudad de Tarija.

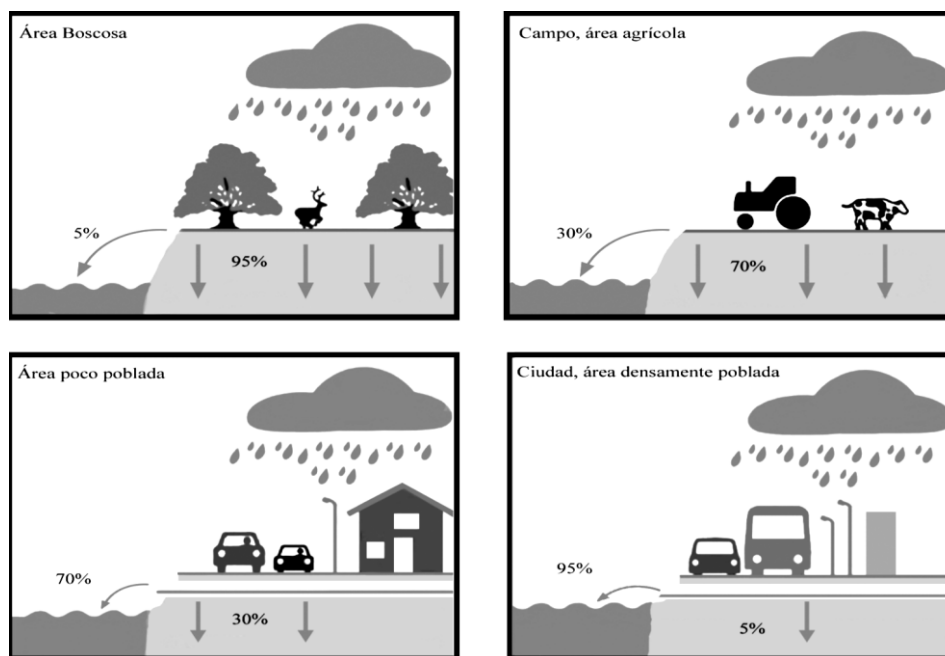
a) Av. Víctor Paz Estensoro

b) Av. Integración



Fuente: Periódico La Voz de Tarija.

Figura 2.5. Influencia de la urbanización en el drenaje natural.



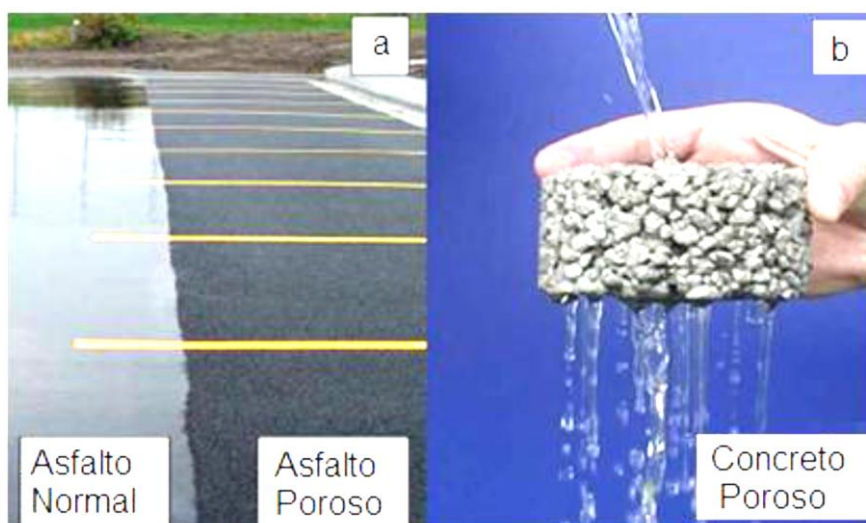
Fuente: Castro, E. M. L. (2011), adaptado de Interpave (2008).

2.1.4. Hormigón poroso o concreto permeable.

2.1.4.1. Definición.

El hormigón poroso o concreto permeable, es definido como un concreto con revenimiento cero con alto grado de porosidad, y con una relación de vacíos alta; consiste 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 o 0.140 a 1.220 cm/s. (ACI 522R-10).

Figura 2.6. a) asfalto normal y poroso, b) concreto poroso.



Fuente: Lucke et al., 2013.

2.1.4.2. Aplicaciones de los pavimentos.

El concreto permeable es utilizado principalmente para pavimentar superficies de uso vehicular y peatonal y donde se requiera tener áreas permeables permitiendo así que el agua de lluvia infiltre libremente al subsuelo, como resultado obtenemos la reducción o eliminación de escorrentía superficial proveniente de las aguas pluviales. Entre la amplia gama de aplicaciones para el concreto permeable se tienen: (Castro, 2004)

- 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 donde se requieren características de peso ligero o de mejor aislamiento térmico, o ambos.
- Pavimentos, muros y pisos 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.

Figura 2.7. Aplicaciones del hormigón poroso.

a) Estacionamientos



b) Pavimentos porosos



Fuente: Elaboración propia.

2.1.4.3. Países y ciudades que aplicaron hormigón poroso.

Hormigón poroso decorativo para los juego olímpicos de 2008, Beijing.

A menudo no se escuchan juntas las palabras hormigón poroso y decorativo. Cerca de 2,7 millones de metros cuadrados de hormigón poroso arquitectónico se colocaron en 2008 para los juegos olímpicos de verano. La parte azul y gris se hizo en hormigón

convencional, mientras que las demás se hicieron en hormigón poroso coloreado integralmente.

Figura 2.8. Hormigón poroso decorativo para los juegos olímpicos, Beijing (China).



Fuente: Cortesía Concrete Decor.

Alamedas peatonales, Panamá.

Desde el año 2009 Panamá está apostando por el desarrollo sostenible. A la creciente construcción de edificaciones con certificación LEED, se suma el uso de hormigón poroso para mejorar el manejo de la escorrentía superficial. Actualmente este hormigón se está utilizando en la construcción de áreas de tráfico peatonal, entradas de centros comerciales y plazoletas.

Figura 2.9. Aplicación de hormigón poroso en alamedas peatonales, en Panamá.



Fuente: Cortesía Hormigón Express.

Parqueadero del Estado Finley, Tennessee.

El estadio Finley está ubicado en la ciudad de Chattanooga, en el Estado de Tennessee, Estados Unidos. En la construcción de los parqueaderos se usaron franjas de hormigón poroso buscando darle mejor manejo al agua lluvia y reducir costos en los sistemas de alcantarillado pluvial.

Figura 2.10. Parqueadero del estadio de Finley se incluyó hormigón poroso en algunas zonas para permitir la filtración del agua.



Fuente: Flickr – Michael Williams.

Zoológico de Oregón, Portland.

En el zoológico de Oregón, Portland, se construyeron los andenes usando hormigón poroso. El proyecto fue creado con el propósito de manejar adecuadamente la escorrentía superficial, tema prioritario en el diseño del zoológico debido a la topografía del terreno.

Figura 2.11. Andenes en el zoológico de Oregón, Portland, OR, Estados Unidos.



Fuente: Concrete Network – Anne Balogh.

Parqueadero del casino Quil Ceda Creek, Estado de Washington.

Este es el mayor parqueadero de hormigón poroso en el estado de Washington, Estados Unidos. A través de este proyecto la tribu Tulalip buscó mantener su firme compromiso con la protección del agua, el medio ambiente y el hábitat de pesca en el noroeste, al mismo tiempo aumentaban la capacidad de su parqueadero y el éxito de su Casino.

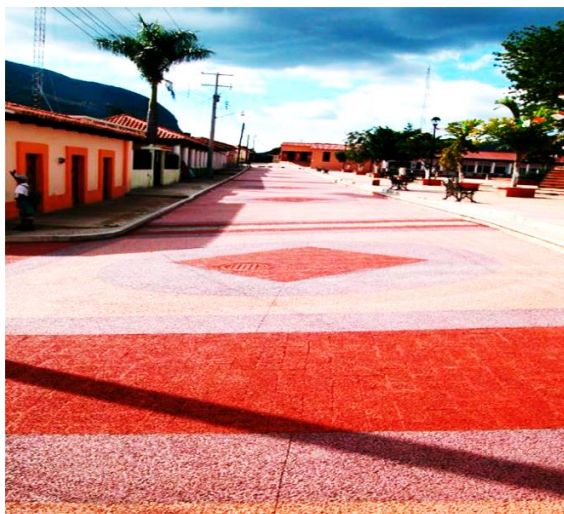
Figura 2.12. Parqueadero del casino Quil Ceda Creek, Estado de Washington.



Fuente: Concrete Network – Anne Balogh.

En México los avances en la implementación de hormigón poroso también han sido notorios. Entre los proyectos destacados se encuentran la plaza central de Soyaló en Chiapas, también una obra en el Instituto de Vivienda del Estado de Aguascalientes y la Avenida Moctezuma de la ciudad de Guadalajara, Estado de Jalisco.

Figura 2.13. Hormigón poroso arquitectónico en la plaza central de Soyaló, Chiapas.



Fuente: Flickr – Manuel del Valle.

Figura 2.14. Instituto de vivienda del estado de Aguascalientes.



Fuente: Flickr – Manuel del Valle.

Figura 2.15. Avenida Moctezuma, en Guadalajara.



Fuente: Flickr – Manuel del Valle.

2.1.4.4. Ventajas y desventajas.

2.1.4.4.1. Ventajas.

Además de las diversas aplicaciones mencionadas, la utilización de hormigón poroso en pisos y pavimentos conlleva grades ventajas, siendo sus beneficios no solo económicos y estructurales, sino también ecológicos; como por ejemplo: (Castro, 2004)

- Por su función permeable, no interrumpe el ciclo hidrológico del agua en las ciudades, permitiendo la filtración de agua pluvial en los mantos acuíferos.

- Permite el control de la contaminación de las aguas pluviales, impidiendo que éstas se deriven hacia el sistema de desagüe y se mezclen con las aguas residuales.
- Son filtrados los agentes contaminantes que pueden contaminar las aguas subterráneas y dañar ecosistemas.
- Control de escurrimiento del agua pluvial.
- Por ser un material que posee del 15% al 35% de vacíos, no genera islas de calor como el asfalto y concreto hidráulico.
- Evita encharcamientos y la saturación en los drenajes en época de lluvias.
- Por ser un material poroso es autodrenante y autoventilado.
- Disminuye los gradientes térmicos (reflexión mínima de la luz).
- Aumenta la calidad de servicios vehiculares y peatonales para usuarios, durante la lluvia.
- Su peso volumétrico es un 20% a 25% menor que el concreto convencional.
- El índice de fisuras en el concreto permeable es 25% menor, como consecuencia de la baja retracción por el porcentaje de vacíos contenidos en comparación con un concreto convencional.

El concreto permeable permite el manejo de las aguas pluviales al mismo tiempo que provee una infraestructura durable necesaria para el desarrollo. En la figura 2.3 se muestra cómo actúa una precipitación sobre la superficie de concreto permeable. Los pavimentos permeables pueden generar un importante beneficio, debido a la contribución de estos a mantener las condiciones naturales de una zona. De ser así, el control de las inundaciones se consigue con mantener la red de drenaje natural.

2.1.4.4.2. Desventajas.

La utilización del concreto permeable en pisos y pavimentos posee algunas desventajas, como son:

- Pérdida de su permeabilidad con el paso del tiempo, al saturarse los espacios vacíos con material fino (material contaminante). Por lo que es imprescindible el mantenimiento del mismo, a base de agua a presión.
- Posee una menor resistencia al desgaste que el hormigón convencional, por lo que solo debe aplicarse en zonas de tráfico ligero.

El éxito de la utilización del hormigón poroso en pisos y pavimentos ha sido variado, en algunas áreas los sistemas de pavimento de concreto permeable se han aplicado exitosamente, mientras que en otros no. En general las fallas de estos sistemas son atribuibles a la inexperiencia en la construcción de este tipo de pavimentos, a una compactación del suelo más alta de la especificada y al diseño inapropiado según el lugar de aplicación de este material. En aras de que un pavimento permeable funcione exitosamente el comité ACI 522R-06, recomienda:

- Verificar la permeabilidad de los suelos, la tasa de filtración debe ser mínimamente de 0.022 cm/s con una capa de suelo de 1.2 m a más, facilitando así la infiltración del agua y la recarga de las aguas freáticas, aunque no filtran toda el agua pluvial de las tormentas excepcionalmente grandes.
- Evitar el escurrimiento de agua y el ingreso de maquinaria pesada en las áreas de concreto permeable. El pavimento de hormigón poroso no debe ser puesto en servicio hasta que toda la tierra removida con pendiente hacia el pavimento permeable sea estabilizada por vegetación. A fin de evitar la colmatación del sistema son esenciales los controles estrictos de la erosión y de sedimentación durante las actividades de construcción.
- Que el tránsito vehicular durante la etapa de construcción sea dirigido hacia fuera del área del área del pavimento permeable para evitar la compactación de las capas del suelo subyacente y la pérdida de la capacidad de filtración.
- El mantenimiento debe realizarse en forma periódica

2.1.4.5. Ventajas convenientes y desafíos del pavimento de hormigón poroso.

Las ventajas de los pavimentos de hormigón poroso sobre los pavimentos de concreto convencional según el comité ACI 522 son:

- Controla la contaminación que arrastra la corriente en las aguas de lluvias.
- Incrementa las instalaciones de parqueo, eliminando áreas para la retención de agua.
- Controla la escorrentía de aguas lluvias.
- Reduce el deslizamiento sobre la superficie de caminos y carreteras.
- Reduce el deslumbramiento sobre la superficie de rodadura en gran medida, particularmente cuando está mojado por la noche.
- Reduce la interacción del ruido entre la llanta y el pavimento.

- Elimina o reduce el tamaño de las alcantarillas.
- Permite que el aire y el agua lleguen a las raíces de los árboles, aun cuando el pavimento esté dentro de la línea de goteo.

2.1.4.6. Componentes del hormigón poroso.

El concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada piedra machacada, pedrejón), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua. (AQUINO, 2015)

Figura 2.16. Componentes del hormigón: cemento, agua, agregado fino, agregado grueso.



Fuente: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón.

2.1.4.6.1. Cemento.

Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos hidráulicos de calcio. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen por la reacción química con el agua. Durante la reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una masa similar a una piedra, llamada pasta. Cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) a los agregados (arena y grava, piedra triturada piedra machacada, pedrejón u otro material granular), la pasta actúa como un adhesivo y une los agregados para formar el concreto, el material de construcción más versátil y más usado en el mundo.

Figura 2.17. Cemento Fancesa IP-40

Fuente: <http://www.fancesa.com/>

2.1.4.6.2. Agua.

La calidad del agua para el hormigón poroso debe cumplir los mismos requisitos que gobiernan para los concretos convencionales. El concreto permeable deberá ser proporcionado con una relativa baja relación agua/material cementante (a/c) (típicamente 0.26 a 0.40) porque una cantidad de agua en exceso producirá que la pasta fluya y selle el sistema de poros. La adición de agua, por lo tanto, deberá ser monitoreada en el campo. Información adicional de la calidad del agua se encuentra en el comité ACI 301. Agua reciclada de las operaciones de concreto puede ser utilizada pero solamente si cumple las disposiciones de ASTM C94/94M – 07 o AASHTO M-157.

La dosis de agua utilizada para el hormigón poroso tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla. Una cantidad insuficiente de agua resultará en una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia. Una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y que, además, lavará el cemento desde la superficie del agregado, produciendo una baja resistencia al desgaste superficial.

2.1.4.6.3. Agregados.

Los agregados deberán cumplir con los requisitos de Norma ASTM C33-07 y ASTM D448-07. Los agregados que no cumplan con las especificaciones de las normas anteriormente señaladas, pero que hayan demostrado, mediante ensayos especiales o en uso, que producen concreto permeable con resistencia y permeabilidad adecuadas, pueden ser utilizados cuando así lo autorice el supervisor.

Los agregados se deben almacenar en depósitos o compartimentos adecuados y separados según el tamaño de agregado. Cada compartimento se debe diseñar para que la operación de descarga sea libre y eficiente, de tal manera que haya una mínima segregación. Los controles de operación deben permitir la interrupción de la descarga de material a la báscula en el momento deseado de manera que el material se pueda medir con precisión (aplica a máquinas dosificadoras).

Existen dos características en los agregados que tienen una importante influencia sobre el proporcionamiento de las mezclas de concreto y son:

La granulometría (tamaño de partícula y distribución)

Importante para:

- Trabajabilidad.
- Proporcionamiento de la mezcla.
- Contenido de cemento y por ende el contenido de agua.
- Compactibilidad de la mezcla.
- Estética del pavimento.

La naturaleza de las partículas (forma, porosidad, textura superficial)

La calidad del agregado en el concreto permeable es igualmente importante como en el concreto convencional. Deben ser evitadas las partículas largas o escamosas. La graduación estrecha del agregado grueso debe ser dura y limpia, libre de recubrimiento, tal como polvo o arcilla, o sustancia química absorbida que pueda ser perjudicial a la adherencia pasta/agregado o a la hidratación del cemento.

Estas dos características afectan la trabajabilidad del concreto fresco, pero también se logra una mezcla económica porque afecta a la cantidad de concreto que puede fabricarse con una cantidad determinada de cemento y agua.

Son preferibles las fuentes de agregados con un registro de servicio con rendimiento aceptable. En ausencia de ello, una combinación de ensayos puede llevarse a cabo para proporcionar una base para evaluar la idoneidad del agregado candidato para su incorporación en la mezcla de concreto permeable.

El peso unitario de los agregados deberá ser determinado de acuerdo a ASTM C29/C29M - 07. Para fuentes desconocidas y/o nuevas de agregados, los resultados de los ensayos se

llevarán a cabo por la norma ASTM C33/C33M - 07 y ASTM D448 – 08, y deberá ser revisada con el aporte de la experiencia de un ingeniero en materiales.

Agregado grueso.

La estructura interna de un concreto permeable puede describirse como un conjunto de partículas de agregado grueso, en contacto y unidas entre sí por puentes constituidos por la pasta (cemento y agua) o el mortero que forma la arena (cuando hay presencia de finos en la mezcla) y la pasta; estos puentes son los que movilizan la resistencia del concreto. Esto se puede observar en la compresión de las probetas cilíndricas donde se produce la ruptura de estos puentes, siendo menor el evento de fractura del agregado grueso.

El número de puentes que se forman por unidad de volumen es función principalmente del tamaño y la graduación del agregado grueso. La diferencia que presenta el concreto poroso, dependiendo del tipo de agregado grueso, es notable; con un agregado uniforme se consigue menos resistencia que con uno graduado y mucho menos cuanto mayor sea el diámetro del agregado.

Deberán evitarse agregados bien graduados, ya que reducen la porosidad, y pueden no proveer un adecuado contenido de vacíos. Se sugiere un límite máximo de agregado grueso que pase 15% de la malla N^o 4 (4.75 mm).

La humedad del agregado al tiempo de la mezcla es importante. La absorción del agregado deberá satisfacer la condición para lograr la condición saturada superficialmente seca (SSS). De otra manera, con un agregado seco resultará una mezcla que le falte adecuada trabajabilidad para su colocación y compactación.

Agregado excesivamente húmedo puede contribuir a que la pasta fluya, causando obstrucción intermitente en la estructura de vacíos deseada

Agregado fino.

El agregado fino si es utilizado, debe cumplir con la Norma ASTM C 33 – 08 de "Especificación Estándar para Agregados de Concreto" y no deberá exceder de 0.10 m³ por 1.0 m³ de concreto poroso.

Dependiendo del pasante del agregado grueso en la malla N^o 4 y como límite máximo del 15%, se podrá adicionar agregado fino según lo siguiente:

- Para un pasante del 5% al 10% de la malla N^o 4 (4.75 mm) agregar 74 kg/m³ de agregado fino.

- Para un pasante del 0% al 5% de la malla N° 4 (4.75 mm) agregar 119 kg/m^3 de agregado fino.

El conocer las características de los agregados a utilizar en la mezcla de hormigón poroso, permitirá determinar la influencia que tendrán ya sea en estado fresco como en estado endurecido.

Relación ponderal entre el agregado fino y el agregado grueso (F/G).

El parámetro (F/G) tiene una gran influencia en el comportamiento del concreto permeable, está íntimamente relacionado con el tamaño máximo del agregado grueso, de manera que, a mayor tamaño del agregado grueso, y más uniforme, la relación (F/G) debe ser menor. En el trabajo de graduación bajo el título “Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos según el tipo de granulometría” llevada a cabo por estudiantes de la Universidad de Medellín, Colombia; este valor parece indicar que el valor (F/G) debe oscilar entre 0.05 y 0.30.

Una relación inferior a 0.05 impide la formación de puentes suficientemente resistentes con dotaciones de cemento y, por otro lado, desampara excesivamente el conglomerante frente a ataques químicos de sustancias transportadoras por el agua o del agua pura misma. Valores elevados de F/G producen efectos en función de la relación agua/cemento; en estado fresco, si se trabaja con valores altos de agua/cemento y mayor fluidez del mortero, este escurre hacia las zonas inferiores del concreto, colmatando y cementando la masa de dichas zonas, de esta forma, disminuye la permeabilidad del conjunto y reduce los puentes entre los agregados.

Figura 2.18. Agregados.

a) Agregado grueso.



b) Agregado fino.



Fuente: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón.

2.1.4.7. Aditivos.

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. (AQUINO, 2015)

Las razones principales para el uso de aditivos son:

1. Reducción del costo de la construcción de concreto.
2. Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras.
3. Mantenimiento de la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colado (colocación) y curado en condiciones de clima adverso; reductor de retracción, reductor de agua, agente espumante, inhibidor de corrosión e incorporado de agua.
4. Superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado.

2.1.4.7.1. Fibras de Polipropileno.

Las fibras de polipropileno las más populares de las fibras, son químicamente inertes, hidrofóbicas y ligeras (livianas). Se producen como monofilamentos cilíndricos continuos que se pueden cortar en longitudes específicas o como filmes y cintas. Estas fibras se componen de finas fibrillas de sección transversal rectangular.

Usadas en un volumen mínimo de 0.1% del volumen del concreto, las fibras de polipropileno reducen la fisuración (agrietamiento) por contracción (retracción) plástica y disminuyen el agrietamiento (fisuración) sobre la armadura de acero. La presencia de las fibras de polipropileno en el concreto puede reducir el revenimiento (asentamiento) o la sedimentación de las partículas de agregados, así, reduciendo los canales capilares de sangrado (exudación). Las fibras de polipropileno pueden reducir el descascaramiento del concreto. (FLORES & PACOMPIA, 2015)

Figura 2.19. Fibras de polipropileno.



Fuente: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón.

2.1.5. Propiedades.

Las propiedades del Hormigón poroso señalados por Carlos Aire del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto son las siguientes:

2.1.5.1. Propiedades en estado fresco.

- **Revenimiento:** En general es cero, sin embargo, se usan valores en el rango de 2 cm a 5 cm. La prueba de revenimiento no es una prueba que se considera para fines de control de calidad, como en el caso del concreto convencional, solo se considera como un valor de referencia, debido principalmente a que la mezcla es demasiado rígida y la medición del revenimiento en la mayoría de los casos no es aplicable.
- **Peso unitario:** El peso unitario del concreto permeable es del orden del 70% del concreto convencional.
- **Tiempo de fraguado:** El tiempo de fraguado se reduce en el concreto permeable, por lo que en algunos casos se debe usar aditivos químicos para permitir la adecuada colocación.

2.1.5.2. Propiedades en estado endurecido.

- **Porosidad:** La porosidad es una medida de los espacios vacíos entre los agregados. La condición para que un concreto sea permeable es que el contenido de vacíos sea mayor al 15%.
- **Permeabilidad:** La permeabilidad al igual que la porosidad depende de las propiedades de los materiales, de 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.

2.1.5.3. Propiedades mecánicas.

- **Resistencia a la compresión:** La resistencia a la compresión típica es del orden de 28 kg/cm^2 , sin embargo, se pueden desarrollar resistencias hasta de 280 kg/cm^2 . La resistencia a la compresión está influenciada por los materiales componentes, el esfuerzo de compactación y por el contenido de vacíos.
- **Resistencia a la flexión:** La resistencia a la flexión varía entre 10.200 kg/cm^2 y 38.800 kg/cm^2 . Su determinación puede estar sujeta a una importante variabilidad, por lo que es común medir la resistencia a la compresión y usar relaciones empíricas para estimar su valor.

- **Contracción:** La contracción por secado en el concreto permeable se presenta más pronto, sin embargo, es menor, del orden de la mitad de lo esperado en el concreto convencional. La menor contracción permite eliminar el número de juntas, o en todo caso, respecto a los pavimentos construidos con concretos convencionales, colocarlas más espaciadas.

Tabla 2.1. Propiedades típicas del concreto poroso.

Propiedad	Rango
Revenimiento (cm)	2
Peso unitario (kg/m ³)	1600 – 2000
Tiempo de fraguado (s)	60
Porosidad (%)	15 – 35
Permeabilidad (cm/s)	0.140 – 1.220
Resistencia a compresión (kg/cm ²)	28 – 280
Resistencia a flexión (kg/cm ²)	10.200 – 38.800

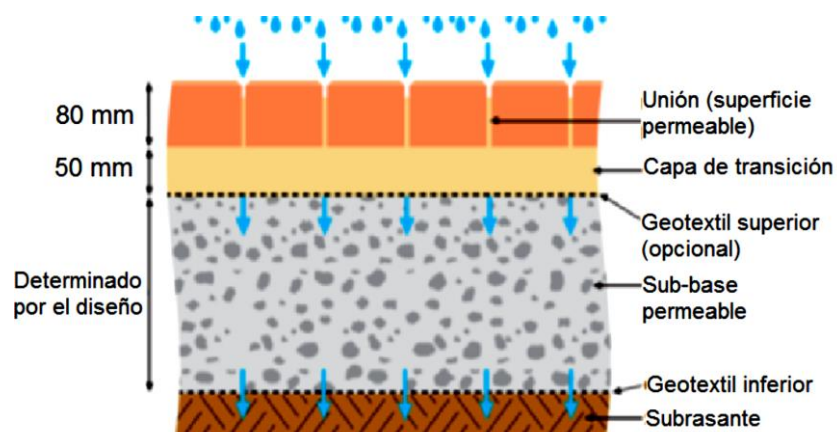
Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

2.1.6. Sistema de infiltraciones o drenajes.

2.1.6.1. Sistemas de infiltración total.

Cuando la capacidad de infiltración del terreno es lo suficientemente grande, se puede diseñar el pavimento permeable para que el agua infiltre en su totalidad hacia el mismo. Por lo tanto, el reservorio de piedras debe ser lo suficientemente grande para almacenar el volumen de agua pluvial, menos el volumen de agua que es infiltrado durante esa lluvia. De ese modo el sistema provee el control total para todos los eventos de lluvia de magnitud inferior o igual a la lluvia de diseño. (FLORES & PACOMPIA, 2015)

Figura 2.20. Estructura del pavimento permeable de infiltración total.

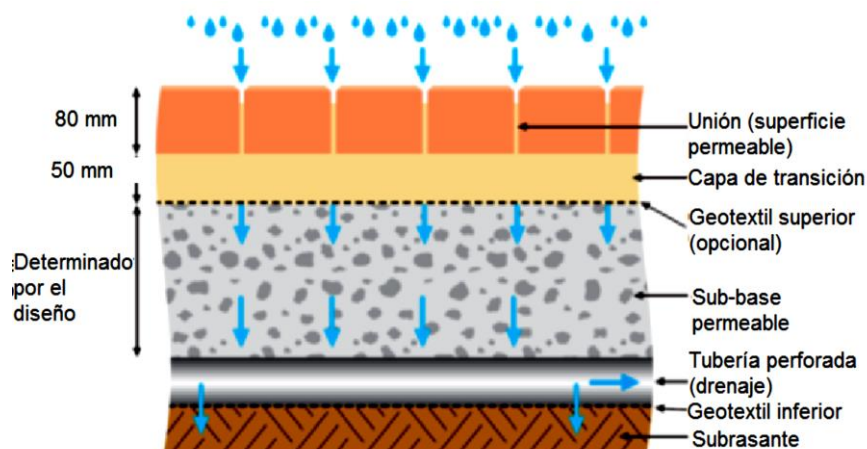


Fuente: Elaboración propia.

2.1.6.2. Sistema de infiltración parcial con drenaje longitudinal.

Cuando la capacidad de infiltración del terreno es escasa o limitada, se completa la infraestructura con drenes longitudinales (tubería cribada) en las capas inferiores que evacúan el exceso de agua hacia la red convencional.

Figura 2.21. Estructura del pavimento permeable de infiltración parcial.

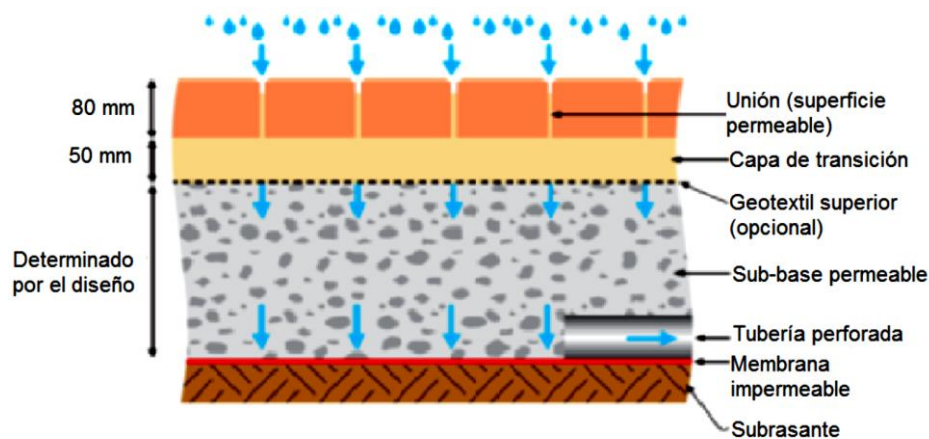


Fuente: Elaboración propia.

2.1.6.3. Sistema de infiltración nula.

Dado que la capacidad de infiltración al terreno es nula, el sistema debe contar necesariamente con drenes longitudinales en las capas inferiores que evacúan el agua almacenada a la red convencional. Esta alternativa se usa cuando la permeabilidad del suelo es muy baja (por ejemplo en terrenos arcillosos), o cuando se quiere aprovechar el agua filtrada (en este caso la salida es hacia la red de aprovechamiento).

Figura 2.22. Estructura del pavimento permeable de infiltración total.



Fuente: Elaboración propia

La selección del tipo de sistema se lleva a cabo teniendo en cuenta las propiedades del material que compone la subrasante y el propósito con el que se desea diseñar el sistema.

2.1.7. Ensayos y caracterización de materiales.

2.1.7.1. Contenido total de agua de los áridos por secado (ASTM C 566).

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla. Se expresa de la siguiente forma:

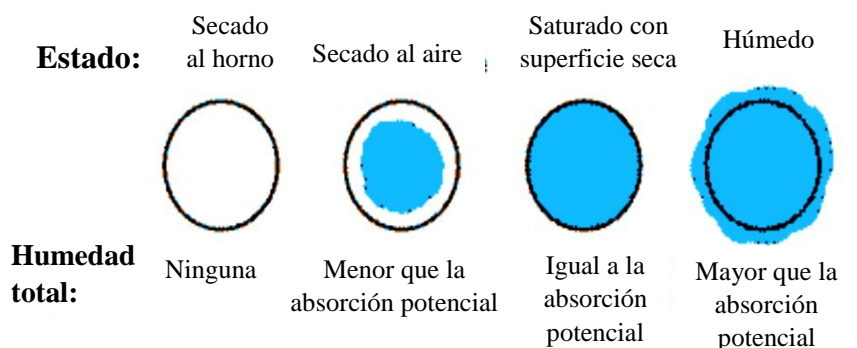
Ecuación N°1

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Peso humedad} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} * 100$$

1. Secado al horno – totalmente absorbente
2. Secado al aire – la superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad y, por lo tanto, aún es ligeramente absorbente.
3. Saturado con superficie seca (SSS) – no absorben ni ceden agua al concreto
4. Húmedos – Contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre)

Las condiciones de humedad de los agregados se presentan en la Figura y se las puede definir como:

Figura 2.23. Condiciones de humedad de los agregados.



Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de agua que se adiciona en la planta de concreto se debe ajustar para las condiciones de humedad de los agregados, a fin de que se atienda a la demanda de agua del diseño de la mezcla de manera precisa. Si el contenido de agua del concreto no se mantiene constante, la relación agua-cemento variará de una amasada a la otra, resultando en la variación de otras propiedades, tales como la resistencia a la compresión y la trabajabilidad.

Los agregados grueso y fino generalmente tienen niveles de absorción (contenido de humedad a SSS) que varían del 0.200% al 4% y del 0.200% al 2%, respectivamente. Los contenidos de agua libre, por lo general, varían del 0.500% al 2% para el agregado grueso y del 2% al 6% para el agregado fino. El contenido máximo de humedad del agregado grueso drenado es normalmente menor que aquel del agregado fino. La mayoría de los agregados finos pueden mantener un contenido máximo de humedad drenada de cerca del 3% al 8%, mientras que el agregado grueso puede mantener del 1% al 6%.

2.1.7.2. Método para determinar la granulometría (ASTM C 136 AASHTO T27).

2.1.7.2.1. Para agregado grueso.

Los requisitos de granulometría (gradación) del agregado grueso de las normas ASTM C 33 (AASHTO M 80), permiten límites amplios en la granulometría y una gran variedad de tamaños granulométricos. La granulometría del agregado grueso con un determinado tamaño máximo puede variar moderadamente dentro de un rango, sin que afecte apreciablemente las demandas de cemento y agua de la mezcla, si las proporciones del agregado fino, con relación a la cantidad total de agregados, producen un concreto con buena trabajabilidad. Las proporciones de la mezcla se deben cambiar para producir un concreto trabajable si ocurrieran grandes variaciones en la granulometría del agregado grueso. Como estas variaciones son difíciles de predecir, frecuentemente es más económico mantener la uniformidad de la producción y el manejo del agregado grueso, para que se reduzcan las variaciones de la granulometría.

El tamaño máximo del agregado grueso influye en la economía del concreto. Normalmente, se requiere más agua y cemento en concretos con agregados gruesos de tamaño máximo menor si es comparado con agregados de tamaño máximo mayor, debido al aumento del área superficial total del agregado. El agua y cemento necesarios para que se obtenga un revenimiento (asentamiento) de 7.500 cm (3 pulg.), con el uso de una gran variedad de tamaños de agregados gruesos. El costo elevado para la obtención y manejo de agregados mayores que 5.000cm (2 pulg.) puede compensar el ahorro por la utilización de menos cantidad de cemento. Además, agregados de tamaños diferentes pueden producir concretos con resistencias ligeramente diferentes, para una misma.

Tabla 2.2. Usos granulométricos para poder realizar los diseños de mezclas.

Requisitos de clasificación para agregado grueso															
Tamaño Número	Tamaño nominal tamices con abertura cuadrada	Cantidades más finas que cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), % en peso													
		100 mm 4''	90 mm 3 ½''	75 mm 3''	63 mm 2 ½''	50 mm 2''	37.5 mm 1 ½''	25 mm 1''	19 mm ¾''	12.5 mm ½''	9.5 mm 3/8''	4.75 mm N°4	2.36 mm N°8	1.18 mm N°16	300 mm N°50
1	90*37.5 mm (3 ½'' a 1 ½'')	100	90a100		25 a 60		0 a 15		0 a 15						
2	63 a 37.5 mm (2 ½'' a 1 ½'')			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15						
3	50 a 25 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 (1 ½'' a ¾'')					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 15				
467	37.5 a 4.75 mm 1 ½'' a N° 4					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 15			
5	25 a 12.5 mm 1'' a ½''						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 15				
56	25 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 a 4.75 mm 1'' a N° 4						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	19 a 9.5 mm ¾'' a 3/8''							100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	19 a 4.75 mm ¾'' a N°4							100	95 a 100		20 a 55	5 a 10	0 a 5		
7	12.5 a 4.75 mm ½'' 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° 16									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										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: Norma ASTM.

Módulo de finura.

El módulo de finura del agregado grueso, es el índice aproximado que nos describe en forma rápida y breve la proporción de finos o de gruesos que se tiene en las partículas que lo constituyen.

El módulo de finura para el agregado grueso se calcula sumando los porcentajes acumulados de los tamices 11/2'', 3/4'', 3/8'', N°4 + 500 y dividiendo el total entre 100. Un indicador de la finura de un agregado es: cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado. Por lo general, el rango del módulo de finura del agregado grueso es de **5.500 a 8.500**.

2.1.7.2.2. Para agregado fino.

El agregado fino deberá estar bien gradado entre los límites fino y grueso y tendrá la siguiente granulometría:

Tabla 2.3. Granulometría de la norma ASTM C-33 para el agregado fino.

Tamiz U.S.Standard	Dimensión de la malla (mm)	Porcentaje en peso que pasa
N° 3/8"	9.520	100
N° 4	4.750	95-100
N° 8	2.360	80-100
N° 16	1.180	50-85
N° 30	0.600	25-60
N° 50	0.300	10-30
N° 100	0.150	2-10

Fuente: Norma ASTM.

Tabla 2.4. Requisitos de la norma ASTM para el agregado fino.

Sustancia	Norma	Límite máximo (%)
Material que pasa el tamiz N° 200	(ASTM C 117)	3%
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	1%
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	1%
Total de otras sustancias dañinas (como álcalis, mica, limo)		2%
Pérdida por meteorización	(ASTM C 88, método Na ₂ SO ₄)	10%

Fuente: Norma ASTM.

Módulo de Finura.

El módulo de finura del agregado fino es el índice aproximado que nos describe en forma rápida y breve la proporción de finos o de gruesos que se tiene en las partículas que lo constituyen.

El módulo de finura de la arena se calcula sumando los porcentajes acumulados en las mallas siguientes: Número 4, 8, 16, 30, 50 y 100 y dividiendo el total entre 100. Un indicador de la finura de un agregado es: cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado.

Es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto. El rango del módulo de finura de la arena es de **2.300 a 3.100**.

Si el módulo de finura de una arena es de 2.300 se trata de una arena fina; y si el módulo se encuentra entre 2.300 a 3.100 se trata de una arena mediana y si el modulo es mayor que 3.1 se trata de una arena gruesa.

2.1.7.3. Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM C 127 AASHTO T85) y Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM C 128 AASHTO T84).

Se define en la dosificación de hormigón, como la relación del peso de la muestra de un material en el aire, al peso del agua desplazado por el mismo incluyendo sus poros permeables. Según sea que el peso en el aire se considera seco (en horno a peso constante) o en condición de saturado y superficie seca, el peso específico se refiere a una de esas condiciones.

El peso específico de los agregados, que se expresa también como densidad en el sistema Internacional de Unidades, adquiere importancia en la construcción, cuando se requiere que el concreto tenga un peso límite, sea máximo o mínimo. Además, el peso específico es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que el peso específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles, caso en el que es recomendable realizar pruebas adicionales.

La mayoría de los agregados naturales tiene masas específicas relativas que varían de 2.400 a 2.900, con masa específica correspondiente de las partículas de 2400 a 2900 kg/m³.

Las condiciones de humedad de los agregados y se las puede definir como:

1. Secado al horno – totalmente absorbente
2. Secado al aire – la superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad y, por lo tanto, aún es ligeramente absorbente
3. Saturado con superficie seca (SSS) – no absorben ni ceden agua al concreto
4. Húmedos – Contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre) 2% para el agregado grueso y del 2% al 6% para el agregado fino. El contenido máximo de humedad del agregado grueso drenado es normalmente menor que aquél del agregado fino. La mayoría de los agregados finos puede mantener un contenido máximo de humedad drenada de cerca del 3% al 8%, mientras que el agregado grueso debe mantener del 1% al 6%.

2.1.7.4. Métodos para determinar el peso unitario (ASTM C 30 ASTM C 29).

Peso unitario compactado (γ_{ac}). Peso unitario del árido compactado en la medida que lo contiene, según los procedimientos indicados en este método.

Peso unitario suelto (γ_{as}). Peso unitario de áridos vaciado en la medida que lo contiene, según el procedimiento indicado en este método.

La masa volumétrica aproximada del agregado comúnmente usado en el concreto de peso normal varía de 1200 kg/m^3 a 1750 kg/m^3 .

2.1.7.5. Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM C 131 AASHTO T96).

Los materiales que se usan en los pavimentos de carreteras deberán ser duros y resistir el desgaste debido al efecto de pulido del tránsito y a los efectos abrasivos internos de las cargas repetidas. La estimación más comúnmente aceptada de la dureza de los agregados es la prueba de abrasión de Los Ángeles. La máquina que se usa en la prueba de Los Ángeles consta de un cilindro de acero hueco, cerrado en ambos extremos y montado en ejes en posición horizontal.

Para ejecutar la prueba de abrasión de Los Ángeles, se coloca dentro el cilindro una muestra limpia del agregado que se ha de probar junto con un peso estándar de esferas de acero como carga abrasiva. El tambor se hace girar 500 veces a una velocidad de 30 a 33 rpm, después de lo cual se retira la muestra de agregado y se agita en una malla del No. 12 (1,700 mm). El material retenido en el tamiz se lava, se seca hasta alcanzar una masa constante y se pesa. Se reporta como porcentaje de desgaste la diferencia entre la masa original y la masa fina de la muestra expresada como un porcentaje de la masa original.

Tabla 2.5. Requisitos de la norma ASTM para el agregado grueso

Sustancias	Norma	Límite máximo (%)
Material que pasa por el tamiz N° 200	(ASTM C 117)	Max. 0.50
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	Max. 1
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	Max. 0.50
Otras sustancias dañinas		Max. 1
Pérdida por intemperismo	(ASTM C 88, método Na_2SO_4)	Max. 12
Pérdida por abrasión en la máquina de los Ángeles	(ASTM C 131 y C 535)	Max. 40

Fuente: Norma ASTM

2.1.8. Dosificación del hormigón convencional.

El objetivo de la dosificación de hormigones es determinar las proporciones en que deben combinarse los materiales componentes, con el fin de obtener las condiciones previstas para el hormigón.

Existen varios métodos de dosificación del hormigón como ser los métodos de García Balado, método O'Reilly, método Aashto y el método Americano ACI, entre otros. Pero el método ACI es el que garantiza mejor calidad en el hormigón, por lo cual se opta por este método para la dosificación de la mezcla.

2.1.8.1. Método de Dosificación ACI 211.

Tabla 2.6. Selección de la resistencia del hormigón f_{ck} y f_{cm} .

Resistencia de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar (a)	
Resistencia específica f_{ck} en (kg/cm²)	Resistencia de diseño de la mezcla f_{cm} en (kg/cm²)
Menos de 210 kg/cm ²	$f_{ck} + 70$ kg/cm ²
De 210 a 350 kg/cm ²	$f_{ck} + 85$ kg/cm ²
Más de 350 kg/cm ²	$f_{ck} + 100$ kg/cm ²

Fuente: Código ACI 211

Tabla 2.7. Selección del asentamiento.

Asentamiento recomendados para diversos tipos de construcción y sistema de colocación y compactación				
Consistencia	Asentamiento cm.	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-2	Prefabricados de alta resistencia revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta; hormigones de proyección neumática (lanzados)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión.
Seca	2-3.5	Pavimentos.	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Sección sujetas a vibración intensa.
Semi-seca	3.5-5	Pavimentos, fundaciones en hormigón simple.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas, con vibración.
Media	5-10	Elementos compactados a mano, losas, muros, vigas	Colocación manual.	Secciones medianamente reforzadas, sin vibración.

Húmeda	10-15	Elementos estructurales esbeltos.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas, sin vibraciones.
Muy húmeda	15 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo-embudo tremie	Secciones altamente reforzadas, sin vibración (normalmente no adecuados para vibrarse.

Fuente: Código ACI 211

Tabla 2.8. Selección del tamaño máximo del agregado.

Tamaños máximos nominales de agregados según el tipo de construcción.				
Dimensión mínima de la sección (cm)	Tamaño máximo en pulg. (mm.)			
	Muros reforzados, vigas y columnas	Muros sin refuerzos	Losa muy reforzadas	Losas sin refuerzos o poco reforzadas
6 – 15	½”(12) – ¾”(19)	¾”(19)	¾”(19) - 1”(25)	¾”(19)- 1¾”(38)
19 – 29	¾”(19)–1½”(38)	1½”(38)	1½”(38)	1½”(38)- 3”(76)
30 – 74	1½”(38)– 3”(76)	3”(76)	1½”(38)– 3”(76)	3”(76)
75 o mas	1½”(38)– 3”(76)	6”(152)	1½”(38)– 3”(76)	3”(76)- 6”(152)

Fuente: Código ACI 211

Tabla 2.9. Selección del tamaño máximo del agregado.

Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregados, con partículas de forma redondeada y textura lisa, en hormigón sin aire incluido.									
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en cm (pulg.)							
		0.951 3/8"	1.270 1/2"	1.900 3/4"	2.540 1"	3.810 1 1/2"	5.080 2"	6.400 2 1/2"	7.610 3"
cm	Pulg.	Agua de mezclado, en kg/m ³ de hormigón							
0	0	213	185	171	154	144	136	129	123
2.5	1	218	192	177	161	150	142	134	128
5.0	2	222	197	183	167	155	146	138	132
7.5	3	226	202	187	172	160	150	141	136
10.0	4	229	205	191	176	164	154	144	139
12.5	5	231	208	194	179	168	156	146	141
15.0	6	233	212	195	182	172	159	150	146
17.5	7	237	216	200	187	176	165	156	148
20.0	8	244	222	206	195	182	171	162	154

Fuente: Código ACI 211.

Tabla 2.10. Resistencia en función a la razón agua/cemento.

Correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días de edad y la relación de agua – cemento para los cementos portland tipo I, en hormigones sin aire incluido			
Resistencia a la compresión Kg/cm²	Relación agua – cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0.720	0.650
175	-	0.650	0.580
210	0.700	0.580	0.530
245	0.640	0.530	0.490
280	0.590	0.480	0.450
315	0.540	0.440	0.420
350	0.490	0.400	0.380

Fuente: Código ACI 211.

2.1.8.2. Cálculo del contenido de cemento.

La cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto se obtiene de las determinaciones efectuadas en las tablas 2.9 y 2.10.

El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado (Tabla.2.8), dividido entre la relación “agua/cemento” (Tabla 2.9). No obstante, si la especificación incluye por separado un límite mínimo de cemento, además de los requerimientos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en aquel criterio que conduzca a la mayor cantidad de cemento.

Ecuación N° 2.

$$C = \frac{A}{A/C}$$

Donde:

C = Contenido de cemento en kg/m³.

A = Requerimiento de agua de mezclado en kg/m³.

A/C = Relación agua/cemento, por peso.

Estimación del contenido de agregado grueso.

Los agregados similares en granulometría y en tamaño máximo producirán un concreto de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplee un volumen determinado de agregado grueso y seco, compactado con varilla por volumen unitario de concreto.

Tabla 2.11. Volumen del agregado seco y compactado.

Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla (a), por volumen de hormigón para diferente módulos de finura de la arena (b)					
Tamaño máximo		Módulo de finura de la arena			
Cm	Pulg.	2.400	2.600	2.800	3.000
9.500	3/8''	0.500	0.480	0.460	0.440
12.700	1/2''	0.590	0.570	0.550	0.530
19.000	3/4''	0.660	0.640	0.620	0.600
25.400	1''	0.710	0.690	0.670	0.650
38.100	1 1/2''	0.750	0.730	0.710	0.690
50.800	2''	0.780	0.760	0.740	0.720
76.100	3''	0.820	0.800	0.780	0.760
152.000	6''	0.870	0.850	0.830	0.810

Fuente: Norma ACI 211.

2.1.8.3. Estimación del contenido de agregado fino.

Si el peso del volumen unitario de concreto se presupone o puede estimarse por experiencia, el peso requerido de agregado fino es simplemente la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los otros ingredientes. Por lo general, sobre la base de experiencias anteriores con materiales, se conoce el peso unitario del concreto con una precisión razonable, si no se cuenta con esta información se puede utilizar datos tabulados.

Tabla 2.12: Peso seco y volumen absoluto.

Peso seco y volumen absoluto de los ingredientes por metro cúbico de hormigón			
Componente	Peso seco	Peso	Volumen
Cemento	Pc	Gc	Vc
Agua	Pa	1.00	Va
Contenido de aire	-	-	A
Agregado grueso	Pag	Gag	Vag
Agregado fino	Paf	Gaf	Vaf
TOTAL	Pu		1.00

Fuente: Norma ACI 211.

Ajustes a las mezclas de prueba.

En la obra es común que por las condiciones de los agregados, la cantidad de agua calculada sea demasiado o, por lo contrario, sea poca. En tales casos debe realizarse una corrección en las proporciones calculadas en función al contenido de humedad que contenga tanto el material fino como grueso.

2.1.9. Cargas.

Los pavimentos, tienen por función soportar las cargas que los vehículos transmiten. El peso del vehículo se transmite a través de sus llantas.

Lo Normal en el diseño pavimento es considerar el peso de los ejes, puede tener dos o cuatro llantas. El peso máximo en nuestro país es 14500 kg para un eje tándem de ocho llantas. Estas cargas máximas varían de una nación a otra. Si se verifica frecuentemente el peso de los vehículos que usan nuestras carreteras y calles, se verían con frecuencia que exceden de esas cargas legales máximas.

2.1.9.1. Cargas de diseño.

Los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferentes pesos y número de ejes y el efecto de cálculo se transforma en números equivalentes de ejes.

2.1.9.2. Cargas de tránsito.

La carga aplicada a los pavimentos por efecto del transporte, desde un punto de vista mecánico, está directamente relacionada con el peso y las dimensiones de los vehículos que transitan sobre éstos.

Esta carga se traduce como una distribución de esfuerzos que, conjugados con las condiciones estructurales de las diversas capas de la carretera, provocan un estado de desgaste o deterioro del pavimento, con la consecuente disminución de la capacidad de carga de la estructura y de la reducción de los niveles de seguridad y comodidad en el manejo.

Mayores niveles de carga conducen a una mayor probabilidad de daños en carreteras y puentes. Además de lo anterior, el incremento en carga lleva consigo un efecto considerable en el comportamiento dinámico del vehículo, que conjugado con las condiciones superficiales de la carretera, repercuten sobre su estabilidad, en otras palabras su incidencia también se refleja en niveles de seguridad de las carreteras.

Así como la distribución del tipo de camiones es importante, lo es también la de los pesos. Esto es en función de las nuevas reglamentaciones en cuanto a cargas y a las variaciones en el esquema productivo de una zona o de todo el país en general. Los factores que se deben conocer en este rubro son: peso total del camión y distribución por ejes de este peso. Al respecto en Bolivia, la Ley de Cargas establece los siguientes pesos máximos por eje:

Tabla 2.13. Peso bruto máximo por eje.

Tipos de configuraciones de eje y grupos de ejes vehiculares	Peso bruto máximo permitido por eje o grupos de ejes (Toneladas)
Eje sencillo (direccional o fijo) de 2 llantas.	7.000
Eje sencillo de 2 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática.	7.700
Eje tipo tándem de 4 llantas.	10.000
Eje sencillo de 4 llantas.	11.000
Eje tipo tándem de 4 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática.	12.000
Eje tipo tándem de 6 llantas.	14.000
Eje tipo tándem de 6 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática.	16.000
Eje tipo trídem de 6 llantas.	17.000
Eje tipo trídem de 8 llantas.	18.000
Eje tipo trídem de 6 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática.	18.000
Eje tipo trídem de 10 llantas.	21.000
Eje tipo trídem de 10 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática.	22.000
Eje tipo trídem de 12 llantas.	25.000

Fuente: Ley N° 441.

Así como la distribución del tipo de camiones es importante, lo es también la de los pesos. Esto es en función de las nuevas reglamentaciones en cuanto a cargas y a las variaciones en el esquema productivo de una zona o de todo el país en general. Los factores que se deben conocer en este rubro son: peso total del camión y distribución por ejes de este peso. Al respecto en Bolivia, la Ley de Cargas establece los siguientes pesos máximos por eje:

Eje Delantero: 6 000 kg.

Eje Trasero Simple: 11000 kg.

Eje Trasero Tándem: 18000 kg.

Eje Trasero Trídem: 25000 kg.

A pesar de ello, al momento de actualizar la presente publicación aún se conoce que en varias carreteras la Ley de Cargas no se respeta rigurosamente y circulan vehículos sobrecargados con los consecuentes daños al pavimento. Si se debe tomar en cuenta estas

sobrecargas o aplicar multas y no considerarlas en el diseño es un debate que cae fuera del alcance de esta publicación, pero la circulación de vehículos sobrecargados originará indefectiblemente daños en el pavimento.

2.2. MARCO NORMATIVO.

El presente trabajo de investigación estará basado en los ensayos de laboratorio de caracterización de materiales, propiedades físicas y mecánicas del hormigón reglamentados por la norma **AASHTO y ASTM**, también por "Diseño y Control de Mezclas de Concreto" del Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (**IBCH**), la dosificación por la norma **ACI-211** y la determinación de carga por la **LEY N° 441**.

2.3. MARCO REFERENCIAL.

La referencia para comenzar a desarrollar el presente trabajo de investigación es La investigación de Cesar Eddy Flores Quispe y Iván Alexander Pacompia Calcina en Perú en el 2015, con título de tesis; "Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos $f'c$ 175 kg/cm² en la ciudad de Puno".

2.4. ANÁLISIS DEL APORTE TEÓRICO.

El marco teórico de esta investigación, en su primera parte señala conceptos sobre los pavimentos, lo tipos de pavimentos y luego se enfoca en lo que es el pavimento poroso y hormigón poroso, su aplicación de materiales que lo componen, sus propiedades y tipos de infiltraciones. En su segunda parte nos señala los ensayos de laboratorio que se ejecutaron identificando sus límites mínimos y máximos de cada ensayo.

Y tenemos la conceptualización de lo que es la carga y las cargas que se aplican en nuestro país a cual nos da la **LEY N° 441 DE CARGAS**.

Este aporte teórico es de gran importancia para la realización de esta investigación siendo que nos guías con las normas y leyes a seguir para poder elaborar mejor nuestros ensayos, dándonos rangos que deben cumplir cada uno de los ensayos que vamos a realizar y para identificar si son aptos para la realización de un pavimento que pueda soportar diferentes cargas de tránsito al cual será sometido. Se basó en las normas **ACI Y AASTHO**.

CAPÍTULO III
CRITERIOS PARA
RELEVAMIENTO DE LA
INFORMACIÓN

CAPÍTULO III

CRITERIOS PARA RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO.

3.1.1. Unidad de Estudio o Muestra.

Ensayos de laboratorio de hormigones. Se extraerá información directa de los siguientes elementos:

- Ensayo de caracterización de agregados.
- Ensayos de productos

3.1.2. Población y muestra.

Población N°= **104 ensayos.**

Muestra estratificada por fijación proporcional.

N_i= Población Inicial.

n= Muestra.

e= Error 5% 0.05

Z= Nivel de significancia 1.96

NC= Nivel de Confianza 95

Ecuación N°3

$$n = \frac{\sum_1^n N_i * \sigma^2}{N * \left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \left(\frac{1}{N} * \sum_1^n N_i * \sigma^2\right)}$$

n= 62.023 = **62**

La muestra es una pequeña parte de la población.

Muestra N°= **62 ensayos.**

- Finura del cemento.
- Peso específico de cemento.
- Contenido de humedad.
- Granulometría de agregados.
- Desgaste de los ángeles.
- Peso específico de los agregados.
- Peso unitario de los agregados.
- Dosificación de probetas para compresión.

- Dosificación de probetas para flexión.
- Determinación de la resistencia compresión.
- Determinación de la resistencia flexión.
- Ensayo de permeabilidad.

Tabla 3.1. Nivel de confianza.

Nivel de confianza %	Nivel de significancia Z
50	0.570
80	1.280
85	1.440
90	1.640
95	1.960
99	2.680

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Tamaño de muestra.

El tamaño de la muestra es la siguiente la cual varió con la muestra literal debido a que en laboratorio para tener más datos exactos se tuvo que aumentar más muestras en ensayos:

Tabla 3.2. Muestras de Ensayos.

Ensayos	Cantidad
Contenido de humedad de los agregados.	6
Granulometría de agregados.	12
Desgaste de los ángeles.	3
Peso específico de los agregados.	6
Peso unitario de los agregados.	6
Finura del cemento	2
Peso específico del cemento	1
Dosificación y roturas de probetas para compresión.	15
Dosificación y roturas de probetas para flexión.	20
Ensayo de permeabilidad	5
Total	76

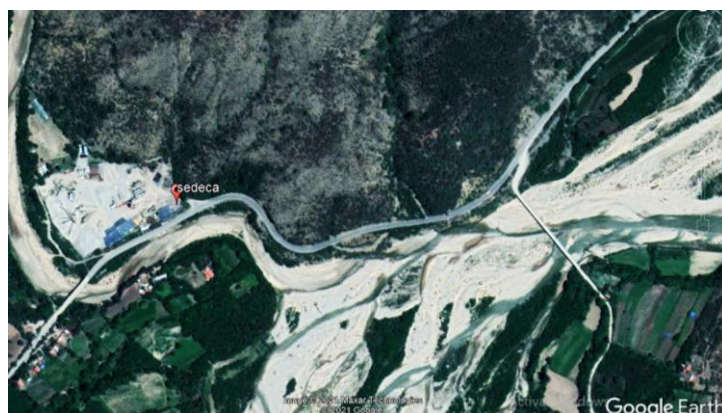
Fuente: Elaboración propia.

Nota: Cálculo propuesto en la dosificación, rotura y permeabilidad es para un solo porcentaje de fibras de polipropileno.

3.2. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La extracción de muestra se hizo de la chancadora de SE.DE.CA. que se encuentra ubicada en la comunidad de San José de Charajas perteneciente al municipio de Uriondo, provincia Avilés del departamento de Tarija. Se encuentra a la mano derecha del tramo 45 que une el comunidad del Valle de Concepción con la comunidad de Chaguaya con las siguientes coordenadas UTM: Zona 20k (317056.190 m E; 7590258.150 m S). La chancadora cuenta con grava, arena que proviene del Río Camacho.

Figura 3.1. Ubicación de la chancadora.



Fuente: Google Earth.

3.3. MUESTREO DE MATERIALES.

3.3.1. Muestreo de grava y arena.

Con este objetivo fue necesario hacer un previo reconocimiento del área y sus aptitudes geotécnicas. Las muestras se extrajeron cumpliendo con las especificaciones y siguiendo los pasos de las guías de laboratorio.

Figura 3.2. Extracción de muestra de la chancadora.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Muestreo del cemento.

El cemento a utilizar es “FANCESA” Tipo IP40 conseguido de las agencias situadas en nuestra ciudad de Tarija Av. Froilán Tejerina esq. José Catoira.

3.3.3. Muestreo de las fibras de polipropileno.

Las fibras de polipropileno a utilizar es SikaFiber conseguido en la agencia Sika de la ciudad sobre la Av. La Paz esq. Ciro Felix Trigo.

3.4. CARACTERIZACIÓN AGREGADOS PARA EL HORMIGÓN.

3.4.1. Contenido de humedad de la grava y gravilla.

Este ensayo se realizó de acuerdo al **contenido total de agua de los áridos por secado** el cual está basado en la norma ASTM. C 566; el cual se utilizó un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de ± 5 °C y una balanza sensible de ± 0.1 gramo.

Tabla 3.3. Tabla de peso de la muestra.

Tamaño máximo nominal del agregado (A)		Peso mínimo de la muestra (B)
Normal (mm)	Alternativo (pulgadas)	(kg)
4.750	N° 4	0.500
9.500	3/8''	1.500
12.500	1/2''	2.000
19.000	3/4''	3.000
25.000	1''	4.000
37.500	1 1/2''	6.000
50.000	2''	8.000
63.000	2 1/2''	10.000
75.000	3	13.000
90.000	3 1/2''	16.000
100.000	4''	25.000
150.000	6''	50.000

Fuente: Norma ASTM.

Tabla 3.4. Contenido de humedad.

Contenido de humedad

Grava 3/4"

Datos	Muestra 1	Muestra 2
Peso Muestra Húmeda (gr)	3000.000	3000.000
Peso Muestra seca (gr)	2994.600	2985.670

Peso Agua (gr)	5.400	14.340
% de Humedad	0.180	0.480
	Promedio	0.330

Contenido de humedad

Gravilla 3/8"

Datos	Muestra 1	Muestra 2
Peso Muestra Húmeda (gr)	1500.000	1500.000
Peso Muestra seca (gr)	1495.750	1490.580
Peso Agua (gr)	4.250	9.420
% de Humedad	0.280	0.630
	Promedio	0.460

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Granulometría de la grava.

La granulometría de la grava se realizó utilizando los tamices especificados por la norma ASTM, un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de ± 5 °C y una balanza sensible de ± 0.1 gramo.

Figura 3.3. Juego de tamices.



Fuente: Elaboración propia.

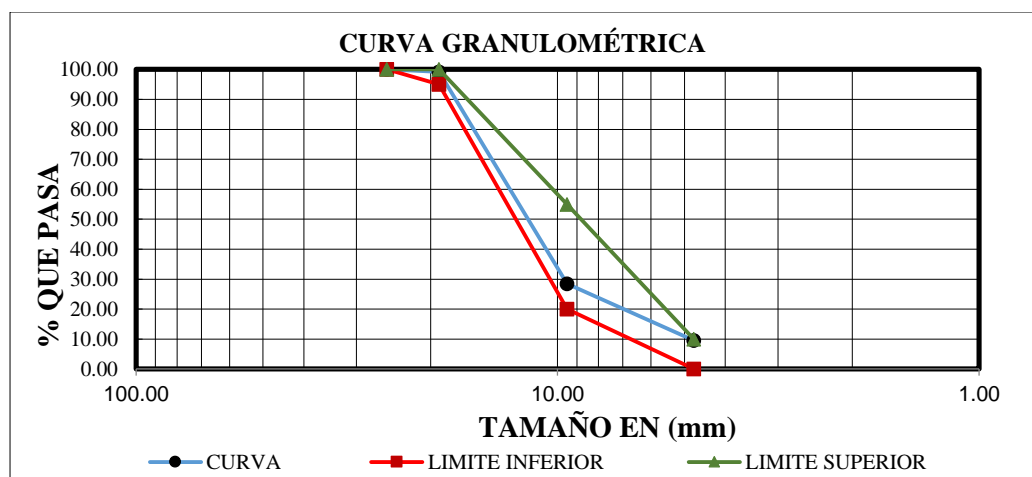
Tabla 3.5. Granulometría de la grava.

Granulometría - Agregado grueso

Grava 3/4"					Grava 3/8"				
Peso Total (gr.) =		5000			Peso Total (gr.) =		1000		
Tamiz	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Retenido Acumulado		%Pasa (%)	Peso Ret. (gr)	Retenido Acumulado		%Pasa (%)
			(gr)	(%)			(gr)	(%)	
1.	25.400	0.000	0.000	0.000	100.000	0.000	0.000	0.000	100.000
3/4	19.050	57.700	57.700	1.154	98.846	0.000	0.000	0.000	100.000
1/2	12.500	3887.400	3945.100	78.902	21.098	0.600	0.600	0.060	99.940
3/8	9.500	794.500	4739.600	94.792	5.208	17.900	18.500	1.850	98.150
N°4	4.800	255.200	4994.800	99.896	0.104	600.700	619.200	61.920	38.080
Base	0.000	5.200	5000.000	100.000	0.000	380.700	999.900	99.990	0.010
Suma =		5000.000			Suma =		999.900		
Pérdidas =		0.000			Pérdidas =		0.100		
MF =		6.958			MF =		5.638		
Agregado		Grava 3/4"		Gravilla 3/8"		Curva granulométrica	Especificaciones		
% Usado		0.750		0.250					
Pulg	mm.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.				
1"	25.400	100.000	75.000	100.000	25.000	100.000	100.000	100.000	
3/4"	19.100	98.846	74.135	100.000	25.000	99.135	95.000	100.000	
1/2"	12.500	21.098	15.824	99.940	24.985	40.809			
3/8"	9.500	5.208	3.906	98.150	24.538	28.444	20.000	55.000	
N° 4	4.750	0.104	0.078	38.080	9.520	9.598	0.000	10.000	
Base	0.000	0.000	0.000	0.010	0.003	0.003	0.000	0.000	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.4. Curva granulométrica.



Fuente: Elaboración propia.

La granulometría de la grava cumple con los parámetros especificados por la norma ASTM C-33.

3.4.2.1. Tamaño máximo de la grava.

$$\text{Tamaño máx.} = 3/4''$$

3.4.2.3. Módulo de finura de la grava.

El módulo de finura se encuentra dentro del rango especificado por la norma ACI. (5.5 – 8.5).

Ecuación N° 4.

$$MF = \frac{(\%)Ret. Acum(1\frac{1}{2} + \frac{3}{4} + \frac{3}{8} + N^{\circ}4 + 500)}{100}$$

$$MF = 6.300$$

3.4.3. Peso unitario de la grava.

3.4.3.1. Método de compactado.

Se realizó en un molde 14 l de volumen y se apisonó en 3 capas, cada una con 25 golpes con la varilla tal como especifican las normas ASTM; se utilizó un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de ± 5 °C y una balanza sensible de ± 0.5 gramo.

Figura 3.5. Ensayo de peso unitario compactado.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6. Peso unitario de la grava (compactado).

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso Unitario Suelto (gr/cm ³)
1	5845.000	9919.000	20455.000	14610.000	1.473
2	5845.000	9919.000	20765.000	14920.000	1.504
3	5845.000	9919.000	20290.000	14445.000	1.456
Promedio					1.473

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.2. Método de suelto.

Se realizó en un molde 14 l de volumen y se apisono en 3 tal como especifican las normas ASTM; se utilizó un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de ± 5 °C y una balanza sensible de ± 0.1 gramo.

Figura 3.6. Ensayo de peso unitario suelto.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.7. Peso unitario de la grava.

Muestra N°	Peso Recipiente (gr)	Volumen Recipiente (cm ³)	Peso Recip. + Muestra Suelta (gr)	Peso Muestra Suelta (gr)	Peso Unitario Suelto (gr/cm ³)
1	5845.000	9919.000	19850.000	14005.000	1.412
2	5845.000	9919.000	19590.000	13745.000	1.386
3	5845.000	9919.000	19910.000	14065.000	1.418
Promedio					1.405

Fuente: Elaboración propia.

El peso unitario tanto suelto como compactado está dentro del rango especificado por la norma ACI. (1.2 gr/cm³-1.75 gr/cm³).

3.4.4. Peso específico y absorción de la grava.

El mencionado ensayo de laboratorio se efectuó siguiendo el procedimiento estipulado por la Norma ASTM, se utilizó un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de ± 5 °C y una balanza sensible de ± 0.5 gramo.

Figura 3.7. Equipo para peso específico grava.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8. Peso específico de la grava.

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con Sup. seca "B" (gr)	Peso muestra Sat. dentro del agua "C" (gr)	Peso específico a granel (gr/cm ³)	Peso específico s.s.s. (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	% DE ABS.
1	4921.300	5000.000	3123.000	2.622	2.664	2.737	1.599
2	4931.800	5000.000	3121.000	2.625	2.661	2.724	1.383
3	4929.900	5000.000	3127.000	2.632	2.670	2.734	1.422
Promedio				2.626	2.665	2.732	1.468

Fuente: Elaboración propia.

El peso específico aparente está dentro del rango especificado por la norma ACI. (2.1 gr/cm³ - 2.9 gr/cm³)

$$\text{P.E.A.} = 2.732 \text{ gr/cm}^3$$

La absorción de la grava está dentro del rango especificado por la norma ACI. (0.2 - 4) %

$$\text{Absorción} = 1.468 \%$$

3.4.5. Desgaste de los Ángeles.

El desgaste se realiza previamente lavando el material con el apoyo del ensayo de granulometría, con el fin de identificar cuál se asemeja más en el tipo de método según la norma para Pavimento Rígido.

Conociendo el método que corresponde a nuestro material, se podrá determinar el número de ciclos de la máquina de los Ángeles y el número de esferas a usar para realizar el desgaste al material en el cual se utilizó un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de ± 5 °C y una balanza sensible de ± 0.1 gramo. .

Tabla 3.9. Método de desgaste en función a la granulometría de la grava.

Método		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear			
Pasa	Retenido				
1 1/2"	1"	1250±25	2500±10		
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10			
1/2"	3/8"	1250±10			
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N° 4			2500±10	
N° 4	N° 8				5000±10
Peso total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
Numero de esferas		12	11	8	6
N° de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación		30	15	15	15

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8. Máquina del desgaste los Ángeles



Fuente: Elaboración propia.

Ecuación N° 5

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P_{\text{Inicial}} - P_{\text{Final}}}{P_{\text{Inicial}}}$$

Tabla 3.10. Planilla de resultado del desgaste.

Método	Peso inicial	Peso final	% Desgaste	Especificación ASTM
B	5000.000	3905.500	21.890	40% MAX
B	5000.000	3809.200	23.816	40% MAX
		Promedio	22.853	40% MAX
C	5000.000	3788.000	24.240	40% MAX

Fuente: Elaboración propia.

La grava cumple con la especificación de desgaste del material, actividad que consistió en introducir a la máquina de los Ángeles el material, se lo zarandó por el tamiz 12, de esta forma; el material de desgaste es aquel que no debe pasar el 40 % del total del material.

3.4.6. Contenido de humedad de la arena.

Este ensayo se realizó de acuerdo al contenido total de agua de los áridos por secado el cual está basado en la norma ASTM C 566.

Tabla 3.11. Tabla de peso de la arena.

Tamaño máximo nominal del agregado (A)		Peso mínimo de la muestra (B)
Normal (mm)	Alternativo (pulgadas)	(kg)
4.750	N° 4	0.500
9.500	3/8''	1.500
12.500	1/2''	2.000
19.000	3/4''	3.000
25.000	1''	4.000
37.500	1 1/2''	6.000
50.000	2''	8.000
63.000	2 1/2''	10.000
75.000	3	13.000
90.000	3 1/2''	16.000
100.000	4''	25.000
150.000	6''	50.000

Fuente: Norma ASTM.

Tabla 3.12. Contenido de humedad

Datos	Muestra N° 1	Muestra N° 2
Peso Muestra Húmeda (gr)	500.000	500.000
Peso Muestra seca (gr)	490.550	490.667
Peso Agua (gr)	9.450	9.333
% de Humedad	1.926	1.902
	Promedio	1.914

Fuente: Elaboración propia.

3.4.7. Granulometría de la arena.

La granulometría de la grava se realizó utilizando los tamices especificados por la norma ASTM, un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de ± 5 °C y una balanza sensible de ± 0.1 gramo.

Figura 3.9. Granulometría agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

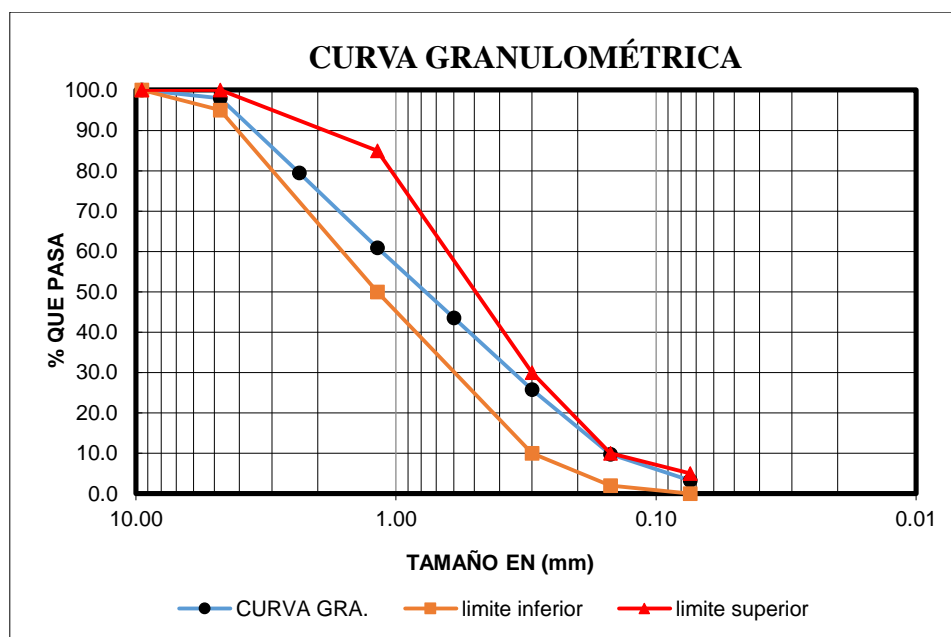
Tabla 3.13. Granulometría de la arena.

Granulometría - agregado fino.

Peso Total (gr.)		500					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% que pasa del total	Especificación ASTM C-33	
3/8	9.500	0.000	0.000	0.000	100.000	100	100
N°4	4.750	10.000	10.000	2.000	98.000	95	100
N°8	2.360	92.700	102.700	20.540	79.500		
N°16	1.180	92.600	195.300	39.060	60.900	50	85
N°30	0.600	86.700	282.000	56.400	43.600		
N°50	0.300	88.900	370.900	74.180	25.800	10	30
N°100	0.150	80.100	451.000	90.200	9.800	2	10
N°200	0.074	32.700	483.700	96.740	3.300	0	5
BASE	0.000	15.800	499.500	99.900	0.100	0	0
SUMA		499.500					
PÉRDIDAS		0.500					

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.10. Curva granulométrica del agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

La granulometría de la arena cumple con los parámetros especificados por la norma ASTM C-33.

3.4.7.1. Módulo de finura de la arena.

Según la norma ACI se trata de una arena gruesa.

Ecuación N° 7.

$$MF = \frac{(\%)Ret.Acum(\frac{3}{8} + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

MF= 2.825

3.4.8. Peso unitario de la arena.

3.4.8.1. Método de compactado.

Se realizó en un molde 3 lts de volumen y se apisonó en 3 capas, cada una con 25 golpes con la varilla tal como especifican las normas ASTM, y utilizó un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de ± 5 °C y se usó una balanza sensible de ± 0.5 gramo.

Figura 3.11. Peso unitario de la arena compactada.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.14. Peso unitario de la arena (compactado).

N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso recip.+ muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm3)
1	2610.000	2994.060	7815.000	5205.000	1.738
2	2610.000	2994.060	7910.000	5300.000	1.770
3	2610.000	2994.060	8025.000	5415.000	1.809
Promedio					1.772

Fuente: Elaboración propia.

3.4.8.2. Método de suelto.

Se realizó en un molde 14 lt de volumen y se apisonó en 3 tal como especifican las normas ASTM y utilizó un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de ± 5 °C y una balanza sensible de ± 0.5 gramo.

Figura 3.12. Ensayo de peso unitario suelto.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.15. Peso unitario de la grava (suelto).

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	2610.000	2994.060	7035.000	4425.000	1.478
2	2610.000	2994.060	7130.000	4520.000	1.510
3	2610.000	2994.060	7235.000	4625.000	1.545
Promedio					1.511

Fuente: Elaboración propia.

El peso unitario tanto suelto como compactado está dentro del rango especificado por la norma ACI. (1.200 gr/cm^3 - 1.750 gr/cm^3)

3.4.9. Peso específico y absorción de la arena.

Para este procedimiento, se siguió lo especificado por las normas ASTM, un horno de temperatura constante de ($105 \text{ }^\circ\text{C}$) con un error de $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, una balanza sensible de ± 0.1 gramo, un matraz de 500 ml y un error de $\pm 0.250 \text{ ml}$.

Figura 3.13. Matraz graduado para peso específico aparente de la arena.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.16. Peso Específico de la arena.

Nº	Peso muestra (g)	Peso matraz (gr)	Muestra + matraz + agua (gr)	Peso agua agregado al matraz "W" (ml) o (gr)	Peso muestra secada "A" (gr)	Vol. del matraz "V" (ml)	P. E. granel (gr/cm^3)	P. E. S.S.S. (gr/cm^3)	P. E. aparente (gr/cm^3)	% DE ABS
1	500	235.500	1023.300	287.800	492.900	500.000	2.323	2.356	2.403	1.420
2	500	172.100	981.800	309.700	493.800	500.000	2.595	2.627	2.682	1.240
3	500	221.600	1033.200	311.600	491.900	500.000	2.611	2.654	2.728	1.620
Promedio							2.510	2.546	2.605	1.427

Fuente: Elaboración propia

El peso específico aparente está dentro del rango especificado por la norma ACI. (2.2 gr/cm^3 - 2.7 gr/cm^3)

$$\text{P.E.A.} = 2.605 \text{ gr/cm}^3$$

La absorción de la grava está dentro del rango especificado por la norma ACI. (0.2% - 2%)

$$\text{Absorción} = 1.427 \%$$

3.4.10. Peso específico del cemento.

Para la obtención del peso, se empleó métodos estandarizados en laboratorio de hormigones de la Carrera de Ingeniería Civil, se utilizó una balanza sensible de ± 0.1 gramo y un matraz de 500 ml y un error de ± 0.250 ml.

Figura 3.14. Cemento Fancesa IP-40.



Fuente: Elaboración propia.

Ecuación N° 8.

$$PE = \frac{P}{V}$$

PE = Peso Específico de la Muestra (gr/cm³)

V = Volumen desplazado (cm³)

P = Peso de la muestra (gr)

Tabla 3.17. Peso Específico de la cemento.

N°	Peso (P) (gr)	Volumen inicial (Vi) (cm ³)	Volumen final (Vf) (cm ³)	Volumen (V) (cm ³)	Peso específico (PE) (gr/cm ³)
1	64.000	300.000	319.900	19.900	3.216

Fuente: Elaboración propia.

El peso específico del cemento está dentro del rango especificado por la norma ACI. (3-3.25gr/cm³).

$$\text{P.E.C} = 3.216 \text{ gr/cm}^3$$

3.4.11. Finura del cemento.

Es una de las propiedades más importantes del cemento, ya que ella determina en gran medida la velocidad de hidratación, el desarrollo del calor de hidratación, la retracción y la adquisición de resistencia del cemento. Un cemento con grano fino se hidrata con mucha más facilidad. Una balanza sensible de ± 0.1 gramo.

Figura 3.15. Juego de tamices para determinar la finura del cemento.



Fuente: Elaboración propia.

Ecuación N° 9.

$$F = \frac{Pr}{P} * 100$$

F = Finura del cemento (%).

P = Peso de la muestra (gr).

Pr = Peso de la muestra que no pasa el tamiz N° (gr).

Tabla 3.18. Finura del cemento.

Muestra	Peso de muestra (gr)	Retenido tamiz N° 50 (gr)	Retenido tamiz N° 200 (gr)	pr (gr)	F (%)
1	50.000	0.100	40.000	40.100	80.200
2	50.000	0.100	38.900	39.000	78.000
Promedio					79.100

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje que no pasa el tamiz N° 200 obtenido en laboratorio sí cumple con la norma ACI porque es mayor al 78% mínimo recomendado.

$$F = 79.100 \%$$

3.5. DOSIFICACIÓN ACI-211.1.

La dosificación se diseñó para una resistencia de un hormigón H-35 y un asentamiento ideal para el vaciado de pavimentos de 0-1 pulg. de asentamiento mediante la dosificación ACI 211.

3.5.1. Dosificación para probetas de hormigón poroso con 0.4% de fibras de polipropileno.

Tabla 3.19. Dosificación para hormigón poroso seco.

Pesos secos de los componentes por (m³) de concreto.

Ingrediente	Peso seco kg/m³	Volumen absoluto lt/m³	Peso específico gr/cm³
<i>Cemento</i>	450.044	146.458	3.053
<i>Fibra</i>	1.807	1.545	1.170
<i>Agua</i>	122.000	122.000	1.000
<i>Aire</i>	0.260	200.000	0.001
<i>Grava</i>	1119.427	409.816	2.732
<i>Arena</i>	308.997	118.637	2.605

Total 2002.537 998.455

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.20. Dosificación para hormigón poroso húmedo para 15 probetas.

Pesos húmedos de los componentes por (m³) de hormigón.

Ingrediente	Peso seco kg/m³	Peso húmedo kg/m³	Vol. probetas	0.005991	Cantidad	0.089859
					15	
<i>Cemento kg</i>	450.044	450.044	2.696		40.441	
<i>Fibra kg</i>	1.807	1.807	0.011		0.162	
<i>Agua lt</i>	122.000	131.797	0.790		11.843	
<i>Grava kg</i>	1119.427	1124.557	6.737		101.052	
<i>Arena kg</i>	308.997	314.912	1.887		28.298	
Total	2002.277	2023.118				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.21. Proporciones de mezcla hormigón.

Proporciones de mezcla.

Cemento	Arena	Grava
1.0	0.69	2.49

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Dosificación para probetas de hormigón poroso con 0.5% de fibras de polipropileno.

Tabla 3.22. Dosificación para hormigón poroso seco.

Pesos secos de los componentes por (m³) de concreto.

Ingrediente	Peso seco kg/m³	Volumen absoluto lt/m³	Peso específico gr/cm³
<i>Cemento</i>	449.590	146.070	3.053
<i>fibra</i>	2.260	1.930	1.170
<i>Agua</i>	122.000	122.000	1.000
<i>Aire</i>	0.260	200.000	0.001
<i>Grava</i>	1104.700	404.420	2.730
<i>Arena</i>	322.040	123.640	2.600
Total	2000.850	998.070	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.23. Dosificación para hormigón poroso húmedo para 15 probetas.

Pesos húmedos de los componentes por (m³) de hormigón.

Ingrediente	Peso seco kg/m³	Peso húmedo kg/m³	Vol. probetas	0.005991	Cantidad	0.089859
					15	
<i>Cemento kg</i>	449.590	449.590	2.693		40.400	
<i>Fibra kg</i>	2.260	2.260	0.013		0.202	
<i>Agua lt</i>	122.000	131.580	0.788		11.824	
<i>Grava kg</i>	1104.700	1109.760	6.648		99.722	
<i>Arena kg</i>	322.040	328.200	1.966		29.492	
Total	2000.590	2019.140				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.24. Proporciones de Mezcla hormigón.

Proporciones de mezcla.

Cemento	Arena	Grava
1.0	0.72	2.46

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Dosificación para probetas de hormigón poroso con 0.6% de fibras de polipropileno.

Tabla 3.25. Dosificación para hormigón poroso seco.

Pesos secos de los componentes por (m³) de concreto.

Ingrediente	Peso seco kg/m³	Volumen absoluto lt/m³	Peso específico gr/cm³
<i>Cemento</i>	449.140	145.690	3.053
<i>Fibra</i>	2.710	2.320	1.170
<i>Agua</i>	122.000	122.000	1.000
<i>Aire</i>	0.260	200.000	0.001
<i>Grava</i>	1097.303	401.730	2.730
<i>Arena</i>	328.050	125.950	2.600
Total	1999.500	997.680	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.26. Dosificación para hormigón poroso húmedo para 15 probetas.

Pesos húmedos de los componentes por (m³) de hormigón.

Ingrediente	Peso seco kg/m³	Peso húmedo kg/m³	Vol. probetas	0.005991	Cantidad	0.089859
					15	
<i>Cemento kg</i>	449.140	449.140	2.691		40.360	
<i>Fibra kg</i>	2.710	2.710	0.016		0.242	
<i>Agua lt</i>	122.000	131.480	0.788		11.815	
<i>Grava kg</i>	1097.330	1102.360	6.604		99.058	
<i>Arena kg</i>	328.050	334.330	2.003		30.043	
Total	1999.240	2020.030				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.27. Proporciones de mezcla hormigón.

Proporciones de mezcla.

Cemento	Arena	Grava
1.0	0.73	2.44

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4. Dosificación para vigas de (15x15x50) cm. de hormigón poroso con 0.4% de fibras de polipropileno.

Tabla 3.28. Dosificación para hormigón poroso seco.

Pesos secos de los componentes por (m³) de concreto.

Ingrediente	Peso seco kg/m³	Volumen absoluto lt/m³	Peso específico gr/cm³
<i>Cemento</i>	450.040	146.460	3.053
<i>Fibra</i>	1.810	1.540	1.170
<i>Agua</i>	122.000	122.000	1.000
<i>Aire</i>	0.260	200.000	0.001
<i>Grava</i>	1119.430	409.820	2.730
<i>Arena</i>	309.000	118.640	2.600
Total	2002.540	998.46	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.29. Dosificación para hormigón poroso húmedo para 20 probetas.

Pesos húmedos de los componentes por (m³) de hormigón.

Ingrediente	Peso seco kg/m³	Peso húmedo kg/m³	Vol. vigas	0.012713	Cantidad	0.254250
					20	
<i>Cemento kg</i>	450.040	450.040	5.721		114.424	
<i>Fibra kg</i>	1.810	1.810	0.023		0.458	
<i>Agua lt</i>	122.000	131.800	1.675		33.509	
<i>Grava kg</i>	1119.430	1124.560	14.296		285.919	
<i>Arena kg</i>	309.000	314.910	4.003		80.066	
Total	2002.280	2023.120				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.30. Proporciones de mezcla hormigón.

Proporciones de mezcla.

Cemento	Arena	Grava
1.0	0.69	2.49

Fuente: Elaboración propia.

3.5.5. Dosificación para vigas de (15x15x50) cm. de hormigón poroso con 0.5% de fibras de polipropileno.

Tabla 3.31. Dosificación para hormigón poroso seco.

Pesos secos de los componentes por (m³) de concreto.

Ingrediente	Peso seco kg/m³	Volumen absoluto lt/m³	Peso específico gr/cm³
<i>Cemento</i>	449.590	146.070	3.053
<i>Fibra</i>	2.260	1.930	1.170
<i>Agua</i>	122.000	122.000	1.000
<i>Aire</i>	0.260	200.000	0.001
<i>Grava</i>	1104.700	404.420	2.730
<i>Arena</i>	322.040	123.640	2.600
Total	2000.850	998.070	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.32. Dosificación para hormigón poroso húmedo para 15 probetas.

Pesos húmedos de los componentes por (m³) de hormigón.

Ingrediente	Peso seco kg/m³	Peso húmedo kg/m³	Vol. vigas	0.012713	Cantidad	0.254250
					20	
<i>Cemento kg</i>	449.590	449.590	5.715		114.309	
<i>Fibra kg</i>	2.260	2.260	0.029		0.572	
<i>Agua lt</i>	122.000	131.580	1.673		33.455	
<i>Grava kg</i>	1104.700	1109.760	14.108		282.156	
<i>Arena kg</i>	322.040	328.200	4.172		83.445	
Total	2000.590	2019.140				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.33. Proporciones de mezcla hormigón.

Proporciones de mezcla.

Cemento	Arena	Grava
1.0	0.72	2.46

Fuente: Elaboración propia.

3.5.6. Dosificación para vigas de (15x15x50) cm. de hormigón poroso con 0.6% de fibras de polipropileno.

Tabla 3.34. Dosificación para hormigón poroso seco.

Pesos secos de los componentes por (m³) de concreto.

Ingrediente	Peso seco kg/m ³	Volumen absoluto lt/m ³	Peso específico gr/cm ³
<i>Cemento</i>	449.140	145.690	3.053
<i>Fibra</i>	2.710	2.320	1.170
<i>Agua</i>	122.000	122.000	1.000
<i>Aire</i>	0.260	200.000	0.001
<i>Grava</i>	1097.330	401.730	2.730
<i>Arena</i>	328.050	125.950	2.600
Total	1999.500	997.680	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.35. Dosificación para hormigón poroso húmedo para 15 probetas.

Pesos húmedos de los componentes por (m³) de hormigón.

Ingrediente	Peso Seco kg/m ³	Peso Húmedo kg/m ³	Vol. Vigas	0.012713	Cantidad	0.254250
<i>Cemento kg</i>	449.140	449.140	5.710		20	114.194
<i>Fibra kg</i>	2.710	2.710	0.016			0.685
<i>Agua lt</i>	122.000	131.480	1.671			33.429
<i>Grava kg</i>	1097.330	1102.360	14.014			280.275
<i>Arena kg</i>	328.050	334.330	4.250			85.004
Total	1999.240	2020.030				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.36. Proporciones de mezcla hormigón.

Proporciones de mezcla.

<i>Cemento</i>	<i>Arena</i>	<i>Grava</i>
1.0	0.73	2.44

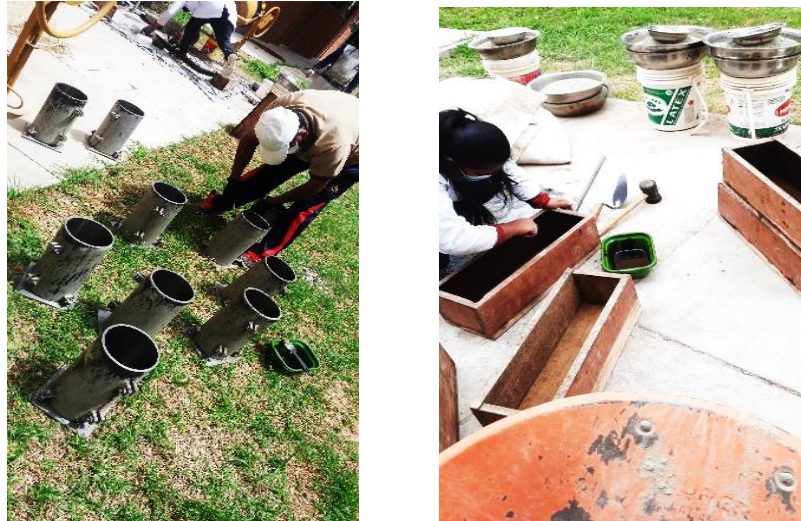
Fuente: Elaboración propia.

3.5.7. Fabricación de Moldes.

Los especímenes para este trabajo de Investigación incluían probetas de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto (H=2D) del laboratorio de hormigón de la UAJMS para el ensayo de Compresión; vigas de madera de 15x15x50 cm para el ensayo de Flexión y probetas de 100x100x10 cm para el ensayo de Permeabilidad (infiltración).

Antes de realizar el vaciado de la mezcla en los moldes se aceitó previamente las superficies que estarán en contacto con la mezcla para evitar que ésta se quede adherida a los moldes.

Figura 3.16. Moldes para ensayos a compresión, flexión y permeabilidad.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.8. Mezclado.

Para el Mezclado de los materiales se utilizó una máquina mezcladora para lograr una distribución homogénea de los agregados

Figura 3.17. Mezcladora de hormigón.



Fuente: Elaboración propia.

Para la Dosificación se mezcló en seco los agregados donde el orden de colocación de los componentes fue del más grueso al más fino desde la grava, arena, fibras de polipropileno, cemento y agua; también se inclinó la mezcladora para tener una mejor unión de los componentes de la mezcla de hormigón.

3.5.9. Asentamiento de la Mezcla.

Luego del Mezclado es necesario determinar el asentamiento que nuestra mezcla puede llegar a alcanzar, por lo que se realizó el ensayo del Cono de Abram; como se dijo anteriormente, en la dosificación se debe respetar el revenimiento de 2 cm a 3.5 cm, la cual se emplea en la mezcla para pavimento rígido.

Tabla 3.37. Asentamiento mediante el cono de Abram.

Consistencia	Asentamiento cm.	Ejemplo de tipo de construcción
Muy seca	0-2	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación
Seca	2-3.500	Pavimentos
Sema - seca	3.500-5	Pavimentos, fundaciones en hormigón simple
Media	5-10	Elementos compactados a mano, losas muros, vigas
Húmeda	10-15	Elementos estructurales esbeltos
Muy húmeda	15 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"

Fuente: Elaboración propia.

Como muestra la tabla, para este tipo de asentamiento se usará una mezcla que emplea la forma de compactación vibrada o apisonada, en el presente caso se usará la apisonada por medio de la varilla de compactación.

Para los asentamientos de las mezclas de concreto se compensó el volumen de 15 probetas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, en 10 vigas de 15x15x50 cm y 5 probetitas de 5 de diámetro y 10 cm de altura.

Tabla 3.38. Asentamiento mediante el cono de Abram.**Asentamiento para la mezcla de hormigón al 0.4 %.**

N°	Uso de	Relación a/c	Asentamiento cm
1	15 Probetas y probeta pequeña	0.270	2.100
2	5 Vigas y 1 probeta pequeña	0.270	2.000
3	5 Vigas y 1 probeta pequeña	0.270	2.200
4	5 Vigas y 1 probeta pequeña	0.270	2.400
5	5 Vigas y 1 probeta pequeña	0.270	2.000
Promedio			2.140

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.39. Asentamiento mediante el cono de Abram.**Asentamiento para la mezcla de hormigón al 0.5 %.**

N°	Uso de Mezclas	Relación a/c	Asentamiento cm
1	15 Probetas y probeta pequeña	0.270	2.100
2	5 Vigas y 1 probeta pequeña	0.270	1.900
3	5 Vigas y 1 probeta pequeña	0.270	2.200
4	5 Vigas y 1 probeta pequeña	0.270	2.400
5	5 Vigas y 1 probeta pequeña	0.270	2.000
Promedio			2.120

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.40. Asentamiento mediante el cono de Abram.**Asentamiento para la mezcla de hormigón al 0.6 %.**

N°	Uso de Mezclas	Relación a/c	Asentamiento cm
1	15 Probetas y probeta pequeña	0.270	2.300
2	5 Vigas y 1 probeta pequeña	0.270	2.500
3	5 Vigas y 1 probeta pequeña	0.270	1.800
4	5 Vigas y 1 probeta pequeña	0.270	2.100
5	5 Vigas y 1 probeta pequeña	0.270	2.100
PROMEDIO			2.160

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.18. Asentamiento mediante el cono de Abram.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.10. Vaciado y Apisonado.

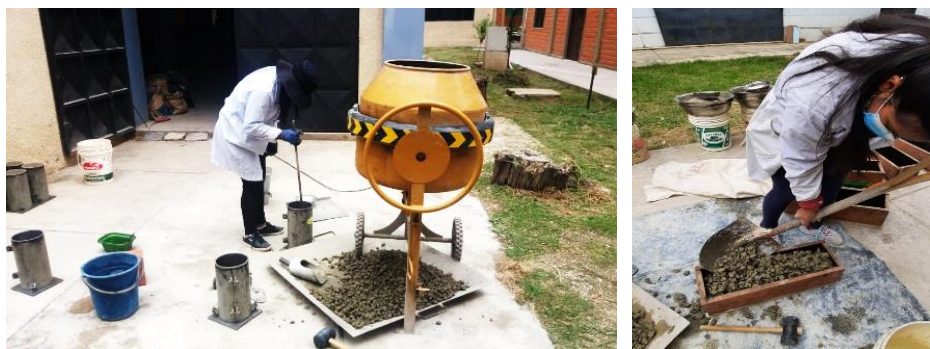
Para el Vaciado y Apisonado del Hormigón se dispuso de los moldes en la que tanto como probetas, vigas y losas se distribuyeron por 3 capas iguales, cada capa de 25 golpes de la varilla; una vez al tope del molde se aplicó golpes a los costados para eliminar vacíos existentes y el acomodamiento de los componentes.

Antes del vaciado se realizó el lavado de los agregados, tanto grueso como fino para evitar que exista material limo o arcilla que evite la buena adherencia del cemento con los agregados.

Luego de enrasarlo se lo pondrá en un lugar donde no absorba mucha humedad, y luego se instalará en la parte superior un impermeable para que la mezcla no pierda humedad y ésta no se deshidrate rápidamente, para así evitar que tenga fisuras prematuras y se fragüe normalmente.

Se desencofra pasando un día del vaciado donde la mezcla ya adquiere rigidez para ponerle al curado dentro de un estanque de agua hasta el día de la rotura.

Figura 3.19. Varillado y compactación manual de la mezcla de hormigón.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.11. Curado y Almacenamiento.

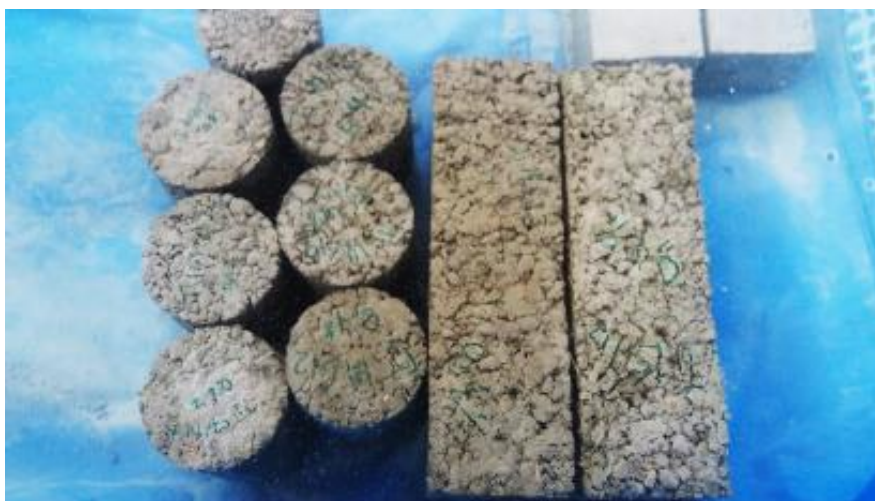
Pasado el día del vaciado de la mezcla se desencofró tanto probetas como vigas de sus moldes donde la mezcla adquirió rigidez.

Una vez fuera de los moldes se los sumergió en tanques de agua limpia sin que tenga ningún químico o impurezas que perjudiquen el curado normal y la resistencia.

Las muestras se mantienen sumergidas hasta el día de la rotura ya sea 7, 14 o 28 días para que esta tenga una mejor resistencia.

Para el curado de la losa se roció con agua debido a su peso para colocarlo en un estanque.

Figura 3.20. Curado de los especímenes.



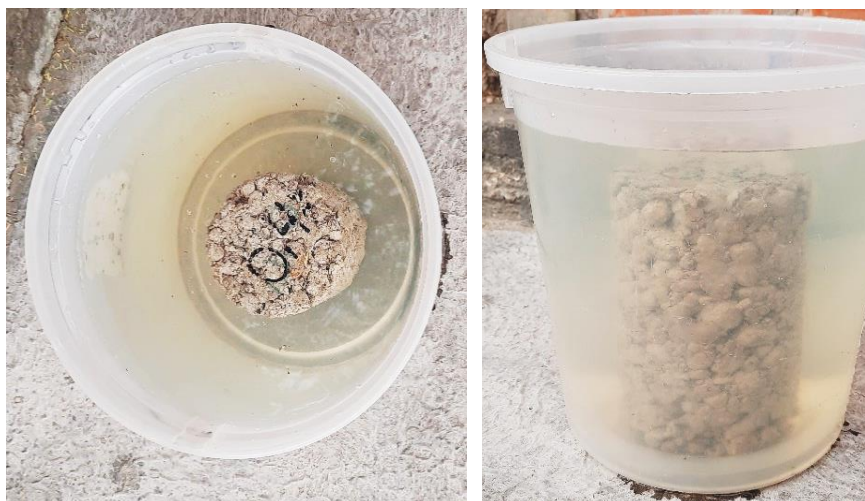
Fuente: Elaboración propia.

3.6. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL HORMIGÓN.

Al finalizar las muestras de hormigón es necesario determinar las propiedades físicas mecánicas más importantes que rigen en el comportamiento de los especímenes.

3.6.1. Porosidad absoluta de los hormigones.

La porosidad es la propiedad del hormigón, que se define como el volumen de espacios en el volumen total del hormigón. Para determinar esta propiedad se trabajó en los especímenes seleccionados para determinar la resistencia a compresión. Se lo elaboró en un equipo casero que consiste de un balde graduado y utilizando un líquido (agua)

Figura 3.21. Porosidad de los hormigones.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.41. Resultados de ensayo de porosidad con una relación a/c 0.27.

Prob. N°	Fibra %	Volumen probeta (cm ³)	Volumen inicial (cm ³)	Volumen final (cm ³)	Volumen desplazado (cm ³)	Volumen de poros cm ³	Poros (%)	Promedio (%)
1	0.4	1346.760	8000	9000	1000	346.760	25.748	20.550
2	0.4	1346.760	8000	9200	1200	146.760	10.897	
3	0.4	1346.760	8000	9250	1250	96.760	7.185	
4	0.4	1346.760	8000	8900	900	446.760	33.173	
5	0.4	1346.760	8000	9000	1000	346.760	25.748	
6	0.5	1346.760	8000	9000	1000	346.760	25.748	17.580
7	0.5	1346.760	8000	9100	1100	246.760	18.322	
8	0.5	1346.760	8000	9200	1200	146.760	10.897	
9	0.5	1346.760	8000	9000	1000	346.760	25.748	
10	0.5	1346.760	8000	9250	1250	96.760	7.185	
11	0.6	1346.760	8000	9100	1100	246.760	18.322	18.322
12	0.6	1346.760	8000	9000	1000	346.760	25.748	
13	0.6	1346.760	8000	9100	1100	246.760	18.322	
14	0.6	1346.760	8000	9200	1200	146.760	10.897	
15	0.6	1346.760	8000	9100	1100	246.760	18.322	
Promedio								18.818

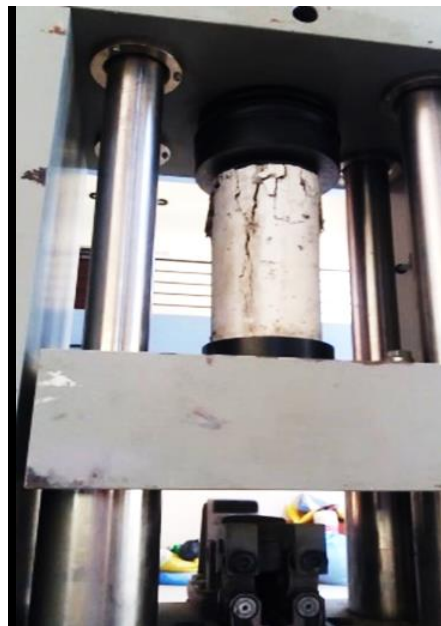
Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión es la propiedad más importante; en general, no solo define el nivel de su calidad estructural, sino también el nivel de su resistencia al intemperismo

o cualquier otra causa de deterioro. Este ensayo se lo realizó en una prensa hidráulica en el laboratorio de suelos y hormigones de la UAJMS.

Figura 3.22. Rotura de testigos de hormigón a compresión.



Fuente: Elaboración propia.

Se define como resistencia característica, f_{ck} , del hormigón aquel valor que presenta un grado de confianza del 95 %, es decir, que existe una probabilidad de 0,95 de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas más altos que f_{ck} . De acuerdo con esta definición y admitiendo la hipótesis de distribución estadística normal, la resistencia característica viene dada por la expresión:

Ecuación N° 10.

$$f_{ck} = f_{cm}(1 - 164\delta)$$

Donde: f_{cm} es la resistencia media y δ el coeficiente de variación de la población de resistencias:

Tabla 3.42. Resistencia a compresión para hormigón poroso en los 7, 14, y 28 días para un 0.4 % de fibra de polipropileno.

N°	Edad días	Peso kg	Sección cm ²	Carga kg	Resistencia Mpa	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²
1	7	10.735	176.715	9478.451	5.260	53.637	102.744
2	7	10.585	176.715	12740.048	7.070	72.094	138.099
3	7	10.100	176.715	7280.027	4.040	41.197	78.914
4	7	10.725	176.715	11262.418	6.250	63.732	122.082
5	7	11.435	176.715	13605.001	7.550	76.989	147.475
6	14	11.550	176.715	19947.995	11.070	112.883	122.632
7	14	12.150	176.715	21443.644	11.900	121.346	131.827
8	14	10.515	176.715	15334.909	8.510	86.778	94.273
9	14	11.925	176.715	23660.088	13.130	133.889	145.453
10	14	11.135	176.715	20254.333	11.240	114.616	124.516
11	28	11.935	176.715	25696.334	14.260	145.412	145.412
12	28	11.150	176.715	22002.260	12.210	124.507	124.507
13	28	10.720	176.715	16668.379	9.250	94.324	94.324
14	28	11.430	176.715	18506.406	10.270	104.725	104.725
15	28	12.155	176.715	23299.691	12.930	131.849	131.849
Promedio=						98.532	120.589

Resistencia promedio =	120.589	kg/cm²
Desviación estándar=	21.118	kg/cm²
Coeficiente de varianza=	0.175	
Resist. característica =	85.956	kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.43. Resistencia a compresión para hormigón poroso en los 7, 14, y 28 días para un 0.5 % de fibra de polipropileno

Resistencia de 7, 14, y 28 días a compresión para 0.5 %.

N°	Edad	Peso kg	Sección cm ²	Carga kg	Resistencia Mpa	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²
1	7	10.735	176.715	15857.485	8.800	89.735	171.891
2	7	10.585	176.715	10433.504	5.790	59.042	113.097
3	7	10.100	176.715	10307.365	5.720	58.328	111.729
4	7	10.725	176.715	16902.637	9.380	95.649	183.220
5	7	11.435	176.715	14848.372	8.240	84.025	160.953
6	14	11.150	176.715	20756.936	11.519	117.460	127.605
7	14	10.085	176.715	19063.081	10.579	107.875	117.192
8	14	10.255	176.715	18897.969	10.487	106.941	116.177
9	14	11.025	176.715	22125.006	12.278	125.202	136.016
10	14	11.535	176.715	19436.040	10.786	109.985	119.485
11	28	11.075	176.715	18164.028	10.080	102.787	102.787
12	28	10.105	176.715	29588.625	16.420	167.437	167.437
13	28	10.025	176.715	29732.784	16.500	168.253	168.253
14	28	11.035	176.715	29678.725	16.470	167.947	167.947
15	28	10.310	176.715	27462.281	15.240	155.405	155.405
Promedio=						114.405	141.280

Resistencia promedio =	141.280	kg/cm²
Desviación Estándar=	27.327	kg/cm²
Coefficiente de varianza=	0.193	
Resistencia Característica =	96.463	kg/cm²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.44. Resistencia a compresión para hormigón poroso en los 7, 14, y 28 días para un 0.6 % de fibra de polipropileno

Resistencia de 7, 14, y 28 días a compresión para 0.6 %.

N°	Edad días	Peso kg	Sección cm ²	Carga kg	Resistencia Mpa	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²
1	7	10.435	176.715	10469.544	5.810	59.245	113.487
2	7	10.665	176.715	11460.637	6.360	64.854	124.230
3	7	10.035	176.715	9640.630	5.350	54.555	104.502
4	7	11.245	176.715	11262.418	6.250	63.732	122.082
5	7	11.165	176.715	10703.802	5.940	60.571	116.026
6	14	11.150	176.715	14776.293	8.200	83.617	109.452
7	14	10.085	176.715	17551.353	9.740	99.320	130.007
8	14	10.255	176.715	17731.551	9.840	100.340	131.342
9	14	11.025	176.715	15262.829	8.470	86.370	113.055
10	14	11.535	176.715	13803.220	7.660	78.110	102.244
11	28	11.460	176.715	22308.598	12.380	126.241	126.241
12	28	11.355	176.715	18632.545	10.340	105.439	105.439
13	28	11.280	176.715	21659.883	12.020	122.570	122.570
14	28	12.015	176.715	22921.274	12.720	129.708	129.708
15	28	11.690	176.715	21443.644	11.900	121.346	121.346
Promedio=						90.401	118.115

Resistencia promedio =	118.115	kg/cm²
Desviación Estándar=	9.727	kg/cm²
Coefficiente de varianza=	0.082	
Resistencia Característica =	102.163	kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia

3.6.3. Resistencia a la Flexión.

La prueba de flexión es muy útil especialmente en relación con el diseño de losas para carreteras y pistas de aeropuertos porque en ellas la tensión por flexión es un factor crítico. El valor del módulo de ruptura depende de las dimensiones de la viga, y sobre todo de la distribución de la carga. Se emplean dos sistemas: la carga en un punto central, que produce una distribución triangular del momento de flexión, de manera que el esfuerzo máximo tiene lugar solo en una sección de la viga y la carga simétrica en dos puntos, que produce un momento constante de flexión entre los puntos de carga es de esperarse que la

carga en dos puntos rendirá un valor de módulo menor que cuando se aplica una carga en un solo punto.

Para reflejar esta resistencia a la flexión se trabaja en vigas de 15x15x50 cm donde por medio del equipo para la rotura a flexión se utilizará el equipo de dos puntos de carga.

Figura 3.23. La viga en el equipo de flexión.



Fuente: Elaboración propia.

La resistencia a flexión se calcula mediante la fórmula clásica:

Ecuación N° 11.

$$f_{ctf} = \frac{Mr}{W} = \frac{6Mr}{a^3} = \frac{3F}{a^2}$$

Donde:

Mr = Momento de la Rotura

W= Módulo resistente de la sección

F= Carga total aplicada en la rotura

a= Lado de la sección de la viga.

Tabla 3.45. Resistencia a flexión para hormigón poroso en los 7, 14, y 28 días para un 0.4 % de fibra de polipropileno.

Resistencia de 7, 14, y 28 días a flexión para 0.4 %.

Nº	Edad Días	Peso kg	Carga KN	Carga kg	Resistencia Mpa	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²
1	7	22.985	14.186	1446.604	1.890	19.273	36.918
2	7	23.185	14.487	1477.220	1.930	19.681	37.699
3	7	23.470	15.400	1570.363	2.050	20.904	40.043
4	7	23.225	14.562	1484.874	1.940	19.782	37.894
5	7	22.650	13.000	1325.631	1.760	17.947	34.378
6	14	11.550	21.100	2151.601	2.810	28.654	31.129
7	14	12.150	14.300	1458.194	1.910	19.477	21.159
8	14	10.515	23.100	2355.544	3.080	31.407	34.120
9	14	11.925	14.600	1488.785	2.190	22.332	24.261
10	14	11.135	23.569	2403.352	3.140	32.019	34.785
11	28	22.795	17.600	1794.700	2.270	23.148	23.148
12	28	23.405	21.600	2202.587	2.880	29.368	29.368
13	28	24.005	16.200	1651.940	2.090	21.312	21.312
14	28	22.455	17.400	1774.306	2.290	23.351	23.351
15	28	23.985	16.738	1706.839	2.230	22.740	22.740
16	28	22.650	16.588	1691.531	2.210	22.536	22.536
17	28	22.255	16.900	1723.320	2.220	22.638	22.638
18	28	23.015	15.000	1529.574	1.980	20.190	20.190
19	28	22.370	14.036	1431.296	1.870	19.069	19.069
20	28	22.565	14.637	1492.528	1.950	19.884	19.884
Promedio=						22.786	27.831

Resistencia promedio =	27.831	kg/cm²
Desviación estándar=	7.238	kg/cm²
Coefficiente de varianza=	0.260	
Resistencia característica=	15.961	kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.46. Resistencia a flexión para hormigón poroso en los 7, 14, y 28 días para un 0.5 % de fibra de polipropileno.

Resistencia de 7, 14, y 28 días a flexión para 0.5 %.

N°	Edad Días	Peso kg	Carga KN	Carga kg	Resistencia Mpa	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²
1	7	22.985	14.186	1446.604	2.260	23.046	44.145
2	7	23.185	14.487	1477.220	1.780	18.151	34.769
3	7	23.470	15.400	1570.363	1.860	18.967	36.332
4	7	23.225	14.562	1484.874	1.650	16.825	32.230
5	7	22.650	13.000	1325.631	1.920	19.579	37.504
6	14	11.550	21.100	2151.601	2.120	21.618	23.485
7	14	12.150	14.300	1458.194	1.980	20.190	21.934
8	14	10.515	23.100	2355.544	2.560	26.105	28.359
9	14	11.925	14.600	1488.785	3.310	33.753	36.668
10	14	11.135	23.569	2403.352	2.270	23.148	25.147
11	28	22.795	17.600	1794.700	3.050	31.101	31.101
12	28	23.405	21.600	2202.587	3.310	33.753	33.753
13	28	24.005	16.200	1651.940	2.300	23.453	23.453
14	28	22.455	17.400	1774.306	3.040	30.999	30.999
15	28	23.985	16.738	1706.839	2.930	29.878	29.878
16	28	22.650	16.588	1691.531	4.130	42.114	42.114
17	28	22.255	16.900	1723.320	3.510	35.792	35.792
18	28	23.015	15.000	1529.574	2.820	28.756	28.756
19	28	22.370	14.036	1431.296	3.090	31.509	31.509
20	28	22.565	14.637	1492.528	3.160	32.223	32.223
Promedio=						27.048	32.008

Resistencia promedio =	32.008	kg/cm²
Desviación Estándar=	5.938	kg/cm²
Coefficiente de varianza=	0.186	
Resistencia Característica=	22.269	kg/cm²

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.47. Resistencia a flexión para hormigón poroso en los 7, 14, y 28 días para un 0.6 % de fibra de polipropileno

Resistencia de 7, 14, y 28 días a flexión para 0.6 %.

N°	Edad	Peso kg	Carga KN	Carga kg	Resistencia Mpa	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²
1	7	22.985	14.186	1446.604	2.080	21.210	40.629
2	7	23.185	14.487	1477.220	3.120	31.815	60.943
3	7	23.470	15.400	1570.363	2.340	23.861	45.707
4	7	23.225	14.562	1484.874	1.950	19.884	38.089
5	7	22.650	13.000	1325.631	1.880	19.171	36.722
6	14	11.550	21.100	2151.601	1.460	14.888	16.174
7	14	12.150	14.300	1458.194	2.750	28.042	30.464
8	14	10.515	23.100	2355.544	2.780	28.348	30.797
9	14	11.925	14.600	1488.785	1.780	18.151	19.719
10	14	11.135	23.569	2403.352	2.640	26.921	29.246
11	28	22.795	17.600	1794.700	2.820	28.756	28.756
12	28	23.405	21.600	2202.587	2.440	24.881	24.881
13	28	24.005	16.200	1651.940	3.650	37.220	37.220
14	28	22.455	17.400	1774.306	2.710	27.634	27.634
15	28	23.985	16.738	1706.839	3.460	35.282	35.282
16	28	22.650	16.588	1691.531	2.570	26.207	26.207
17	28	22.255	16.900	1723.320	2.590	26.411	26.411
18	28	23.015	15.000	1529.574	2.380	24.269	24.269
19	28	22.370	14.036	1431.296	2.270	23.148	23.148
20	28	22.565	14.637	1492.528	2.630	26.819	26.819
Promedio=						25.646	31.456

Resistencia promedio =	31.456	kg/cm²
Desviación estándar=	10.037	kg/cm²
Coefficiente de varianza=	0.319	
Resistencia característica=	14.994	kg/cm²

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4. Permeabilidad.

Esta prueba tiene gran importancia ya que sus resultados indican si existe la posibilidad de que el agua proveniente de las lluvias o escurrimientos superficiales penetre a través de los poros que presenta el pavimento hormigón.

Figura 3.24. Ensayo de permeabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.48. Permeabilidad del hormigón poroso con 0.4 % de fibra.

Permeabilidad del hormigón al 0.4 %.

N°	Altura inicial cm	Altura final cm	Tiempo (s)	Dif. De Altura cm	Sección cm ²	Volumen cm ³	Caudal cm ³ /s	Permeabilidad cm/s
1	25	0	37.130	25	78.540	1963.500	52.882	0.673
2	25	0	48.440	25	78.540	1963.500	40.535	0.516
3	25	0	78.220	25	78.540	1963.500	25.102	0.319
4	25	0	15.380	25	78.540	1963.500	127.67	1.625
5	25	0	86.220	25	78.540	1963.500	22.773	0.290
Promedio							53.792	0.685

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.49. Permeabilidad del hormigón poroso con 0.5 % de fibra.

Permeabilidad del hormigón al 0.5 %.

N°	Altura Inicial cm	Altura Final cm	Tiempo (s)	Dif. De Altura cm	Sección cm ²	Volumen cm ³	Caudal cm ³ /s	Permeabilidad cm/s
1	25	0	22.430	25	78.540	1963.500	87.539	1.115
2	25	0	501.570	25	78.540	1963.500	3.915	0.050
3	25	0	469.350	25	78.540	1963.500	4.183	0.053
4	25	0	17.990	25	78.540	1963.500	109.14	1.390
5	25	0	29.310	25	78.540	1963.500	66.991	0.853
Promedio							54.354	0.692

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.50. Permeabilidad del hormigón poroso con 0.6 % de fibra.

Permeabilidad del hormigón al 0.6 %.

N ^o	Altura inicial cm	Altura final cm	Tiempo (s)	Dif. de altura cm	Sección cm ²	Volumen cm ³	Caudal cm ³ /s	Permeabilidad cm/s
1	25	0	86.320	25	78.540	1963.500	22.747	0.290
2	25	0	279.850	25	78.540	1963.500	7.016	0.089
3	25	0	199.390	25	78.540	1963.500	9.847	0.125
4	25	0	16.510	25	78.540	1963.500	118.930	1.514
5	25	0	67.610	25	78.540	1963.500	29.042	0.370
Promedio							37.516	0.478

Fuente: Elaboración propia.

La permeabilidad del hormigón poroso está dentro del rango especificado por la norma ACI-522R (0.0135 cm²/s a 1.222 cm²/s).

3.6.5. Cargas de tránsitos

Tabla 3.51. Cargas de tránsito.

Cargas de tránsito y resistencia.

N ^o	Cargas Ton	Cargas kg.	Sección cm ²	Resistencia compresión kg/cm ²
0	0	0	0	0
1	6	6000	176.715	33.953
2	11	11000	176.715	62.247
3	18	18000	176.715	101.859
4	25	25000	176.715	141.471

Fuente: Elaboración propia.

3.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Se procederá a realizar un análisis minucioso de las propiedades pertenecientes a los diferentes hormigones, que fueron obtenidas en el desarrollo de la investigación. Así también se podrá comparar resultados de las propiedades del hormigón entre cada dosificación y mediante gráficos se analizará la influencia del porcentaje de vacíos (%) en las propiedades del hormigón utilizado para el pavimento rígido.

3.7.1. Análisis de la Influencia del % de vacíos en la trabajabilidad de la mezcla de concreto hidráulico.

Los asentamientos de la mezcla de concreto se encuentran en función de la cantidad de agua que ésta tiene y la hidratación del cemento, como también en la relación agua/cemento, y en este estudio también se considera la ausencia del agregado fino.

Tabla 3.52. Asentamiento y trabajabilidad.

Asentamiento (cm)	Consistencia (tipo de concreto)	Grado de trabajabilidad	Tipo de estructura y colocación
0 – 2.00	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibradores de encofrados.
2.00 – 3.50	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados y construidos con máquina extrusora.
3.50 – 5.00	Semi - seca	Pequeño	Construcción en masa voluminosa, losas medianamente reforzadas con vibración, fundaciones en concretos simple, pavimentos con vibradores normales.
5.00 – 10.00	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas, pavimentos, compactados a mano, columnas, vigas, fundaciones y muros, con vibración.
10.00 -15.00	Humedad	Alto	Secciones con mucho refuerzo, trabajos donde la colocación sea difícil revestimiento de túneles, no recomendable para compactarlo demasiado.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.53. Resultados de la prueba de asentamiento y trabajabilidad.

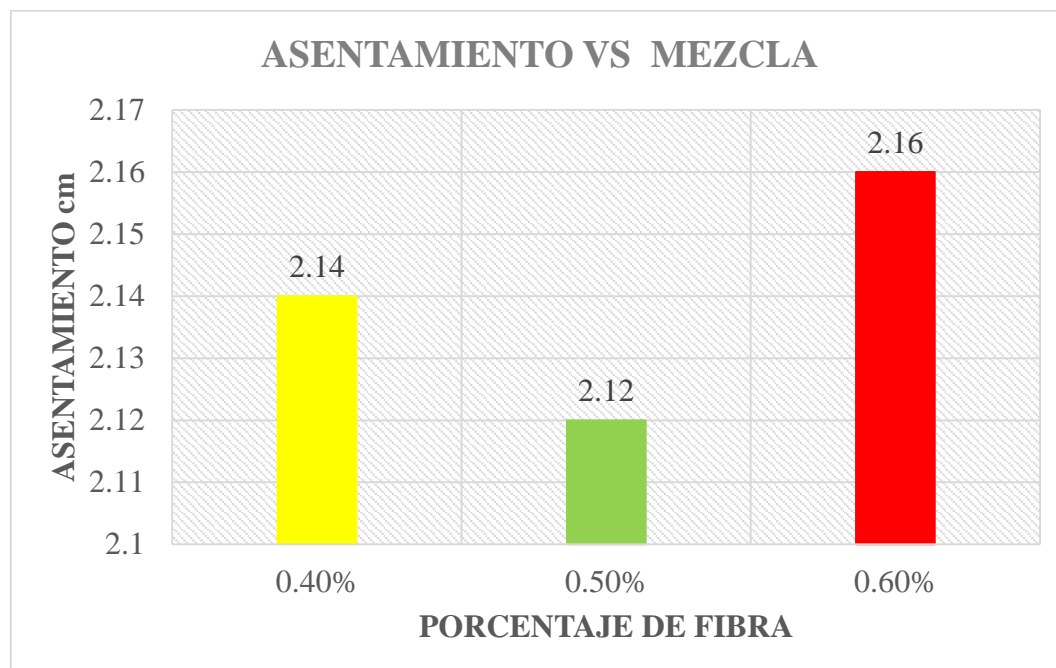
Mezclas	Asentamiento cm	Relación agua/cemento	Grado de trabajabilidad	Asentamiento para P. rígido (2 – 3.5)
0.40%	2.140	0.270	Pequeño	Cumple
0.50%	2.120	0.270	Pequeño	Cumple
0.60%	2.160	0.270	Pequeño	Cumple

Fuente: Elaboración propia

La trabajabilidad en obra es muy importante en cuanto a la mano de obra y su rendimiento, las diferentes mezclas de concreto utilizadas en relación al asentamiento según la dosificación. Los resultados a las mezclas de hormigón con un porcentaje de vacíos de 20

%, y proporciones de 0.4, 0.5 y 0.6% cumplieron el rango de las especificaciones para estas mezclas, se trata de un hormigón poroso de 2 – 3,5cm (mezcla seca).

Figura 3.25. Gráfica de asentamiento vs tipo de hormigón.



Fuente: Elaboración propia

3.7.2 Análisis de la porosidad en los hormigones

Tabla 3.54. Porosidad de la dosificación

Fibra %	Poros (%)
0.4	20.550
0.5	17.580
0.6	18.322

Fuente: Elaboración propia

En estos resultados se puede apreciar que la dosificación con 0.4 % sí cumple con el porcentaje de vacíos de la mezcla con el que fue diseñada; mientras que para la dosificación 0.5 y 0.6 % que ésta brinda los resultados, cercanos con los que se desea trabajar por la cual se lo ve aceptable porque no es muy lejano los datos.

3.7.3. Análisis de la resistencia a compresión en los hormigones

Aunque no es una propiedad importante de los pavimentos rígidos, se tendrá como parámetro o dato en la influencia del cemento sobre la mezcla de concreto. A

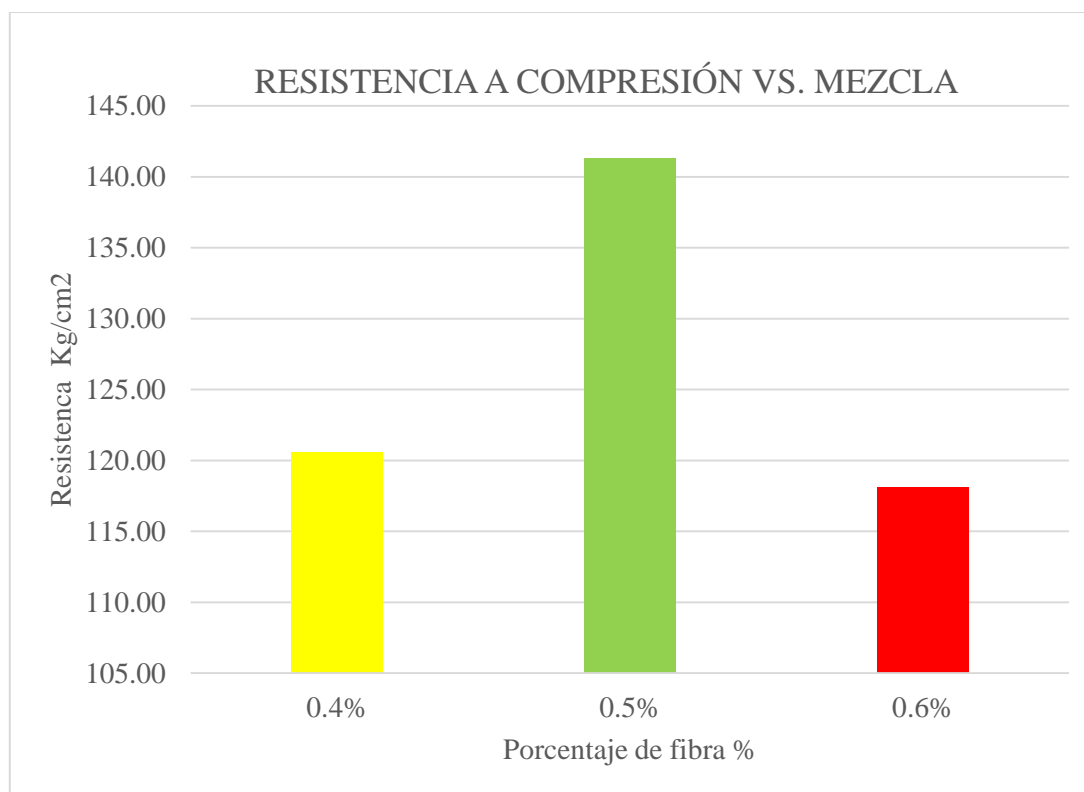
continuación, se presentan los resultados obtenidos del ensayo de Rotura de Probetas a Compresión.

Tabla 3.55. Resistencia a la compresión de cada hormigón a los 28 días

Fibra %	Resistencia kg/cm ²
0.4	120.589
0.5	141.280
0.6	118.115

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.26. Gráfica de resistencia a la compresión de cada hormigón a los 28 días.



Fuente: Elaboración propia

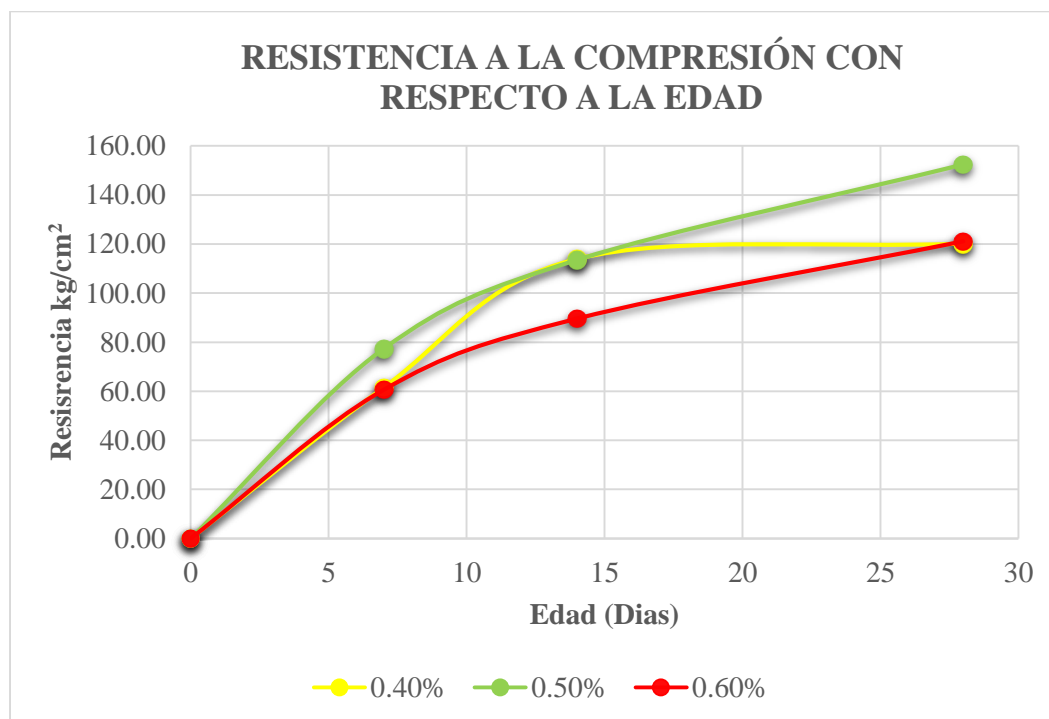
La resistencia que se muestra en los cuadros con distinta mezcla de hormigón, cuyos resultados representan una clara diferencia de esfuerzo entre cada tipo de hormigón. Además, los resultados exponen claramente mejoras en cuestión de resistencia a la compresión del hormigón poroso al 0.5 % fibras de polipropileno dando una resistencia promedio de 141.282 kg/cm² muestras a rotura; mientras que el hormigón poroso a 0.4 y 0.6 % de fibras de polipropileno alcanza muy bajas resistencias.

Tabla 3.56. Evolución de las resistencias a la compresión a diferentes edades de cada hormigón.

Hormigón	Resistencia promedio fcm kg/cm ²			
	Evolución de las probetas (días)			
	0	7	14	28
0.40%	0.000	61.530	113.902	120.163
0.50%	0.000	77.356	113.493	152.366
0.60%	0.000	60.592	89.551	121.061

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.27. Gráfica de evolución de las resistencias a la compresión a diferentes edades de cada hormigón.



Fuente: Elaboración propia.

La evolución, como se ve en las gráficas, consta de diferentes resistencias a diferentes edades del hormigón, luego del vaciado de la mezcla en las probetas para someterlo a rotura. Como se puede apreciar, en los primeros días el concreto aumenta rápidamente la resistencia hasta los 7 días, donde se menciona teóricamente que a los 7 días de Resistencia a la Compresión (kg/cm²) edad el hormigón alcanza un 70% a 75% de la resistencia a la

compresión, por lo que a partir de esta fecha ya el crecimiento o aumento de resistencia es menor hasta llegar a su resistencia al 100 % que viene ser a la edad de 28 días.

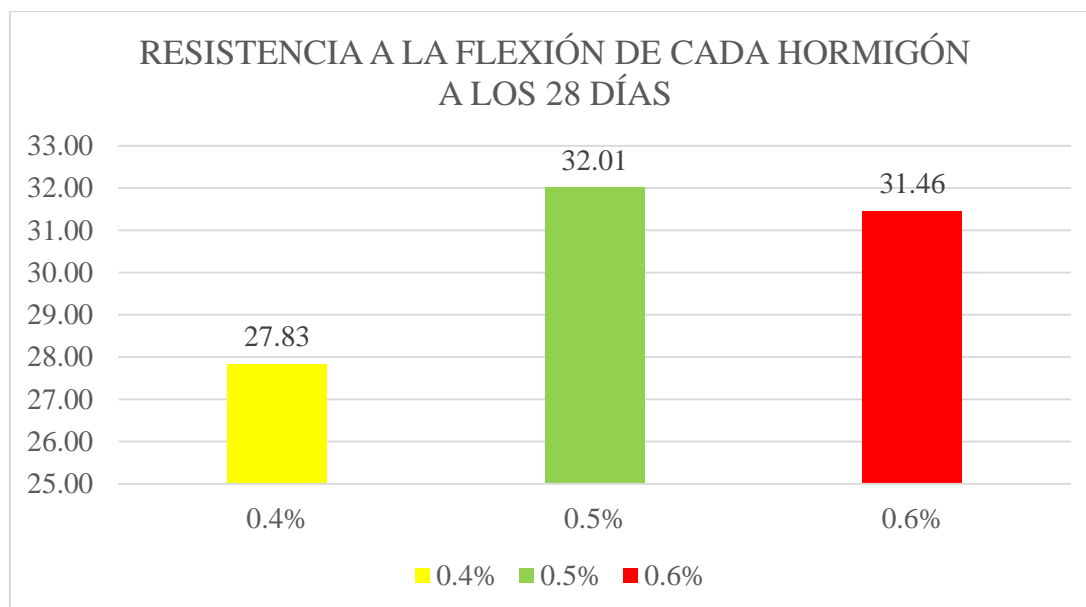
3.7.4. Análisis de la resistencia a la flexión en los hormigones.

Tabla 3.57. Resistencia a la flexión de cada hormigón a los 28 días.

Fibra %	Resistencia kg/cm ²
0.4%	27.831
0.5%	32.008
0.6%	31.456

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.28. Gráfica de la resistencia a la flexión de cada hormigón a los 28 días.



Fuente: Elaboración propia.

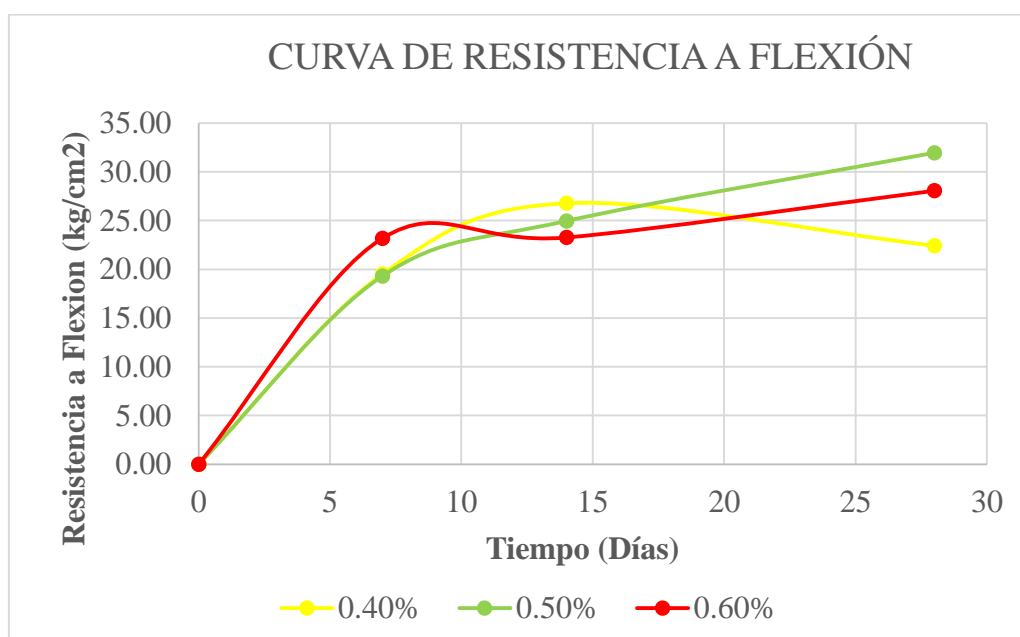
Las resistencias a la flexión del hormigón poroso definitivamente son muy bajas, lo cual no permite un diseño de pavimento rígido de solamente hormigón poroso, siendo esta propiedad la más importante en el diseño de un pavimento rígido. Teniendo en cuenta esto, el hormigón poroso solo se lo utiliza como una capa complementaria la Resistencia Media de la Flexión (kg/cm²) pavimento rígido con hormigón convencional, con la finalidad de evitar el escurrimiento superficial de las aguas pluviales.

Tabla 3.58. Evolución de las resistencias a la flexión a diferentes edades de cada hormigón.

Hormigón	Resistencia promedio fcm kg/cm ²			
	Evolución de las probetas (Días)			
	0	7	14	28
0.40%	0.000	19.517	26.778	22.424
0.50%	0.000	19.313	24.963	31.958
0.60%	0.000	23.188	23.270	28.063

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.29. Gráfica de evolución de las resistencias a la flexión a diferentes edades de cada hormigón.



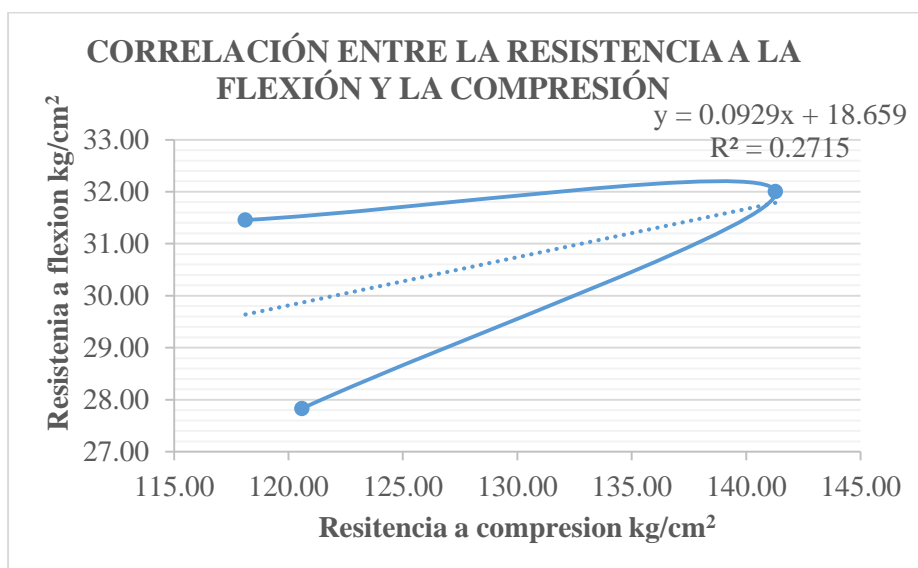
Fuente: Elaboración propia.

La evolución, como se ve en las gráficas, consta de diferentes resistencias a diferentes edades del hormigón, luego del vaciado de la mezcla en las probetas para someterlo a rotura. Como se puede apreciar, en los primeros días el concreto aumenta rápidamente la resistencia hasta los 7 días, donde se menciona teóricamente que a los 7 días de Resistencia a la Flexión (kg/cm²) edad el hormigón alcanza un 70% a 75% de la resistencia a la flexión, por lo que a partir de esta fecha ya el crecimiento o aumento de resistencia es menor hasta llegar a su resistencia al 100 % que viene ser a la edad de 28 días.

Tabla 3.59. Correlación entre la resistencia a la flexión y la compresión.

Fibra %	Resistencia compresión kg/cm ²	Resistencia flexión kg/cm ²
0.4%	120.589	27.831
0.5%	141.280	32.008
0.6%	118.115	31.456

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.30. Correlación entre la resistencia a la flexión y la compresión

Fuente: Elaboración propia.

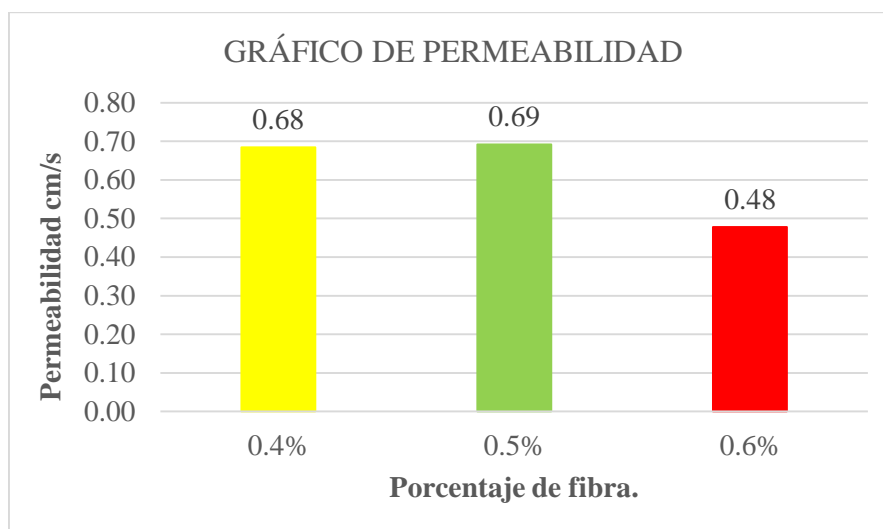
La finalidad de esta correlación fue para observar el comportamiento de entre ambas resistencias.

3.7.5. Análisis de la Permeabilidad.

Tabla 3.60. Permeabilidad de los diferentes hormigones.

Fibra %	Permeabilidad cm/s
0.4%	0.685
0.5%	0.692
0.6%	0.478
Promedio	0.618

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.31. Permeabilidad de los diferentes hormigones

Fuente: Elaboración propia.

La permeabilidad depende de la cantidad de agua en el mezclado que se utilizó, porque un exceso de agua provoca que la pasta sea muy fluida y cubriría los espacios vacíos que generan los agregados, y viceversa, si el agua disminuye en el mezclado provoca una pobre adherencia entre la pasta y el agregado, lo cual se refleja en la baja resistencia a la compresión y un deterioro en el concreto; para diferentes mezclas de proporción de fibras de polipropileno cumple y está en los rangos de la permeabilidad que nos ofrece la norma ACI-522 (0.0135 cm/s a 1.222 cm/s).

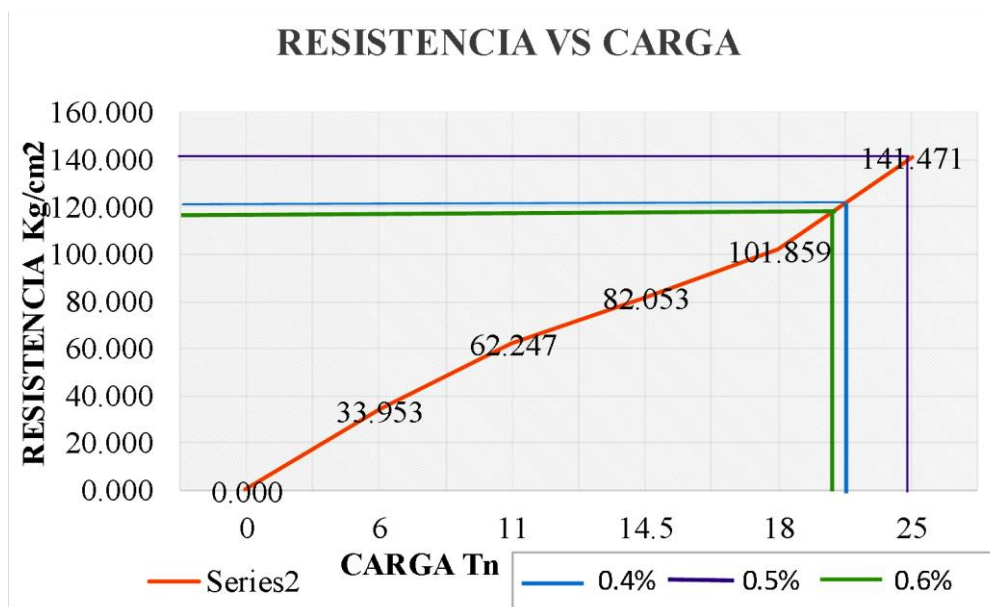
3.7.6. Análisis de Cargas

Tabla 3.61. Análisis de cargas con relación de resistencia.

Cargas Ton.	Resistencia compresión kg/cm ²	Cargas Ton	Resistencia compresión kg/cm ²	% De fibra
0	0.000	21.310	120.589	0.4
6	33.953	24.966	141.280	0.5
11	62.247	20.873	118.115	0.6
14.5	82.053			
18	101.859			
25	141.471			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.32. Gráfica de análisis de cargas con relación de resistencia.



Fuente: Elaboración propia.

Un pavimento rígido poroso con fibras de polipropileno al 0.5% podrá alcanzar a resistir una carga de tránsito de un vehículo desde un Eje Trasero Tándem de 18000 kg hasta Eje Trasero Trídem de 25000 kg haciendo una comparación entre resistencias a compresión siendo que se obtuvo una resistencia a compresión de 141.280 kg/cm².

CAPÍTULO IV
PROCESAMIENTO Y
VALIDACIÓN DE
RESULTADOS

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

4.1.1. Resultados de la resistencia compresión para diferentes % de fibras de polipropileno.

Tabla 4.1. Resultados de la resistencia a compresión

N°	Porcentaje del 0.4 %		Porcentaje del 0.5 %		Porcentaje del 0.6 %	
	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²
1	53.637	102.744	89.735	171.891	59.245	113.487
2	72.094	138.099	59.042	113.097	64.854	124.230
3	41.197	78.914	58.328	111.729	54.555	104.502
4	63.732	122.082	95.649	183.220	63.732	122.082
5	76.989	147.475	84.025	160.953	60.571	116.026
6	112.883	122.632	117.460	127.605	83.617	109.452
7	121.346	131.827	107.875	117.192	99.320	130.007
8	86.778	94.273	106.941	116.177	100.340	131.342
9	133.889	145.453	125.202	136.016	86.370	113.055
10	114.616	124.516	109.985	119.485	78.110	102.244
11	145.412	145.412	102.787	102.787	126.241	126.241
12	124.507	124.507	167.437	167.437	105.439	105.439
13	94.324	94.324	168.253	168.253	122.570	122.570
14	104.725	104.725	167.947	167.947	129.708	129.708
15	131.849	131.849	155.405	155.405	121.346	121.346
	Promedio=	120.589		141.280		118.115
	Desv. Estándar=	21.118		27.327		9.727

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Resultados de la resistencia flexión para diferentes % de fibras de polipropileno.

Tabla 4.2. Resultados de la resistencia a flexión.

N°	Porcentaje de 0.4 %		Porcentaje de 0.5 %		Porcentaje de 0.6 %	
	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²
1	19.273	36.918	23.046	44.145	21.210	40.629
2	19.681	37.699	18.151	34.769	31.815	60.943
3	20.904	40.043	18.967	36.332	23.861	45.707
4	19.782	37.894	16.825	32.230	19.884	38.089
5	17.947	34.378	19.579	37.504	19.171	36.722
6	28.654	31.129	21.618	23.485	14.888	16.174
7	19.477	21.159	20.190	21.934	28.042	30.464
8	31.407	34.120	26.105	28.359	28.348	30.797
9	22.332	24.261	33.753	36.668	18.151	19.719
10	32.019	34.785	23.148	25.147	26.921	29.246
11	23.148	23.148	31.101	31.101	28.756	28.756
12	29.368	29.368	33.753	33.753	24.881	24.881
13	21.312	21.312	23.453	23.453	37.220	37.220
14	23.351	23.351	30.999	30.999	27.634	27.634
15	22.740	22.740	29.878	29.878	35.282	35.282
16	22.536	22.536	42.114	42.114	26.207	26.207
17	22.638	22.638	35.792	35.792	26.411	26.411
18	20.190	20.190	28.756	28.756	24.269	24.269
19	19.069	19.069	31.509	31.509	23.148	23.148
20	19.884	19.884	32.223	32.223	26.819	26.819
	Promedio=	27.831		32.008		31.456
	Desv. Estándar=	7.238		5.938		10.037

Fuente: Elaboración propia.

4.2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.

4.2.1. Estadística para la resistencia de compresión.

4.2.1.1. Resultados de la resistencia compresión para 0.4% de fibras de polipropileno.

Datos relevantes:

Porcentaje del 0.4 %

N°	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²
1	53.637	102.744
2	72.094	138.099
3	41.197	78.914
4	63.732	122.082
5	76.989	147.475
6	112.883	122.632
7	121.346	131.827
8	86.778	94.273
9	133.889	145.453
10	114.616	124.516
11	145.412	145.412
12	124.507	124.507
13	94.324	94.324
14	104.725	104.725
15	131.849	131.849
Promedio=		120.589
Desv. Estándar		21.118

Media X = 120.589 Kg /cm²

Mediana = 124.510 Kg /cm²

Número de datos **n** = 15

Valor máximo **Max** = 147.475 Kg /cm²

Valor mínimo **Min** = 78.914 Kg /cm²

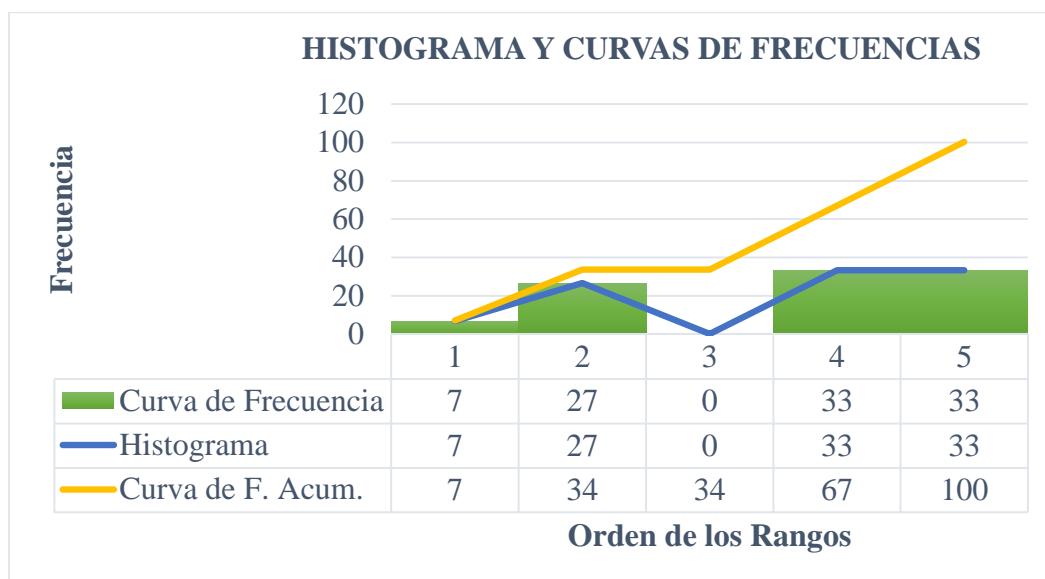
n° de Intervalos = $1+3.3\log(N)$ = 4.88 = 5

Amplitud = 13.710

Tabla 4.3. Tabla de Frecuencias para 0.4 %.

n	Intervalos		Frecuencia	Fr	Fa	F. Acum.
	Lim. Inf.	Lim. Sup.				
1	78.914	92.626	1.000	0.067	7	7
2	92.626	106.338	4.000	0.267	27	34
3	106.338	120.050	0.000	0.000	0	34
4	120.050	133.763	5.000	0.333	33	67
5	133.763	147.475	5.000	0.333	33	100
Total=			15	1	100	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.1. Gráfica de histograma y curvas de frecuencias para el 0.4%.

Fuente: Elaboración propia.

Estadística inferencial.

Error de datos desviación estándar (S)

Ecuación N° 11

$$S = \sqrt{\sum_{x=1}^n \frac{(X_i - X)^2}{n-1}}$$

$$S = 21.118 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Varianza} = 0.175$$

Error medio de la media.

Ecuación N° 12

$$E_x = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad E_x = 5.450 \text{ kg/cm}^2$$

Nivel de confianza: $N_c = 95\%$

Entonces: $Z = 1.960$

Por lo tanto, el Error probable (E_p) $E_p = Z * E_x = 10.689 \text{ kg/cm}^2$

Intervalo de confianza.

$$V_a = X \pm E_p$$

$$V_a = 120.589 + 10.689 = 131.278 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_a = 120.589 - 10.689 = 109.900 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Intervalo de confianza [109.900 kg/cm}^2\text{- 131.278 kg/cm}^2\text{]}$$

4.2.1.2. Resultados de la resistencia compresión para 0.5% de fibras de polipropileno.

Datos relevantes:

Porcentaje del 0.5 %		
N°	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²
1	89.735	171.891
2	59.042	113.097
3	58.328	111.729
4	95.649	183.220
5	84.025	160.953
6	117.460	127.605
7	107.875	117.192
8	106.941	116.177
9	125.202	136.016
10	109.985	119.485
11	102.787	102.787
12	167.437	167.437
13	168.253	168.253
14	167.947	167.947
15	155.405	155.405
Promedio=		141.280
Desv. Estándar		27.327

Media X = 141.280 Kg /cm²

Mediana= 136.020 Kg /cm²

Número de datos **n** = 15

Valor máximo **Max** = 183.220 Kg /cm²

Valor mínimo **Min** = 102.787 Kg /cm²

n° de Intervalos = $1+3.3\log(N)$ = 4.88 = 5

Amplitud = 16.09

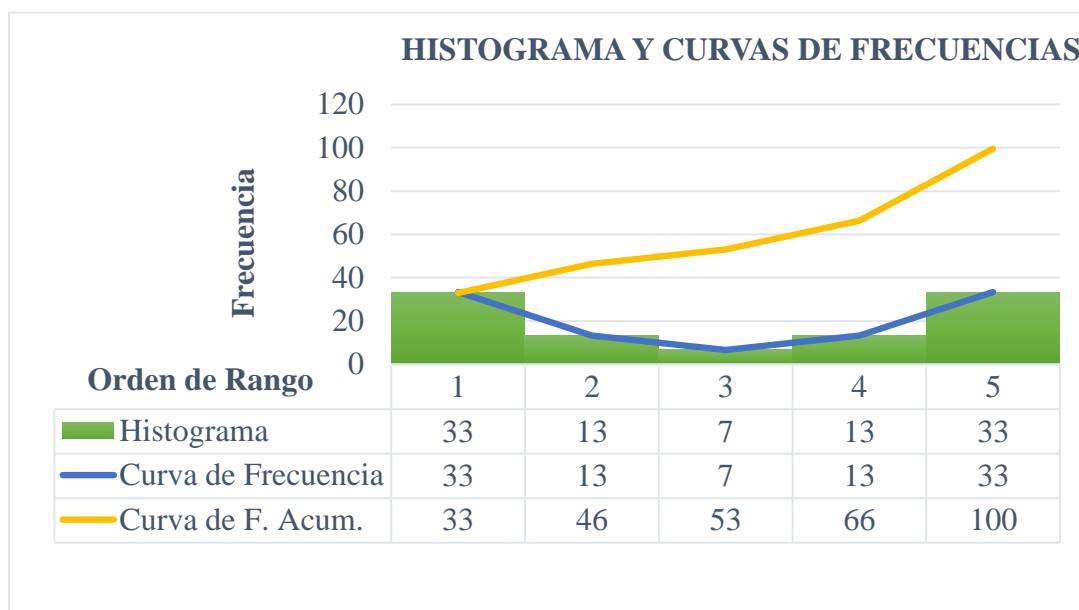
Tabla 4.4. Tabla de Frecuencias para 0.5 %.

n	Intervalos		Frecuencia	Fr	Fa	F Acum.
	Lim. Inf.	Lim. Sup.				
1	102.787	118.874	5	0.333	33	33
2	118.874	134.961	2	0.133	13	46
3	134.961	151.047	1	0.067	7	53

4	151.047	167.134	2	0.133	13	66
5	167.134	183.220	5	0.333	33	100
Total=			15	1	100	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.2. Gráfica de histograma y curvas de frecuencias para el 0.5%.



Fuente: Elaboración propia.

Estadística inferencial.

Error de datos desviación estándar (S)

Ecuación N° 13

$$S = \sqrt{\sum_{x=1}^n \frac{(X_i - X)^2}{n - 1}}$$

$$S = 27.327 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Varianza} = 0.193$$

Error medio de la media.

Ecuación N° 14

$$E_x = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad E_x = 7.060 \text{ kg/cm}^2$$

Nivel de confianza: $N_c = 95\%$

Entonces: $Z = 1.960$

Por lo tanto, el Error probable (E_p)

$$E_p = Z * E_x = 13.838 \text{ kg/cm}^2$$

Intervalo de confianza.

$$Va = X \pm Ep \quad \text{Ecuación N}^\circ 15$$

$$Va = 141.280 + 13.838 = 155.118 \text{ kg/cm}^2$$

$$Va = 141.280 - 13.838 = 127.442 \text{ kg/cm}^2$$

Intervalo de confianza [127.442 kg/cm²- 155.118 kg/cm²]

4.2.1.3. Resultados de la resistencia compresión para 0.6% de fibras de polipropileno.

Datos relevantes:

Porcentaje del 0.6 %		
Nº	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²
1	59.245	113.487
2	64.854	124.230
3	54.555	104.502
4	63.732	122.082
5	60.571	116.026
6	83.617	109.452
7	99.320	130.007
8	100.340	131.342
9	86.370	113.055
10	78.110	102.244
11	126.241	126.241
12	105.439	105.439
13	122.570	122.570
14	129.708	129.708
15	121.346	121.346
Promedio=		118.115
Desv. Estándar		9.727

Media X = 118.115 Kg /cm²

Mediana = 121.350 Kg /cm²

Número de datos **n** = 15

Valor máximo **Max** = 131.342 Kg /cm²

Valor mínimo **Min** = 102.244 Kg /cm²

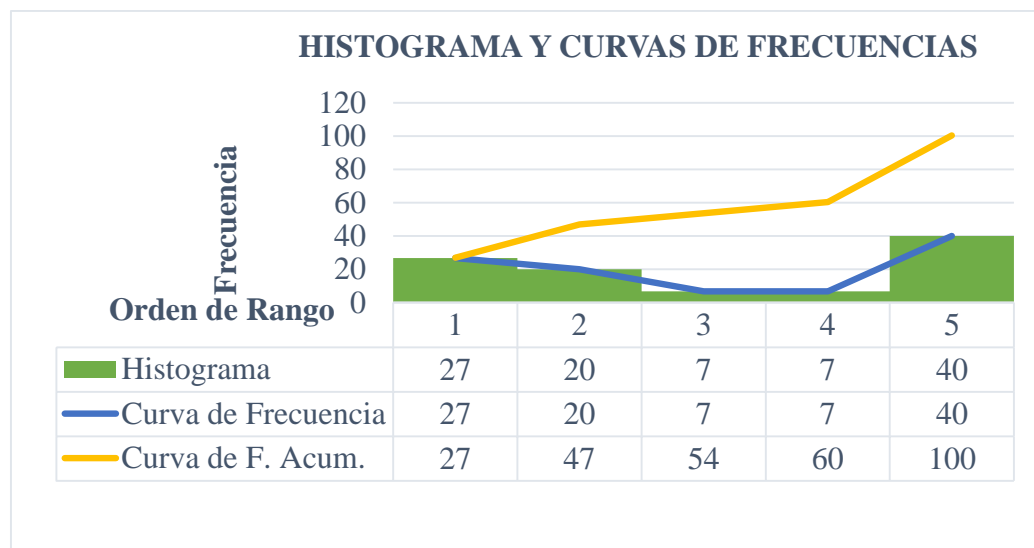
nº de Intervalos = **1+3.3log(N)** = 4.88 = 5

Amplitud = 5.82

Tabla 4.5. Tabla de frecuencias para 0.6 %.

n	Intervalos		Frecuencia	Fr	Fa	F Acum.
	Lim. Inf.	Lim. Sup.				
1	102.244	115.956	4	0.267	27	27
2	115.956	129.668	3	0.200	20	47
3	129.668	143.380	1	0.067	7	54
4	143.380	157.093	1	0.067	7	60
5	157.093	170.805	6	0.400	40	100
Total=			15	1	100	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.3. Gráfica de histograma y curvas de frecuencias para el 0.5%.

Fuente: Elaboración propia.

Estadística inferencial.

Error de datos desviación estándar (S)

Ecuación N° 16

$$S = \sqrt{\sum_{x=1}^n \frac{(X_i - X)^2}{n-1}}$$

$$S = 9.73 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Varianza} = 0.082$$

Error medio de la media.

Ecuación N° 17

$$Ex = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad Ex = 2.51 \text{ kg/cm}^2$$

Nivel de confianza: Nc = 95%

Entonces: $Z = 1.96$

Por lo tanto, el Error Probable (Ep) $E_p = Z * E_x = 4.92 \text{ kg/cm}^2$

Intervalo de confianza.

$$V_a = X \pm E_p$$

$$V_a = 118.12 + 4.92 = 123.04 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_a = 118.12 - 4.92 = 113.20 \text{ kg/cm}^2$$

Intervalo de confianza [**113.20 kg/cm²- 123.04 kg/cm²**]

4.2.2. Estadística para la resistencia de flexión.

4.2.2.1. Resultados de la resistencia flexión para 0.4% de fibras de polipropileno.

Datos relevantes:

Porcentaje del 0.4 %		
Nº	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²
1	19.273	36.918
2	19.681	37.699
3	20.904	40.043
4	19.782	37.894
5	17.947	34.378
6	28.654	31.129
7	19.477	21.159
8	31.407	34.120
9	22.332	24.261
10	32.019	34.785
11	23.148	23.148
12	29.368	29.368
13	21.312	21.312
14	23.351	23.351
15	22.740	22.740
16	22.536	22.536
17	22.638	22.638
18	20.190	20.190
19	19.069	19.069
20	19.884	19.884
Promedio=		27.831
Desv. Estándar=		7.238

Media X = 27.831 Kg /cm²

Mediana = 23.806 Kg /cm²

Número de datos **n** = 20

Valor máximo **Max** = 40.04 Kg /cm²

Valor mínimo **Min** = 19.07 Kg /cm²

n° de Intervalos = $1+3.3\log(N) = 5.29 = 5$

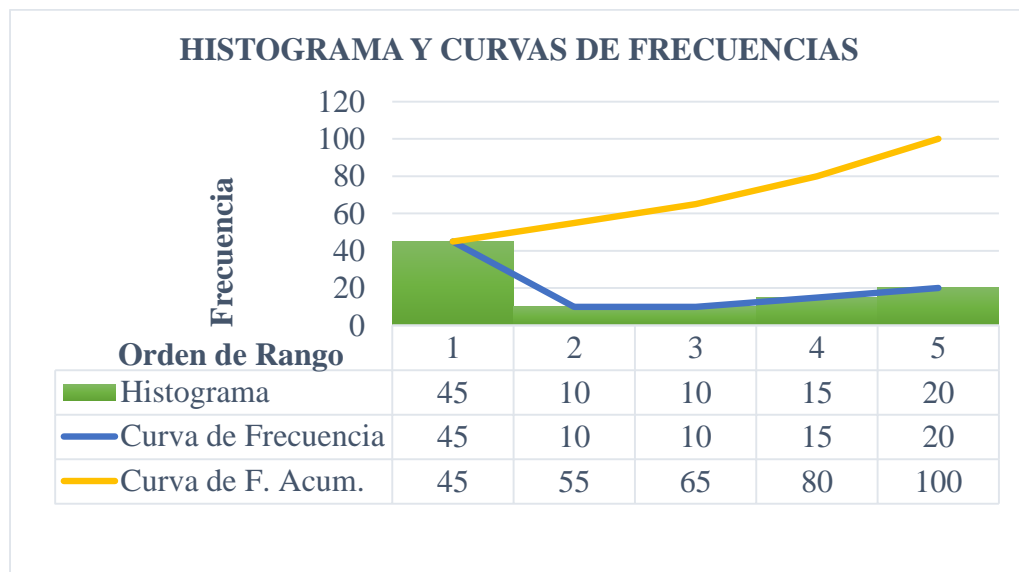
Amplitud = 4.19

Tabla 4.6. Tabla de Frecuencias para 0.4 %.

N	Intervalos		Frecuencia	Fr	Fa	F. Acum.
	Lim. Inf.	Lim. Sup.				
1	19.069	23.264	9	0.450	45	45
2	23.264	27.458	2	0.100	10	55
3	27.458	31.653	2	0.100	10	65
4	31.653	35.848	3	0.150	15	80
5	35.848	40.043	4	0.200	20	100
Total=			20	1	100	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4. Gráfica de histograma y curvas de frecuencias para el 0.4%.



Fuente: Elaboración propia.

Estadística inferencial.

Error de datos desviación estándar (S)

Ecuación N° 18

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

$$S = 7.238 \text{ kg/cm}^2$$

Varianza = 0.260

Error medio de la media.

Ecuación N° 19

$$E_x = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \mathbf{E_x = 1.62 \text{ kg/cm}^2}$$

Nivel de confianza: $N_c = 95\%$

Entonces: $Z = 1.96$

Por lo tanto, el Error Probable (E_p) $\mathbf{E_p = Z * E_x = 3.172 \text{ kg/cm}^2}$

Intervalo de confianza.

$$\mathbf{V_a = X \pm E_p}$$

$$\mathbf{V_a = 27.831 + 3.172 = 31.003 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\mathbf{V_a = 27.831 - 3.172 = 24.659 \text{ kg/cm}^2}$$

Intervalo de confianza [**24.659 kg/cm²- 31.003 kg/cm²**]

4.2.2.2. Resultados de la resistencia flexión para 0.5% de fibras de polipropileno.

Datos relevantes:

Porcentaje del 0.5 %		
N°	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²
1	23.046	44.145
2	18.151	34.769
3	18.967	36.332
4	16.825	32.230
5	19.579	37.504
6	21.618	23.485
7	20.190	21.934
8	26.105	28.359
9	33.753	36.668
10	23.148	25.147
11	31.101	31.101
12	33.753	33.753
13	23.453	23.453
14	30.999	30.999
15	29.878	29.878
16	42.114	42.114
17	35.792	35.792
18	28.756	28.756

19	31.509	31.509
20	32.223	32.223
Promedio=		32.008
Desv. Estándar=		5.938

Media X = 32.008 Kg /cm²

Mediana= 31.866 Kg /cm²

Número de datos **n** = 20

Valor máximo **Max** = 44.14 Kg /cm²

Valor mínimo **Min** = 21.93 Kg /cm²

n° de Intervalos = $1+3.3\log(N) = 5.29 = 5$

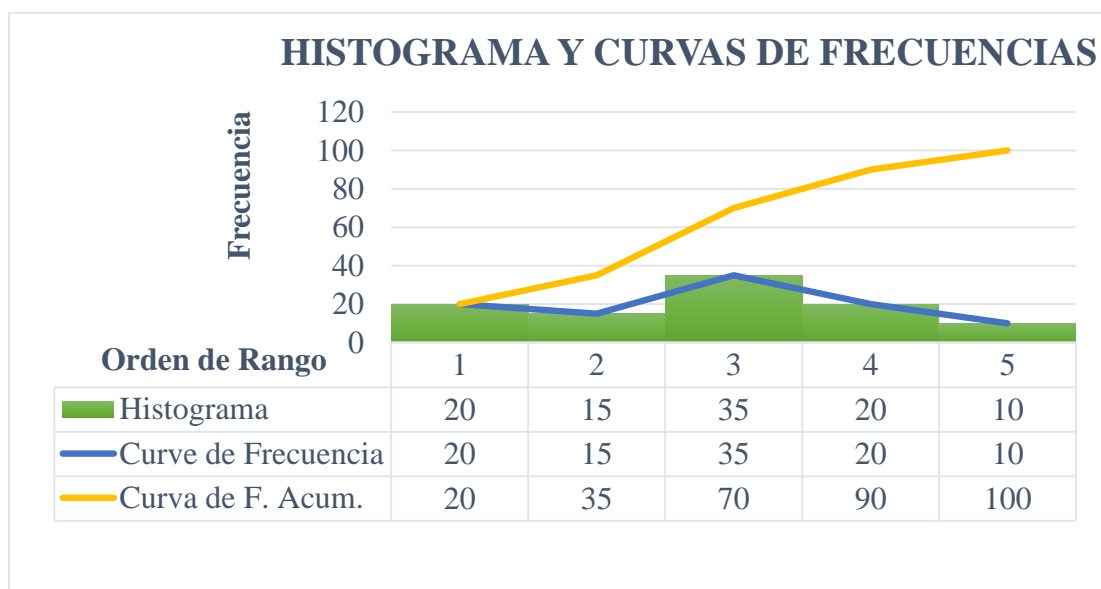
Amplitud = 4.44

Tabla 4.7. Tabla de Frecuencias para 0.5 %.

n	Intervalos		Frecuencia	Fr	Fa (%)	F Acum. (%)
	Lim. Inf.	Lim. Sup.				
1	21.934	26.376	4	0.200	20	20
2	26.376	30.818	3	0.150	15	35
3	30.818	35.261	7	0.350	35	70
4	35.261	39.703	4	0.200	20	90
5	39.703	44.145	2	0.100	10	100
Total=			20	1	100	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5. Gráfica de histograma y curvas de frecuencias para el 0.5%.



Fuente: Elaboración propia.

Estadística inferencial.

Error de datos desviación estándar (S)

Ecuación N° 20

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

$$S = 5.94 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Varianza} = 0.186$$

Error medio de la media.**Ecuación N° 19**

$$E_x = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad E_x = 1.328 \text{ kg/cm}^2$$

Nivel de confianza: $N_c = 95\%$ Entonces: $Z = 1.96$ Por lo tanto, el Error Probable (E_p) $E_p = Z * E_x = 2.603 \text{ kg/cm}^2$ **Intervalo de confianza.**

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

$$V_a = 32.008 + 2.603 = 34.611 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_a = 32.008 - 2.603 = 29.405 \text{ kg/cm}^2$$

Intervalo de confianza [29.405 kg/cm²- 34.611 kg/cm²]**4.2.2.3. Resultados de la resistencia flexión para 0.6% de fibras de polipropileno.****Datos relevantes:**

Porcentaje del 0.6 %		
N°	Resistencia kg/cm ²	Proyección 28 días kg/cm ²
1	21.210	40.629
2	31.815	60.943
3	23.861	45.707
4	19.884	38.089
5	19.171	36.722
6	14.888	16.174
7	28.042	30.464
8	28.348	30.797
9	18.151	19.719
10	26.921	29.246

11	28.756	28.756
12	24.881	24.881
13	37.220	37.220
14	27.634	27.634
15	35.282	35.282
16	26.207	26.207
17	26.411	26.411
18	24.269	24.269
19	23.148	23.148
20	26.819	26.819
Promedio=		31.456
Desv. Estándar		10.037

Media X = 31.456 Kg /cm²

Mediana = 29.001 Kg /cm²

Número de datos **n** = 20

Valor máximo **Max** = 60.94 Kg /cm²

Valor mínimo **Min** = 16.17 Kg /cm²

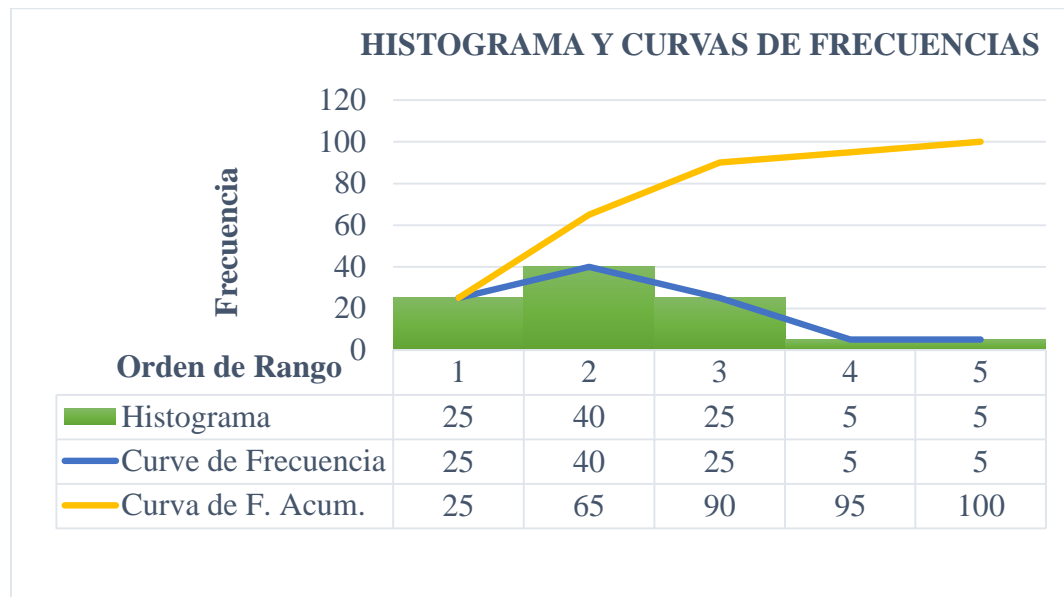
n° de Intervalos = $1+3.3\log(N)$ = 5.29 = 5

Amplitud = 8.95

Tabla 4.8. Tabla de Frecuencias para 0.6 %.

n	Intervalos		Frecuencia	Fr	Fa (%)	F Acum. (%)
	Lim. Inf.	Lim. Sup.				
1	16.174	25.128	5	0.250	25	25
2	25.128	34.082	8	0.400	40	65
3	34.082	43.035	5	0.250	25	90
4	43.035	51.989	1	0.050	5	95
5	51.989	60.943	1	0.050	5	100
Total=			20	1	100	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.6. Gráfica de histograma y curvas de frecuencias para el 0.6%.

Fuente: Elaboración propia.

Estadística inferencial.

Error de datos desviación estándar (S)

Ecuación N° 20

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

$$S = 10.04 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Varianza} = 0.319$$

Error medio de la media.

Ecuación N° 21

$$E_x = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad E_x = 2.245 \text{ kg/cm}^2$$

Nivel de confianza: Nc = 95%

Entonces: Z = 1.96

Por lo tanto, el Error Probable (Ep) $E_p = Z * E_x = 4.400 \text{ kg/cm}^2$

Intervalo de confianza.

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

$$V_a = 31.456 + 4.400 = 35.846 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_a = 31.456 - 4.400 = 27.056 \text{ kg/cm}^2$$

Intervalo de confianza [27.056 kg/cm²- 35.846 kg/cm²]

4.3. Prueba de hipótesis.

4.3.1. Determinación de la prueba hipótesis para un porcentaje óptimo de 0.5% en la resistencia de compresión.

Número de ensayos: $n = 15$

Media $\bar{X} = 141.28 \text{ Kg/cm}^2$

Desviación $S = 27.33 \text{ kg/cm}^2$

Media poblacional $\mu = 350 \text{ Kg/cm}^2$ resistencia de diseño

2) Generando la hipótesis (dos tipos de hipótesis).

Hipótesis nula $H_0: X = \mu$;($141.28 = 350 \text{ Kg/cm}^2$)

Hipótesis alternativa $H_1: X \neq \mu$;($141.28 \neq 350 \text{ Kg/cm}^2$)

3) Determinación del nivel de significancia.

$$Nc = 95\%$$

$$\alpha = 0.05$$

Tiene dos colas por lo tanto $\alpha = 0.05/2 = 0.025$

4) Grado de libertad.

$$GL = n - 1 = 15 - 1 = 14$$

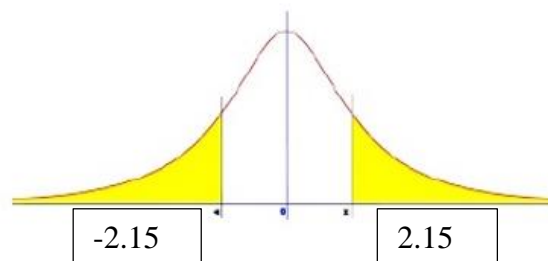
Entonces con la tabla de t-Student obtenemos: $Z = (-2.15; 2.15)$

5) Calculando tc.

$$\text{Ecuación N}^\circ 22 \quad tc = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \quad tc = -29.58$$

Donde $\sigma = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \sigma = 7.06$

Figura 4.7. Curva t-Student



Fuente: Elaboración propia.

Se verificó que tc se encuentra en la región rechazada RR., por lo tanto, la hipótesis nula es rechazada y se acepta la hipótesis alternativa.

4.3.2. Determinación de la prueba hipótesis para un porcentaje óptimo de 0.5% en la resistencia de flexión.

Número de ensayos: $n = 20$

Media $\bar{X} = 32.008 \text{ Kg/cm}^2$

Desviación $S = 5.94 \text{ kg/cm}^2$

Media poblacional $\mu = 48 \text{ kg/cm}^2$ resistencia de diseño

2) Generando la hipótesis (dos tipos de hipótesis).

Hipótesis nula $H_0: X = \mu$;($32.008 \text{ kg/cm}^2 = 48 \text{ Kg/cm}^2$)

Hipótesis alternativa $H_1: X \neq \mu$;($32.008 \text{ kg/cm}^2 \neq 48 \text{ Kg/cm}^2$)

3) Determinación del nivel de significancia.

$$Nc = 95\%$$

$$\alpha = 0.05$$

Tiene dos colas por lo tanto $\alpha = 0.05/2 = 0.025$

4) Grado de libertad.

$$GL = n - 1 = 20 - 1 = 19$$

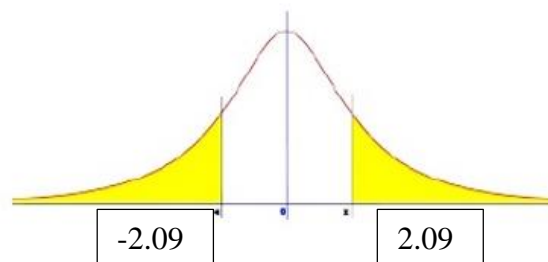
Entonces con la tabla de t-Student obtenemos: $Z = (-2.09; 2.09)$

5) Calculando t_c .

$$\text{Ecuación N}^\circ 23 \quad t_c = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \quad t_c = -12.042$$

Donde $\sigma = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \sigma = 1.328$

Figura 4.8. Curva t-Student



Fuente: Elaboración propia.

Se verificó que t_c se encuentra en la región rechazada RR., por lo tanto, la hipótesis nula es rechazada y se acepta la hipótesis alternativa.

4.4. ANÁLISIS DE COSTO.

4.4.1. Precios unitarios.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

DATOS GENERALES				
Proyecto:	CONSTRUCCIÓN DE UNA CAMINO			
Actividad:	PROV. Y CONFORT DE UNA CAPA DE RODADURA DE HORMIGÓN POROSO DE 0.4% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO			
Cantidad:	1			
Unidad:	m ³			
Moneda:	Bs.			
1. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1 Cemento portland IP40	kg.	450.044	1.080	486.048
2 Grava 3/4"	kg.	844.417	0.055	46.443
3 Gravilla 3/8"	kg.	280.139	0.069	19.330
4 Arena gruesa	kg.	314.912	0.044	13.856
5 Fibra de polipropileno	kg.	1.800	60.000	108.000
TOTAL MATERIALES				673.676
2. MANO DE OBRA				
1 Ayudante	Hr.	0.03	15.000	0.450
2 Capataz	Hr.	0.022	22.500	0.495
3 Chofer	Hr.	0.02	16.250	0.325
4 Operador	Hr.	0.04	21.250	0.850
5 Peón	Hr.	0.02	12.500	0.250
SUBTOTAL MANO DE OBRA:				2.370
CARGAS SOCIALES = (% DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)			60.00%	1.422
IMPUESTO IVA = % DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES			14.94%	0.567
TOTAL MANO DE OBRA				4.359
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
1 Camión cisterna 4000 a 10000 lt	Hr.	0.103	210.130	21.643
2 Cargador frontal de ruedas >= 950 m ³	Hr.	0.0022	422.270	0.929
3 Comp Rod Liso y pata de cabra m ² /hr	Hr.	0.004	304.660	1.219
4 Motoniveladora 14G m ² /hr	Hr.	0.003	340.470	1.021
5 Camión de hormigonar (mezcladora) 3-16 m ³ /hr	Hr.	0.105	374.698	39.343
6 Volqueta >= 12 m ³	Hr.	0.0022	225.060	0.495
* HERRAMIENTAS = % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA			5.00%	0.218
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				25.53
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
				COSTO TOTAL
* GASTOS GENERALES = % DE 1 + 2 + 3			10.00%	70.356
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				70.356
5. UTILIDAD				
				COSTO TOTAL
* UTILIDAD = % DE 1 + 2 + 3 + 4			10.00%	77.392
TOTAL UTILIDAD				77.392
6. IMPUESTOS				
				COSTO TOTAL
* IMPUESTOS IT = % DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5			3.09%	26.306
TOTAL IMPUESTOS				26.306
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)				877.619
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos decimales)				877.62

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

DATOS GENERALES					
	Proyecto:	CONSTRUCCIÓN DE UNA CAMINO			
	Actividad:	PROV. Y CONFORT DE UNA CAPA DE RODADURA DE HORMIGÓN POROSO DE 0.5% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO			
	Cantidad:	1			
	Unidad:	m ³			
	Moneda:	Bs.			
1. MATERIALES					
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1	Cemento portland IP40	kg.	449.593	1.080	485.560
2	Grava 3/4''	kg.	832.320	0.055	45.778
3	Gravilla 3/8''	kg.	277.440	0.069	19.143
4	Arena gruesa	kg.	328.201	0.044	14.441
5	Fibra de polipropileno	kg.	2.248	60.000	134.880
TOTAL MATERIALES					699.802
2. MANO DE OBRA					
1	Ayudante	Hr.	0.03	15.000	0.450
2	Capataz	Hr.	0.022	22.500	0.495
3	Chofer	Hr.	0.02	16.250	0.325
4	Operador	Hr.	0.04	21.250	0.850
5	Peón	Hr.	0.02	12.500	0.250
SUBTOTAL MANO DE OBRA:					2.370
CARGAS SOCIALES = (% DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)				60.00%	1.422
IMPUESTO IVA = % DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES				14.94%	0.567
TOTAL MANO DE OBRA					4.359
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
1	Camión cisterna 4000 a 10000 lt	Hr.	0.103	210.130	21.643
2	Cargador frontal de ruedas >= 950 m ³	Hr.	0.0022	422.270	0.929
3	Comp Rod Liso y pata de cabra m ² /hr	Hr.	0.004	304.660	1.219
4	Motoniveladora 14G m ² /hr	Hr.	0.003	340.470	1.021
5	Camión de hormigonear (mezcladora) 3-16 m ³ /hr	Hr.	0.105	374.698	39.343
6	Volqueta >= 12 m ³	Hr.	0.0022	225.060	0.495
*	HERRAMIENTAS = % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA			5.00%	0.218
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					25.53
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
					COSTO TOTAL
*	GASTOS GENERALES = % DE 1 + 2 + 3			10.00%	72.969
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					72.969
5. UTILIDAD					
					COSTO TOTAL
*	UTILIDAD = % DE 1 + 2 + 3 + 4			10.00%	80.266
TOTAL UTILIDAD					80.266
6. IMPUESTOS					
					COSTO TOTAL
*	IMPUESTOS IT = % DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5			3.09%	27.282
TOTAL IMPUESTOS					27.282
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)					910.208
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos decimales)					910.21

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

DATOS GENERALES					
Proyecto:		CONSTRUCCIÓN DE UNA CAMINO			
Actividad:		PROV. Y CONFORT DE UNA CAPA DE RODADURA DE HORMIGÓN POROSO DE 0.6% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO			
Cantidad:		1			
Unidad:		m ³			
Moneda:		Bs.			
1. MATERIALES					
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1	Cemento portland IP40	kg.	449.141	1.080	485.072
2	Grava 3/4''	kg.	826.77	0.055	45.472
3	Gravilla 3/8''	kg.	275.59	0.069	19.016
4	Arena gruesa	kg.	334.332	0.044	14.711
5	Fibra de polipropileno	kg.	2.711	60.000	162.660
TOTAL MATERIALES					726.931
2. MANO DE OBRA					
1	Ayudante	Hr.	0.03	15.000	0.450
2	Capataz	Hr.	0.022	22.500	0.495
3	Chofer	Hr.	0.02	16.250	0.325
4	Operador	Hr.	0.04	21.250	0.850
5	Peón	Hr.	0.02	12.500	0.250
SUBTOTAL MANO DE OBRA:					2.370
CARGAS SOCIALES = (% DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)				60.00%	1.422
IMPUESTO IVA = % DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES				14.94%	0.567
TOTAL MANO DE OBRA					4.359
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
1	Camión cisterna 4000 a 10000 lt	Hr.	0.103	210.130	21.643
2	Cargador frontal de ruedas >= 950 m ³	Hr.	0.0022	422.270	0.929
3	Comp Rod Liso y pata de cabra m ² /hr	Hr.	0.004	304.660	1.219
4	Motoniveladora 14G m ² /hr	Hr.	0.003	340.470	1.021
5	Camión de hormigonear (mezcladora) 3-16 m ³ /hr	Hr.	0.105	374.698	39.343
6	Volqueta >= 12 m ³	Hr.	0.0022	225.060	0.495
*	HERRAMIENTAS = % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA			5.00%	0.218
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					25.53
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
					COSTO TOTAL
*	GASTOS GENERALES = % DE 1 + 2 + 3			10.00%	75.682
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					75.682
5. UTILIDAD					
					COSTO TOTAL
*	UTILIDAD = % DE 1 + 2 + 3 + 4			10.00%	83.250
TOTAL UTILIDAD					83.250
6. IMPUESTOS					
					COSTO TOTAL
*	IMPUESTOS IT = % DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5			3.09%	28.297
TOTAL IMPUESTOS					28.297
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)					944.048
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos decimales)					944.05

4.4.2. Costo referencial para un tramo de capa de rodadura de una carretera.

Costo referencial para un tramo de capa subrasante de una carretera con una longitud de 1000m, un ancho de 7m y un espesor de 0.20m.

Tabla 4.9. Tabla costo referencial.

Porcentajes de fibra	Volumen	Precio unitario	Precio total
%	m³	Bs.	Bs.
Hormigón al 0.4	1400	877.619	1228666.600
Hormigón al 0.5	1400	910.208	1274291.200
Hormigón al 0.6	1400	944.048	1321667.200

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- Se identificó el banco de muestreo de extracción de agregados para un hormigón poroso con fibras de polipropileno de la chancadora de SEDECA porque sus agregados son más resistentes y tienen un desgaste de 22.85% que es menor del 40% que exige la norma ASTM.
- En el caso de la granulometría del agregado grueso para que cumpla la curva granulométrica se tuvo que proporcionar el agregado con un 75% de grava de 3/4" y un 25% de gravilla de 3/8".
- La consistencia en un hormigón poroso es seca, tiene un pequeño asentamiento mientras se va aumentando el porcentaje de vacíos, va bajando el grado de trabajabilidad al tratarse un hormigón más seco, con un porcentaje de vacíos de 20% con el que fue diseñado para los porcentajes del 0.4%, 0.5% y 0.6% si cumple con el porcentaje de vacíos y de asentamiento.
- Se determinó una relación A/C de 0.27 permite el mantenimiento del porcentaje de vacíos de 20% con el que se desea trabajar.
- Se estableció una adecuada dosificación para esto se optó trabajar con porcentajes de 0.4%, 0.5% y 0.6% de fibras de polipropileno, debido a que se encontró muy poca información de estos para un hormigón poroso que será utilizado para pavimentos rígidos.
- La permeabilidad es una propiedad de los hormigones porosos, por lo que es importante en este trabajo establecer los rangos de permeabilidad obtenidos siendo estos (0.478 cm/s – 0.692 cm/s) representando a los porcentajes de 0.4 y 0.5 % de fibras de polipropileno, valores que muestran que el hormigón poroso utilizado para pavimento rígido cumplirá con los rangos establecidos por la norma ACI-522R (0.0135 cm/s – 1.222cm/s) y su objetivo de infiltrar y evitar la película de agua en el pavimento.
- La resistencia a flexión del hormigón poroso varía entre 10.200 kg/cm² a 38.800 kg/cm² en los ensayos realizados se obtuvo resistencia de (27.83 kg/cm², 32.01 kg/cm², 31.46 kg/cm²) para las siguientes dosificaciones de 0.4%, 0.5% y 0.6% de porcentajes de fibras de polipropileno los cuales se encuentran en el rango de hormigón poroso.

- Evaluando la resistencia a flexión del hormigón poroso con fibras de polipropileno para una pavimento rígido obtenidas en laboratorios, los cuales son: para un porcentaje de fibra de 0.4% obtuvo una resistencia de flexión de 27.83 kg/cm², para un porcentaje de fibra de 0.5% obtuvo una resistencia de flexión de 32.01 kg/cm², para un porcentaje de fibra de 0.6% obtuvo una resistencia de flexión de 31.46 kg/cm², ninguno de los porcentajes de fibra de polipropileno cumplió con los requisitos que exigen las normas tiene una capacidad de resistencia a flexión para un pavimento rígido es de 45 kg/cm².
- Se obtuvo que el porcentaje optimo es de 0.5 % siendo que a ese porcentaje se tiene una mayor resistencia tanto en resistencia a compresión con 141.280 kg/cm² como a resistencia a flexión con 32.01 kg/cm², y se concluye que a menor o mayor cantidad de fibra se obtiene menor resistencia.
- Analizando los datos de un hormigón rígido porosos con fibras de polipropileno proyectado para un pavimento rígido, solo tienen la capacidad de soportar una carga de tránsito liviano de 6 ton (6000 kg) por eje, pero como no es posible mantener esta carga constante siendo que con una sola circulación de una carga tránsito pesado de 25ton (25000 kg) por eje causaría que el pavimento se deteriore y fisuraciones a cortos plazos, en conclusión estos tipos de hormigones porosos no son viables para ser tenidos en cuenta a la hora de diseñar pavimentos rígidos.

Tabla 5.1. Análisis de cargas con relación de resistencia.

Cargas kg	Resistencia compresión kg/cm ²	Cargas kg	Resistencia compresión kg/cm ²	% De fibra
0	0.000	21310	120.589	0.4
6000	33.953	24966	141.280	0.5
11000	62.247	20873	118.115	0.6
14500	82.053			
18000	101.859			
25000	141.471			

Fuente: Elaboración propia

5.2. RECOMENDACIONES

- ❖ Utilizar el pavimento poroso con fibras de polipropileno en bermas, aceras, estacionamientos vehiculares, calles de poco a mediano tráfico esto debido a que trabaja con bajas resistencias.
- ❖ Realizar dosificaciones de hormigón poroso con una relación agua/cemento de 0.27 con la que se pudo alcanzar la configuración adecuada de los porcentajes de vacíos.
- ❖ Tener cuidado al dosificar y preparar la mezcla de hormigón poroso por su baja trabajabilidad.
- ❖ Al trabajar con hormigones porosos, obtener una mezcla homogénea que garantice el porcentaje de vacíos adecuado para permitir la infiltración del agua superficial del pavimento.
- ❖ Mantener las normas y guías a mano para seguir paso a paso para la realización de los diferentes ensayos que requiere el proyecto.
- ❖ Verificar que la caracterización de los materiales este en los rangos que la norma se lo permita.