



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE VIDRIO EN LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DEL CONCRETO
PERMEABLE $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ EMPLEADO PARA PAVIMENTOS
EN LA CIUDAD DE JULIACA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. HERBERT YULIO MAMANI ESTUCO

Bach. IVAN VALERA CCACCASACA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO - PERÚ

2022



DEDICATORIA

A Dios, quien me ayudo a culminar mi carrera, también por darme conocimiento y fuerza para poder realizar la presente investigación.

A mis padres Julio y Soledad por su apoyo incondicional en mi formación como profesional y por haberme inculcado valores como: humildad, respeto y honradez, así mismo, por motivarme en todo momento a alcanzar mis metas.

Herbert Yulio Mamani Estuco



DEDICATORIA

A Dios por darnos salud, vida y por iluminar mi camino, para así poder realizar una meta trazada a mis padres que a lo largo de la vida me han apoyado, y estuvieron pendientes por mi bienestar, formándome profesionalmente para salir adelante. Siendo así uno de los apoyos más importantes en mi carrera profesional. Es por ello que llegué a ser lo que soy. A nuestros docentes por el tiempo y apoyo incondicional en nuestra formación profesional.

Ivan Valera Ccaccasaca



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por habernos dado mucha fortaleza y valor para poder culminar nuestro trabajo.

A nuestra alma mater, Universidad Nacional del Altiplano y especialmente a la escuela profesional de Ingeniería Civil por habernos brindado los conocimientos necesarios para desempeñarnos en el campo laboral.

A nuestros jurados, D.Sc. Felix Rojas Chahuares, Ing. Mariano Roberto Garcia Loayza e Ing. Gleny Zoila de la Riva Tapia por el apoyo en la elaboración de nuestro trabajo de investigación.

A nuestro asesor de tesis, Ing. Zenon Mellado Vargas por el apoyo constante en la elaboración y ejecución de esta investigación, buscando siempre una mejor versión del trabajo presentado.

A mis compañeros y amigos por compartir sus conocimientos, experiencias y anécdotas con nosotros.

Herbert Yulio Mamani Estuco

Ivan Valera Ccaccasaca



ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 17

ABSTRACT..... 18

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 19

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 20

1.2.1 Problema general 20

1.2.2 Problemas específicos..... 20

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 21

1.3.1 Hipótesis general..... 21

1.3.2 Hipótesis específicas..... 21

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO..... 21

1.5 OBJETIVOS..... 22

1.5.1 Objetivo general..... 22

1.5.2 Objetivos específicos 22

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES 23

2.1.1 Antecedentes internacionales..... 23



2.1.2	Antecedentes nacionales	25
2.1.3	Antecedentes locales	27
2.2	MARCO TEÓRICO	30
2.2.1	El concreto	30
2.2.2	Concreto permeable o poroso	30
2.2.3	Aspecto hidrológico.....	45
2.2.4	Fibra de vidrio.....	48
2.2.5	Pavimento permeable.....	51
CAPÍTULO III		
MATERIALES Y MÉTODOS		
3.1	ÁMBITO DE ESTUDIO	62
3.2	PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO	62
3.3	PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO.....	62
3.3.1	Agregados	62
3.3.2	Cemento	65
3.3.3	Agua.....	66
3.3.4	Fibra de vidrio.....	66
3.4	DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	68
3.4.1	Tipo de investigación.....	68
3.4.2	Nivel de investigación	68
3.4.3	Diseño de investigación	68
3.4.4	Población y muestra.....	68
3.5	METODOLOGÍA CUASI EXPERIMENTAL	71
3.5.1	Propiedad de los agregados.....	71
3.5.2	Diseño de mezclas del concreto permeable	91
3.5.3	Resumen de diseño de mezclas.....	110



3.5.4	Elaboración del concreto permeable para el vaciado de los moldes cilíndricos y prismáticos:	111
3.5.5	Ensayos realizados	112
3.6	DISEÑO ESTADÍSTICO Y PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	123
3.6.1	Análisis estadístico	123
3.6.2	Prueba de hipótesis	126

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	RESULTADOS DE ENSAYOS DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO	130
4.1.1	Asentamiento y trabajabilidad del concreto permeable	130
4.2	RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO PERMEABLE	131
4.2.1	Resistencia a la compresión simple	131
4.2.2	Resistencia a la flexión	140
4.3	RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS	147
4.3.1	Permeabilidad del concreto poroso	147
4.4	INTERPRETACIÓN CRUZADA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DEL CONCRETO PERMEABLE	153
4.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	157
4.5.1	Análisis estadístico de la resistencia a compresión.	157
4.5.2	Análisis estadístico de la resistencia a flexión	158
4.5.3	Análisis estadístico de la permeabilidad	159
4.6	PRUEBA DE HIPÓTESIS – CONTRASTACIÓN.....	161
4.6.1	Resistencia a la compresión	161
4.6.2	Resistencia a la flexión	162
4.6.3	Permeabilidad del concreto	164
4.7	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	166



V. CONCLUSIONES.....	169
VI. RECOMENDACIONES.....	171
VII. REFERENCIAS.....	172
ANEXOS.....	178

ÁREA: Transportes

TEMA: Concreto permeable para pavimentos

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Transportes y gestión vial

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 22 de diciembre de 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Permeabilidad del concreto poroso	31
Figura 2	Concreto poroso en parqueos o zonas de estacionamiento	32
Figura 3	Concreto poroso en parqueaderos - estacionamientos	32
Figura 4	Cilindro de concreto sometido a compresión.....	38
Figura 5	Tipos de falla de cilindros de pruebas estándar.....	40
Figura 6	Ensayo de resistencia a la flexión	42
Figura 7	Capacidad del concreto permeable de percolación de aguas lluvias.....	43
Figura 8	Permeámetro de carga variable para la medición de la permeabilidad del concreto.....	44
Figura 9	Pluviógrafo	47
Figura 10	Fibra de vidrio	48
Figura 11	Estructura del pavimento permeable de total infiltración al suelo	56
Figura 12	Estructura del pavimento permeable de infiltración parcial al suelo	56
Figura 13	Estructura del pavimento permeable de infiltración 0	57
Figura 14	Ubicación geográfica de la cantera Unocolla - Juliaca	63
Figura 15	Traslado del agregado	63
Figura 16	Zarandeo para obtención del agregado grueso de 3/8”	64
Figura 17	Selección del agregado fino	65
Figura 18	Extracción de los agregados	71
Figura 19	Ensayo de contenido de humedad	74
Figura 20	Peso del agregado grueso superficialmente seco (S.S.S) del agregado de 3/8”	80
Figura 21	Enrase con la varilla de apisonado	85
Figura 22	Curva granulométrica del agregado fino natural.....	87



Figura 23	Curva granulométrica del agregado grueso natural, representa los límites máximos y mínimos.....	88
Figura 24	Ensayo de granulometría.....	89
Figura 25	Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión del concreto permeable	94
Figura 26	Relación entre la pasta y el contenido de vacíos.....	95
Figura 27	Relación entre la resistencia a la compresión y el contenido de vacíos para gradación de 1/2"	99
Figura 28	Relación entre la pasta y contenido de vacíos para el concreto permeable con agregado de 1/2"	100
Figura 29	Relación entre la resistencia y el contenido de vacíos para el agregado de 3/8"	105
Figura 30	Relación entre la pasta y el contenido de hueco o vacíos	106
Figura 31	Vaciado del concreto en probetas cilíndricas y prismáticas.....	111
Figura 32	Medición del asentamiento (Slump) del concreto permeable	113
Figura 33	Toma de datos de las probetas cilíndricas, medición del diámetro con el vernier	114
Figura 34	Ensayo de compresión simple del concreto permeable.....	115
Figura 35	Mecanismo de aplicación de carga, ensayo de flexión en el punto central	116
Figura 36	Proceso de rotura a flexión del concreto permeable.....	117
Figura 37	Equipo de ensayo de permeabilidad.....	119
Figura 38	Ensayo de permeabilidad	120
Figura 39	Diferentes distribuciones de la campana de Gauss	125
Figura 40	Rango de aceptación y rechazo de la hipótesis nula	128
Figura 41	Evolución del concreto permeable con 0.05% de fibra.....	133



Figura 42	Evolución del concreto permeable con 0.10 % de fibra.....	134
Figura 43	Comparación de la evolución del concreto permeable con 0.15 % de fibra con respecto a la muestra de concreto patrón	135
Figura 44	Evolución de la resistencia a la compresión simple de los grupos de control	136
Figura 45	Efecto de la fibra de vidrio en la resistencia del concreto simple del concreto	138
Figura 46	Probetas cilíndricas sometidas a la compresión simple	139
Figura 47	Evolución de la resistencia a la flexión del concreto con 0.05 % de fibras	141
Figura 48	Evolución de la resistencia a la flexión del concreto permeable con 0.10% de fibras	142
Figura 49	Evolución de la resistencia a la flexión del concreto permeable con 0.15 % de fibras Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo	143
Figura 50	Evolución de la resistencia a la flexión de los 4 grupos de control	144
Figura 51	Efecto de la fibra de vidrio en la resistencia a la flexión del concreto permeable	145
Figura 52	Probetas prismáticas sometidas al ensayo de resistencia a la flexión	146
Figura 53	Coefficientes de permeabilidad para los grupos de control.....	151
Figura 54	Resistencia a la compresión vs resistencia a la flexión (28 días).....	153
Figura 55	Resistencia a la flexión vs coeficiente de permeabilidad.....	155
Figura 56	Permeabilidad vs resistencia a la compresión simple del concreto permeable	156



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clases de mezclas según su asentamiento.....	38
Tabla 2	Factores de corrección de resistencia para diferentes relaciones h/d.....	41
Tabla 3	Propiedades mecánicas de la fibra de vidrio.....	50
Tabla 4	Permeabilidad para diferentes tipos de suelos	55
Tabla 5	Requisitos mínimos de los pavimentos especiales (pavimento permeable)	60
Tabla 6	Características químicas del cemento	66
Tabla 7	Características físicas del cemento	66
Tabla 8	Características químicas de la fibra de vidrio tipo E	67
Tabla 9	Características físicas de la fibra de vidrio tipo E.....	67
Tabla 10	Tamaño de muestra para el ensayo de compresión simple	69
Tabla 11	Tamaño de muestra para ensayo a flexión.....	70
Tabla 12	Tamaño de muestra para el ensayo de permeabilidad	70
Tabla 13	Contenido de humedad del agregado fino.....	73
Tabla 14	Contenido de humedad del agregado grueso de 3/8".....	73
Tabla 15	Datos para la gravedad específica del agregado fino.....	76
Tabla 16	Resultados de la absorción y peso específico del agregado fino	76
Tabla 17	Datos para la gravedad específica del agregado grueso de 3/8"	78
Tabla 18	Resultados de la absorción y peso específico del agregado grueso de 3/8".	78
Tabla 19	Datos para la gravedad específica del agregado grueso de 1/2"	79
Tabla 20	Resultados de la absorción y peso específico del agregado grueso de 1/2".	79
Tabla 21	Peso unitario suelto del agregado fino	81
Tabla 22	Peso unitario compactado del agregado fino	82
Tabla 23	Peso unitario suelto del agregado de 3/8"	82
Tabla 24	Peso unitario compactado del agregado de 3/8"	83



Tabla 25	Peso unitario suelto del agregado de 1/2"	83
Tabla 26	Peso unitario compactado del agregado grueso de 1/2"	84
Tabla 27	Resumen de resultados del peso unitario suelto y compactado	84
Tabla 28	Granulometría del agregado fino	86
Tabla 29	Granulometría del agregado grueso natural	87
Tabla 30	Resultados de abrasión los ángeles del agregado grueso de 3/8"	91
Tabla 31	Diferencias entre diseño ACI de concreto convencional y el diseño del concreto permeable	92
Tabla 32	Nominación según el número de diseño de mezclas.....	93
Tabla 33	Resumen de datos de laboratorio para agregado de 1/2"	98
Tabla 34	Cálculo de volúmenes absolutos para el diseño de mezclas del agregado de 1/2"	101
Tabla 35	Cálculo en peso del agregado de (1/2")	102
Tabla 36	Resumen de peso y volumen del diseño de mezcla para el agregado de 1/2"	102
Tabla 37	Corrección por humedad, absorción y aporte de los agregados del diseño de mezcla con agregado de 1/2"	103
Tabla 38	Valores de diseño corregidos por humedad del diseño de mezclas para el agregado de 1/2"	103
Tabla 39	Resumen de datos de ensayo de laboratorio para agregado de 3/8"	104
Tabla 40	Cálculo de volúmenes absolutos para el diseño de mezclas para el agregado de 3/8"	108
Tabla 41	Cálculo de peso del agregado de 3/8"	108
Tabla 42	Resumen del peso y volumen del agregado del diseño de mezclas para el agregado de 3/8"	109



Tabla 43	Corrección por humedad, absorción y aporte de los agregados del diseño de mezclas para la gradación de 3/8"	109
Tabla 44	Corrección por humedad del diseño de mezclas con agregado de 3/8"	110
Tabla 45	Resumen del diseño de mezclas	110
Tabla 46	Precipitación de los últimos 20 años en la ciudad de Juliaca.....	122
Tabla 47	Coefficiente de variación y desviación estándar	126
Tabla 48	Determinación del nivel de significancia.....	127
Tabla 49	Trabajabilidad del concreto permeable con 0.05%, 0.10% y 0.15% de fibra	130
Tabla 50	Resistencia a compresión simple del concreto permeable con agregado de 1/2"	131
Tabla 51	Resistencia a la compresión del concreto con agregado de 3/8"	132
Tabla 52	Resistencia a la flexión del concreto permeable patrón.....	140
Tabla 53	Coefficientes de permeabilidad de la muestra patrón con tamaño de agregado de 3/8"	147
Tabla 54	Permeabilidad del concreto permeable con 0.05 % de fibra de vidrio	148
Tabla 55	Permeabilidad del concreto permeable con 0.10 % de fibra de vidrio	148
Tabla 56	Permeabilidad del concreto permeable con 0.15% de fibra de vidrio	149
Tabla 57	Capacidad de filtración de las probetas de control	150
Tabla 58	Capacidad de filtración por m ² para cada tipo de dosificación de concreto permeable.....	150
Tabla 59	Interpretación del coeficiente de variación y desviación estándar para los grupos de control de la resistencia a la compresión para la edad de 28 días de curado.....	157



Tabla 60	Interpretación del coeficiente de variación y desviación estándar para los grupos de control de la resistencia a flexión a los 28 días.	158
Tabla 61	Interpretación del coeficiente de variación y desviación estándar para los grupos de control de permeabilidad a los 7 días.	159
Tabla 62	Prueba de hipótesis para los diferentes grupos de control de la resistencia a compresión.....	161
Tabla 63	Prueba de hipótesis para los diferentes grupos de control de la resistencia a la flexión	163
Tabla 64	Prueba de hipótesis para los diferentes grupos de control de la permeabilidad	164



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

CP: Concreto permeable

f'c: Resistencia a la compresión del concreto, kg/cm².

R: Módulo de ruptura del concreto (resistencia a la flexión), kg/cm².

X̄: Media aritmética muestral.

S²: Varianza.

S: Desviación estándar.

H₀: Hipótesis nula.

H_a: Hipótesis alternativa.

α: Nivel de significancia.

tp: Estadístico de prueba.

AgF: Agregado fino.

A°G°: Agregado grueso

W%: Contenido de humedad

TM: Tamaño máximo del agregado.

TMN: Tamaño máximo nominal del agregado.

a/c: Relación agua/cemento.

ACI: American Concrete Institute.

ACI-522R: Reporte en concreto permeable

ASTM: American Society of Testing Materials.

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

NTP: Norma técnica peruana.



RESUMEN

La investigación se realizó con el propósito de evaluar la influencia de fibras de vidrio en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ empleado para pavimentos en la ciudad de Juliaca. Se efectuó con pruebas de resistencia a la compresión, flexión y estudio de permeabilidad en probetas de concreto, para lo cual el diseño de mezclas se realizó con un tamaño de agregado de $3/8''$ en donde se incorporó fibras de vidrio en proporciones de 0.05%, 0.10% y 0.15% con respecto al peso de los materiales, comparándolo con la muestra de concreto permeable patrón diseñado sin fibras de vidrio, se empleó 63 probetas cilíndricas, 24 probetas prismáticas tipo losa y 12 probetas cilíndricas, para los ensayos de compresión simple, flexión y permeabilidad respectivamente. Según los resultados el porcentaje óptimo de adición de fibra de vidrio es del 0.10%, puesto que mejora la resistencia del concreto permeable a compresión simple en un 5.42 % y su resistencia a la flexión en un 21.72 %, además de alterar su coeficiente de permeabilidad disminuyendo en 0.07 cm/s, sin embargo, aun así se encuentra dentro de los rangos óptimos permitidos para ser considerado concreto permeable establecidas en la norma ACI - 522R. La conclusión del estudio fue que las fibras de vidrio mejoran las propiedades mecánicas del concreto y disminuyen sus propiedades hidráulicas.

Palabras Clave: Concreto, fibra de vidrio, permeabilidad, resistencia a la compresión y flexión.



ABSTRACT

The research was carried out with the purpose of evaluating the influence of glass fibers on the mechanical and hydraulic properties of pervious concrete $f'_c=175$ kg/cm² used for pavements in the city of Juliaca. It was carried out with tests of resistance to compression, flexion and study of permeability in concrete specimens, for which the mixture design was carried out with an aggregate size of 3/8 "where glass fibers were incorporated in proportions of 0.05 %, 0.10% and 0.15% with respect to the weight of the materials, comparing it with the sample of permeable concrete pattern designed without glass fibers, 63 cylindrical specimens, 24 slab-type prismatic specimens and 12 cylindrical specimens were used for compression tests simple, bending and permeability respectively. According to the results, the optimal percentage of fiberglass addition is 0.10%, since it improves the resistance of permeable concrete to simple compression by 5.42% and its resistance to flexion by 21.72%, in addition to altering its coefficient of permeability. decreasing by 0.07 cm/s, however, it is still within the optimal ranges allowed to be considered pervious concrete established in the ACI - 522R standard. The conclusion of the study was that glass fibers improve the mechanical properties of concrete and decrease its hydraulic properties.

Keywords: Concrete, fiberglass, permeability, compressive and flexural strength.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años se ha registrado a nivel mundial un elevado impacto ambiental e inundaciones, obligando a impulsar la búsqueda de nuevos métodos de construcción, haciendo que cada vez más se utilicen materiales de tipo ecológico, entre los cuales se encuentra el concreto permeable, que fue desarrollado en Japón desde los años 1980, desde entonces ha sido utilizado en diversas aplicaciones, sin embargo recientemente ha ganado mayor atención, debido a sus beneficios económicos y medioambientales, por otro lado, también en países como México y Colombia ya han sido reforzados con diferentes materiales que aportan resistencia como fibras de vidrio, acero y polietileno. (Quispe & Ticona, 2017).

En el Perú, en los últimos años se han presentado problemas ocasionados por la falta de evacuación de aguas pluviales, esto se asocia con el crecimiento poblacional, ya que la zona urbanizada al incrementar su tamaño requiere mejores infraestructuras, fundamentalmente con pavimentos para el buen tránsito. En la actualidad, se necesitan disminuir los problemas causados por las intensas precipitaciones, ya que las inundaciones es una de las catástrofes que tienen mayor incidencia en nuestro país. (García & Silva, 2019).

En nuestra región de Puno, podemos apreciar que las zonas urbanas están pavimentadas con asfalto o concreto, estos elementos no son permeables y hacen que el agua de lluvia se empoce y no se infiltre ocasionando charcos. La ciudad de Juliaca es un claro ejemplo a esta situación, así mismo su topografía desfavorece la evacuación de las aguas pluviales, consecuentemente año tras año se ha generado inundaciones en algunas



zonas de esta ciudad, este fenómeno generalmente sucede durante los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo afectando negativamente la circulación vehicular y peatonal. (Flores & Pacompia, 2015).

Si la situación actual prevalece, los pavimentos se verán afectados, generando un desgaste prematuro del concreto por erosión, una de las causas principales es que no se cuenta con un sistema de evacuación de aguas pluviales, lo que ha provocado que las alcantarillas y cunetas se saturen o en muchos casos estos colapsen, así mismo, dicho problema no permite tener un tránsito vehicular y peatonal adecuado.

Para afrontar los efectos negativos mencionados, se propone aplicar el concreto permeable reforzado en los pavimentos que tiene como finalidad mitigar las inundaciones de la ciudad de Juliaca. Su aplicación puede ser en zonas tales como; estacionamientos, pasaje peatonales y vías con tráfico ligero.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

- ¿De qué manera influye la adición de fibras de vidrio en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ empleado para pavimentos en la ciudad de Juliaca?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿De qué manera influye la adición de fibras de vidrio en la resistencia a la compresión simple del concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$?
- ¿De qué manera influye la adición de fibras de vidrio en la resistencia a la flexión del concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$?



- ¿De qué manera influye la adición de fibras de vidrio en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$?

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Hipótesis general

- La adición de fibras vidrio mejora las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ empleado para pavimentos en la ciudad de Juliaca.

1.3.2 Hipótesis específicas

- La adición de fibras de vidrio incrementa la resistencia a la compresión del concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$.
- La adición de fibras de vidrio incrementa en la resistencia a la flexión del concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$.
- La adición de fibras de vidrio incrementa la permeabilidad del concreto permeable $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Uno de los aspectos principales del presente estudio, es el estado actual de las calles de la ciudad de Juliaca, las cuales se encuentran en mal estado a consecuencia de la erosión por arrastre de materiales originadas por las inundaciones, de ahí la preocupación de obtener un concreto resistente y permeable, por lo que, se consideró importante realizar esta investigación con el propósito de evaluar la incidencia de la incorporación de fibras de vidrio en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable, teniendo en cuenta las principales características de la fibras de vidrio las cuales son: buena flexibilidad, resistente a los agentes químicos y a la intemperie. La



información generada será útil para el logro de un concreto permeable resistente, es decir que tenga la capacidad de redistribuir esfuerzos y ofrecer una mayor capacidad de carga para su aplicación en la ejecución de obras de pavimentos en la ciudad de Juliaca, brindando así una alternativa con la finalidad de disminuir los problemas de inundación y escorrentía.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

- Evaluar la influencia de fibras de vidrio en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable $f^c=175 \text{ kg/cm}^2$ empleado para pavimentos en la ciudad de Juliaca.

1.5.2 Objetivos específicos

- Evaluar la influencia de las fibras de vidrio en la resistencia a la compresión simple del concreto permeable $f^c=175 \text{ kg/cm}^2$.
- Evaluar la influencia de las fibras de vidrio en la resistencia a la flexión del concreto permeable $f^c=175 \text{ kg/cm}^2$.
- Evaluar la influencia de las fibras de vidrio en el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable $f^c=175 \text{ kg/cm}^2$.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes internacionales

Espinoza & Raquel (2018) en su investigación plantearon como objetivo de diseñar mezclas de concreto permeable para el uso en pavimentos que permitan un buen drenaje, utilizando agregados del banco de préstamo Veracruz, cemento portland y fibra de polipropileno, el nivel de la investigación fue de tipo descriptivo con enfoque experimental, en donde se diseñaron 7 mezclas de 15 especímenes cilíndricos y 15 especímenes prismáticos cada una con diferentes combinaciones de porcentajes de vacíos (18%, 20%) y relaciones agua/ cemento (0.32, 0.35, 0.38) para obtener el diseño base de mejor comportamiento, al diseño base se le adiciono dos tipos de fibra de polipropileno una de: 4 mm x 20 mm x 0.10 mm y la otra de: 2 mm x 10 mm x 0.10 mm en diferentes porcentajes con respecto al peso de la mezcla (0.075%,0.1%,0.2%) elaborando 6 mezclas de 15 especímenes cilíndricos y 15 especímenes prismáticos cada una. Los resultados indican que la incorporación de tiras de polipropileno de (2 mm x 10 mm) en un 0.075%, 0.1%, 0.2% disminuye la resistencia a la compresión promedio (a los 28 días) del mismo diseño sin tiras en un 2.4%, 4.9% y 8.4% respectivamente, mientras que, la incorporación de tiras de polipropileno (4 mm x 20 mm) en un 0.075%,0.1%,0.2% aumenta la resistencia a la compresión promedio a la edad de 28 días de curado en un 6.8%, 8.3%, 1.2% respectivamente, por ende, la tira de mejor comportamiento es la de 4 mm x 20 mm incorporada en un 0.1% con respecto al peso de la mezcla, así mismo, se observa que la incorporación de tiras no varía considerablemente en la permeabilidad del concreto permeable, concluyendo que la incorporación de tiras de polipropileno de 2 mm x 10 mm en el diseño de mezcla de un concreto permeable diseñado para pavimentos $f'c$ 196,10



kg/cm², no mejora las propiedades del mismo, específicamente su resistencia a la compresión y flexión. En lo que respecta a la incorporación de tiras de polipropileno de (4 mm x 20 mm) si mejora las propiedades de dicho diseño.

Méndez & Mosqueda (2016) realizaron su estudio con el propósito de evaluar la resistencia del concreto permeable para pavimentos, el tipo de investigación fue de tipo descriptiva con un enfoque cuasi experimental, para llevar a cabo los objetivos propuestos se elaboraron dos mezclas de concreto permeable con y sin agregados finos, para medir su resistencia a flexión y permeabilidad, con el fin de verificar su resistencia para que así se pueda utilizar en obras de construcción para infraestructura vial. La resistencia a la flexión se determinó a través de la norma COVENIN 343-79, mientras que la permeabilidad se calculó mediante la ley de Darcy construyendo un permeámetro de carga constante. Se utilizaron rangos establecidos por normas y además por investigaciones realizadas, donde los resultados de resistencia promedio a la flexión obtenidos fueron de 25,964 kg/cm² y 12,163 kg/cm², con y sin finos respectivamente, donde concluyen que los dos tipos de concreto permeable ensayados tanto sin finos como con finos presentan valores que no se encuentran entre los valores normativos de módulo de rotura establecidos por la guía para el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93, sin embargo se puede estudiar la posibilidad de que al implementar aditivos o fibra de algún material pudiera desarrollar una resistencia apta para ser usado en pavimentos de bajo tráfico.

En Colombia Rodriguez & Castañeda (2018) ejecutan su tesis con el fin de medir la variación de la permeabilidad de los concretos drenantes elaborados con agregados de TMN 1” y TMN ½” para luego compararlos con la intensidad de la lluvia registrada por el IDEAM y establecer la viabilidad de su uso en los pavimentos drenantes para la región del Alto Magdalena, se trata de una investigación experimental, por lo tanto, a través de



ensayos de laboratorio se logra una descripción cuantitativa de las propiedades mecánicas de las muestras tales como permeabilidad, porosidad y densidad relativa. Por medio del diseño e implementación de un prototipo a escala que permite realizar la medición de la permeabilidad, se busca resolver la pregunta de investigación, el diseño lo divide en tres pasos, el paso 1 consta de la elaboración de muestras el paso 2 consta de diseño de equipo de permeabilidad y por último el tercer paso trata de validación del equipo y medición de la permeabilidad la muestra empleada, en el procedimiento de análisis de datos selecciona 9 pavimentos drenantes elaborados con gravas de tamaño máximo nominal de 1", para luego medir tiempo de infiltración de las 9 muestras seleccionadas para que finalmente comparar la intensidad de lluvias vs la permeabilidad(k), de los resultados obtenidos de las nueve muestras medidas, la permeabilidad más baja registrada fue la de la muestra de gradación fina, tomada de la cantera de explotación sobre el río Magdalena, con un 21.43 cm/s, equivalente a 214 mm/s, comparada con la intensidad de la lluvia registrada por el IDEAM, para la región del Alto Magdalena en 250 mm/hora, equivalente a 4.16 mm/s, cumple satisfactoriamente. Por lo que se concluye que con cualquier fuente de agregados pétreos se pueden diseñar y construir pavimentos drenantes que satisfagan las necesidades de precipitación de la Región del Alto Magdalena, sin generar problemas de inundación.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Escalante (2019) ejecuta su tesis con el objetivo de estudiar la comparación de la resistencia a la compresión y la permeabilidad del concreto poroso con el uso de fibras de vidrio (0.025%, 0.075% y 0.125%) con respecto a un concreto poroso con el uso de agregado fino (7.5%, 10% y 12.5%), la investigación se ajusta a ser de tipo aplicativo y a emplear el diseño experimental. Se hicieron 6 diseños de mezcla, 3 diseños para cada proporción de fibra de vidrio y 3 diseños para 1 porcentaje diferente de incorporación de arena, la porosidad del concreto permeable fue de 15%, con relación agua cemento (a/c)



de 0.35, con un asentamiento de 0", con pasta de 28% y se uso agregado grueso n° 8. Obteniendo como resultados que la resistencia a la compresión del concreto poroso con adición de fibras de vidrio en 0.025%, 0.075 y 0.125 fueron de 175.01 kg/cm², 178.62 kg/cm² y 180.32 kg/cm² respectivamente, en cuanto a la permeabilidad del concreto poroso con adición de fibras de vidrio con 0.025%, 0.075% y 0.125% le corresponde los resultados de coeficiente de permeabilidad de 1.22 cm/s, 1.14 cm/s y 1.11 cm/s respectivamente, concluyendo que la adición de fibra en 0.125 % tiene mejores resultados de mejora en la resistencia compresión, para el ensayo de permeabilidad esta disminuye progresivamente con respecto a la adición de fibras de vidrio.

Perez (2017) realizó su estudio con el propósito de determinar la influencia de la granulometría del agregado grueso en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, se trata de un diseño cuasi experimental, las propiedades evaluadas en este trabajo son la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y permeabilidad, parámetros considerados de mayor relevancia en este tipo de concretos. Se seleccionaron 3 tamaños de agregado, de 1/2", de 3/8" y n°4, para llevar a cabo este trabajo se realizaron 3 diseños de mezcla con los mismos datos de diseño, relación a/c de 0.35, 15% de vacíos, 8% de agregado fino y 25.2% de volumen de pasta en función al método ACI – 522, seguidamente, se hizo los ensayos para calcular la resistencia mecánica, permeabilidad, contenido de vacíos y densidad del concreto permeable, los cuales permitieron evaluar e identificar el comportamiento de las tres variedades de árido. De los resultados obtenidos, se identificó que el concreto permeable con tamaño de agregado n° 4 obtuvo la mayor resistencia a compresión y flexión de 209.68 kg/cm² y 33.81 kg/cm² respectivamente, en cuanto a la permeabilidad, el concreto permeable elaborado con agregado de 3/8" fue la que presento una mayor tasa de infiltración el cual fue de 0.222 cm/s.



Leon (2018) llevó a cabo su estudio con la intención de proponer una alternativa para reducir la escorrentía superficial de las precipitaciones pluviales en las vías del distrito del Tambo-Huancayo, en cuanto a la metodología la presente investigación contrasta la capacidad de absorción del concreto permeable de relación a/c 0.27, 0.28 y 0.34 frente a las intensidades promedio de precipitaciones pluviales del distrito El Tambo - Huancayo. Para lograrlo, se recolectó base de datos de la estación pluviométrica de Santa Ana, la cual es administrada por el SENAMHI, así mismo se construyó un equipo que tiene la capacidad de medir la absorción del concreto permeable, la muestra fue de 45 probetas de concreto de 4" x 8", de las cuales 36 probetas se utilizaron para ensayos de compresión y los 9 restantes para los ensayos de permeabilidad.

Finalmente, los resultados obtenidos muestran que el concreto diseñado con relación a/c 0.27, 0.28 y 0.34 neutralizan las lluvias del distrito el Tambo- Huancayo, ya que la capacidad de absorción del concreto varía de 18.78 l/s a 27.48 l/s por m², mientras que la intensidad de lluvia promedio del distrito El Tambo es de 5.18 mm que equivalen a 5.18 l/m², por lo que, se concluyó que la capacidad de absorción supera con amplia ventaja la intensidad de lluvias y adicionalmente sería una alternativa para reducir la escorrentía superficial y evitar erosión o desgaste del pavimento rígido permeable.

2.1.3 Antecedentes locales

García (2017) evalúa la resistencia a la compresión del concreto normal $f'c=210$ kg/cm² con la adición de fibras de vidrio y costo de producción, la investigación es de tipo aplicativo con un diseño experimental de la resistencia a la compresión del concreto reforzado con fibras de vidrio, enfatizando que tiene como propósito de conocer el efecto de las inclusiones de fibra en 0.025%, 0.075% y 0.125% con respecto al peso de los materiales en el concreto normal para las edades de 7, 14 y 28 días de curado respectivamente. Los resultados indican que la resistencia a la compresión incrementa en



6.65%, 2.26% y 1.26% incorporando fibra de vidrio en 0.025%, 0.075% y 0.125% respectivamente, y el costo de producción disminuye en 2.94% con 0.025% de fibra de vidrio, concluyendo que la incorporación fibras de vidrio en porcentajes de 0.025%, 0.075% y 0.125% aumenta la resistencia a la compresión con respecto al concreto normal en todos los grupos de control y el costo de producción disminuye.

Guerra (2019) desarrolló su investigación con el propósito de lograr el diseño de la estructura de un pavimento rígido permeable, con agregados de la cantera Isla, que alcancen un drenaje bueno según la guía AASHTO y un comportamiento mecánico adecuado en las vías de la Villa Chullunquiani en el sector nor-oeste de la ciudad de Juliaca, el tipo de investigación fue aplicada con un diseño pre- experimental. Se realizaron tres diseños de mezcla adicionando tiras de polipropileno. El diseño de mezcla óptimo (0.05% de polipropileno) obtuvo como resultados mecánicos: a los 28 días, una resistencia a la compresión del concreto de 196.95 kg/cm², módulo de rotura 31.74 kg/cm² y como resultado hidráulico se logró una permeabilidad de 0.463 cm/s. Para dimensionar la estructura del pavimento se consideró los criterios vigentes de la guía de diseño. Concluyendo que el pavimento rígido permeable es una alternativa con aplicación eficiente en la evacuación del agua de lluvia y cumple los requerimientos estructurales, para un bajo tránsito vehicular.

Flores & Pacompia (2015) ejecutó su estudio con la finalidad de evaluar la incidencia que tiene la incorporación de tiras de plástico en las propiedades del concreto permeable $f'c$ 175 kg/cm² en la ciudad de Puno, la investigación fue de tipo aplicativo con un enfoque explicativo – de diseño cuasi experimental, donde se consideraron dos diseños de mezclas (los cuales difieren en el tamaño del agregado grueso empleado en su diseño), en busca de las mejores características, como mayores valores de resistencia a la compresión y permeabilidades adecuadas. En el primer diseño se usó el agregado grueso



n° 57 extraída de la cantera Cutimbo (con un T.M. de 1”); en el segundo diseño se usó el agregado grueso n°8, cuyo tamaño de árido es recomendada por el ACI para conseguir mayor resistencia a la compresión en el hormigón permeable. Los resultados indican que el concreto permeable elaborado con la granulometría normalizada (tamaño estándar N° 8) es idónea para la incorporación de tiras de polipropileno de 3 mm x 30 mm en porcentajes de (0.05%, 0.10% y 0.15%) con respecto a su peso del diseño de mezclas por metro cúbico, determinando que la adición de fibras en 0.05% y 0.10% respecto al peso incrementan la resistencia a la compresión a los 28 días en 16.7% y 4.2% respectivamente, por otro lado la adición de fibra en 0.15% disminuye la resistencia a la compresión en 10.7%. Concluyendo que la adición de fibras de polipropileno (3 mm x 30 mm) en el diseño de mezcla del concreto, mejora parcialmente las propiedades del mismo, específicamente su resistencia a la compresión.



2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 El concreto

Material formado por la mezcla de proporciones de cemento, agua, agregados y posiblemente aditivos, inicialmente muestra una consistencia plástica y moldeable, posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, convirtiéndolo en el material ideal para la construcción. (Pasquel, 1998, p.11)

El material de construcción extensamente usado en la industria de la construcción es el concreto, que se hace generalmente mezclando cemento portland con arena, piedra triturada y agua. (Metha & Monteiro, 1998, p.1)

2.2.2 Concreto permeable o poroso

Se refiere una estructura abierta sin revestimiento, que consiste en cemento portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivos y agua. La combinación de estos componentes muestra como resultado un material en estado sólido con orificios de conexión que varían en tamaño de 2 a 8 mm, tamaño para permitir que el agua se filtre con gran facilidad. El contenido de vacíos oscila entre el 15 % a 35%, con una resistencia a la compresión típica de 2,8 a 28 MPa. La tasa de filtración del concreto poroso varía con el tamaño del agregado y la unidad de masa de la mezcla, pero generalmente se espera que esté entre 0,14 y 1,22 cm/s. (Aire, 2018, p.1)

En la figura 1 se puede observar el comportamiento del concreto permeable frente a la acumulación de agua en su superficie.

Figura 1

Permeabilidad del concreto poroso



Fuente: Obtenido de (Aire, 2018,p.1)

2.2.2.1 Aplicaciones

Según Porras (2017) esta tecnología no es nueva, sin embargo, recientemente ha ido ganando un interés, entre sus usos más habituales se encuentran:

- Pavimentos de bajo volumen de tránsito
- Caminos residenciales, callejones y entradas para vehículos
- Parqueos – zonas de estacionamiento para vehículos.
- Ciclovías
- Sub base para pavimentos de concreto convencional
- Patios
- Drenajes en bordes del pavimento (Porras, 2017, p. 14)

En la figura 2 y 3 se muestran las aplicaciones en zonas de estacionamiento o parqueo.

Figura 2

Concreto poroso en parqueos o zonas de estacionamiento



Fuente : “ concreto permeable o concreto poroso “ (Euclid group, 2017) pág. 3

Figura 3

Concreto poroso en parqueaderos - estacionamientos



Fuente : Obtenido de (Euclid group, 2017) pág. 3



2.2.2.2 *Ventajas y desventajas del concreto permeable*

a) Ventajas

- Permite el manejo de las aguas pluviales al mismo tiempo que provee una infraestructura durable necesaria para el desarrollo.(Flores & Pacompia, 2015, p.33)
- La capacidad de filtrar el agua es gracias a su estructura porosa, es una solución para problemas de escorrentía superficial, el cual no ocurre con otras superficies impermeables como en el caso del pavimento rígido convencional.
- En su totalidad los concretos, incluido el concreto permeable es de color claro, con una alta capacidad de absorción de calor, un fenómeno asociado a la urbanización y edificación que tiende a atraer y retener el calor. (Aire, 2018, p.6)

b) Desventajas

- Posee una menor resistencia al desgaste que el concreto convencional, por lo que solo debe aplicarse en zonas de tráfico ligero. (Flores & Pacompia, 2015)
- Pérdida de su permeabilidad con el paso del tiempo al saturarse en los espacios vacíos con material fino (material contaminante). Por lo que es imprescindible el mantenimiento del mismo, a base de agua a presión.
- Debido a su armadura porosa, consiguen incluir residuos selectos, que son retenidos y adsorbidos, y no consiguen continuar transportándose a través del territorio contaminando las aguas subterráneas. (Ramos, 2019, p.15)



2.2.2.3 Componentes del concreto permeable

A. Cemento

El cemento portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida. Esencialmente es un Clinker, finalmente molido, producido por la cocción a elevadas temperaturas de mezclas que contienen cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones determinadas.(Abanto, 2009, p.15)

Metha & Monteiro (1998) menciona que “el cemento es un material finamente pulverizado que desarrolla la propiedad conglomerante como resultado de la hidratación, es decir, por las reacciones químicas entre los minerales del cemento y el agua”. (p. 4)

B. Agregados

Se define como el conjunto de todas las partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyo tamaño se encuentre dentro de los límites especificados en la NTP 400.011. El árido es la fase discontinua del hormigón y es el material incrustado en la pasta y ocupa unos 75% del volumen de una unidad cúbica de hormigón. (Torre, 2004, p.43)

- Agregado fino

Es el agregado resultante de la descomposición natural o artificial que pasa por el tamiz 3/8” (9,5 mm) y cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037.(López, 1992, p.18)

Sin embargo, el Manual de Ensayo de Materiales (MTC E 204 – 2000), indica que el agregado fino es el material pasante por el tamiz N°4 (4,75 mm). Por lo tanto, en esta investigación se utilizó el tamiz número N°4 para separar los agregados finos.



- Agregado grueso

Es el material retenido en el tamiz NTP 4.75 mm (N° 4) y cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.037". (Lopez, 1992, p.21)

Características físicas

- Peso específico

Es la relación de peso de las partículas y el volumen de las mismas, independientemente de los espacios que existe entre ellas. Las especificaciones ASTM C-127 y C-128 establecen procedimientos estandarizados para su cálculo en laboratorio.

- Peso unitario

Es el cociente que divide el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas, está influenciado por la manera en que se acomodan éstas, lo que se convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo. La Norma ASTM C-29, define el método estándar para evaluarlo, en la condición de acomodo de las partículas luego de compactarlas en un molde metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de 5/8" en 3 capas. (Pasquel, 1998, p.74)

Características resistentes

- Resistencia a la Abrasión

La prueba de los ángeles (Abrasión) según norma NTP 400.019; cuantifica la pérdida por desgaste de los agregados, la cantidad de finos que se originan como resultado de someter un conjunto de partículas de grava, a los efectos combinados del impacto y la



abrasión producidos por una carga de esferas metálicas dentro de un cilindro giratorio, al cabo de un número de revoluciones.

La capacidad de un agregado grueso para resistir la abrasión, el aplastamiento o la fragmentación de partículas debido al desgaste es una propiedad que a menudo se considera un indicador general de calidad, particularmente en la producción de concreto.

Agregados con altos valores de desgaste a la abrasión (> 50 %) producen concretos con características resistentes inadecuadas en la mayoría de casos. (Arapa & Mamani, 2018, p.48)

$$\% \text{ Desgaste} = 100 * \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}}$$

Formas del agregado

Las características superficiales y externas de los agregados son muy importantes desde el punto de vista de la influencia que podrían tener en la resistencia final del concreto y en la trabajabilidad de la mezcla. (Porras, 2017, p.5)

- **Redondeada:** Completamente desgastada por el agua o totalmente formada por fricción.
- **Irregular:** Irregulares por naturaleza, parcialmente formados por fricción o con bordes redondeados
- **Angular:** Con bordes bien definidos, formados en las intersecciones de caras aproximadamente planas.(Porras, 2017, p.5)

C. Agua

Según la norma E. 060 de concreto armado del Reglamento Nacional de Edificaciones, el agua de preferencia debe ser potable, libre de cantidades perjudiciales



de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser dañinas al concreto.

Se puede utilizar agua potable para preparar el concreto, sin embargo, también se pueden utilizar ciertos tipos de agua no potable si cumplen determinados requisitos, a menudo utilizamos agua no potable, especialmente al realizar trabajos de manipulación en las afueras de las ciudades. (Torre, 2004, p.29)

2.2.2.4 Propiedades del concreto permeable

Propiedades en estado fresco

a) Trabajabilidad

Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación. A la fecha no existe evidencia para cuantificar esta propiedad, la cual es comúnmente encontrada en pruebas de consistencia en la tabla N°1 mostramos los tipos de trabajabilidad. (Abanto, 2009, p.47)

b) Consistencia

Denominamos consistencia a la mayor o menor facilidad que tiene el concreto fresco para adaptarse a una forma específica. la consistencia depende de:

- Agua de amasado.
- Tamaño máximo del agregado.
- La forma de los agregados influye mucho en el método de compactación. (Torre, 2004)

La trabajabilidad depende de los resultados de la consistencia que presenta la mezcla, mostrados en la tabla 1.

Tabla 1

Clases de mezclas según su asentamiento

Consistencia	Slump	Trabajabilidad	Método de compactación
Seca	0 a 2"	Poco trabajable	Vibración Normal
Plástica	3 a 4"	Trabajable	Vibración Ligera
Fluida	Mayor a 5"	Muy trabajable	Chuseado

Fuente: Flavio Abanto castillo, "Tecnología del concreto" pág. 49

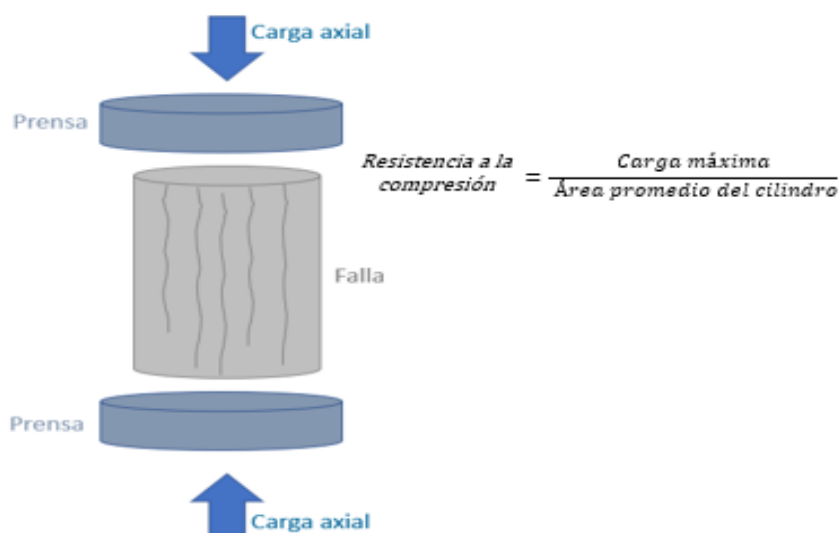
Propiedades en estado endurecido

A. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi) tal como se muestra en la figura 4. (Cemex, 2019)

Figura 4

Cilindro de concreto sometido a compresión



Fuente :Tomada de la página web: (Antunez, 2019)<https://alion.com.co/calidad-y-propiedades-del-concreto/>



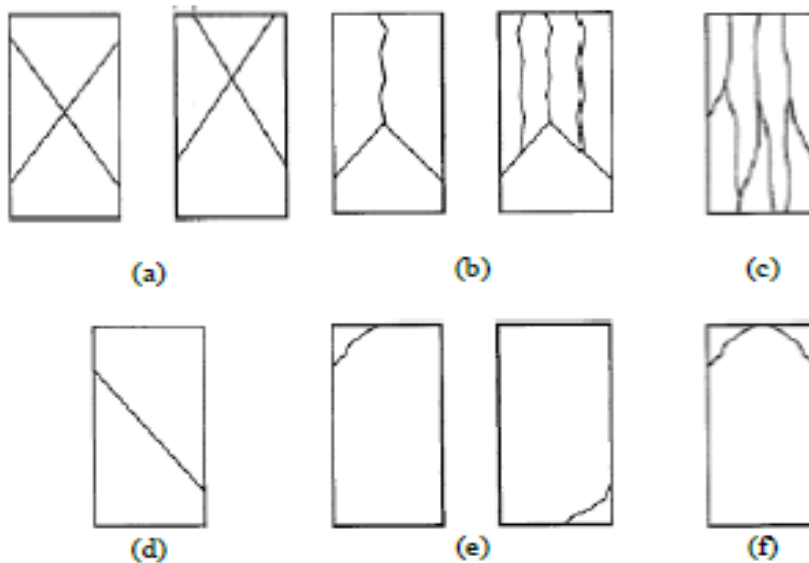
Normalmente se la cuantifica a los 28 días de vaciado el concreto, pero cuando se emplean cementos especiales, pueden especificarse tiempos menores o mayores a 28 días. (Torre, 2004, p.84)

La resistencia a la compresión del concreto f_c es el parámetro de referencia más utilizado en el diseño estructural y la tecnología del concreto para demostrar las características resistentes y de calidad. Muchas veces existen tergiversaciones con respecto a estas condiciones controladas, por desconocimiento de la base estadística de estos conceptos suponiéndose en ocasiones que el muestreo y la obtención de probetas con los métodos estandarizados, el curado a 100% de humedad y 21 °C de temperatura constantes que fijan las normas, y el ensayo a cierta velocidad de carga con la preparación previa de las superficies de los testigos tienden a "favorecer" los resultados pues no reflejan la "realidad" de la obra, dándose ciertos casos en que se exige el apartarse de estos procedimientos estandarizados, que son "más representativos" del concreto in-situ. (Pasquel, 1998, p.146)

En la figura 5 se muestran los tipos de fractura que pueden presentarse en el ensayo a compresión simple del concreto, las cuales son:

Figura 5

Tipos de falla de cilindros de pruebas estándar



Fuente: Adaptada de la norma ASTM C- 39

Donde:

- a. Conos bien formados en ambos extremos.
- b. Cono bien formado en un extremo con grietas verticales.
- c. Grietas columnares y conos mal formados.
- d. Fractura diagonal, sin grietas
- e. Fracturas laterales en la parte superior o inferior.
- f. Fracturas laterales en la parte superior.

Las pruebas de resistencia a la compresión se realizan a través del ensayo de un cilindro estándar, donde la altura siempre deber ser el doble del diámetro. La resistencia a la compresión (f^c) se define como la resistencia promedio de al menos 2 probetas tomadas de la misma muestra ensayada a la edad de 28 días. Este procedimiento se detalla en las normas ASTM C-192-90 a y C-39-93.

Actualmente, la norma ASTM C-39-93 permite el uso de resultados de pruebas de compresión de muestras no estándar siempre que se les aplique un factor de corrección. Mostradas en la tabla 2.

Tabla 2

Factores de corrección de resistencia para diferentes relaciones h/d.

Relación h/d	2.00	1.75	1.50	1.25	1.10	1.00	0.75	0.50
A	1.00	0.98	0.96	0.93	0.90	0.87	0.70	0.50
B	1.00	1.02	1.04	1.06	1.11	1.18	1.43	2.00

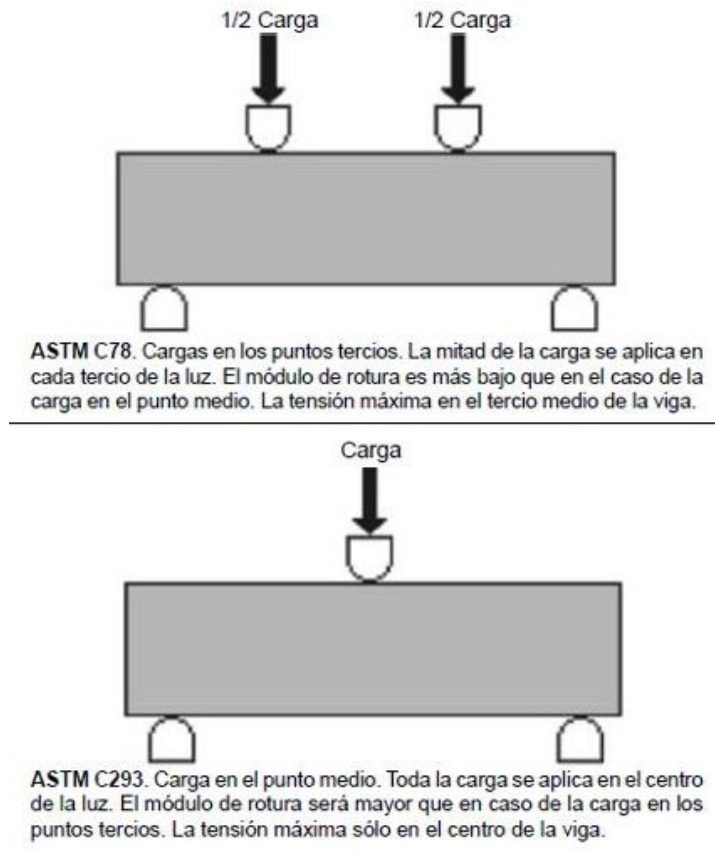
Fuente: Obtenido de la Norma ASTM C-39-93 a

B. Resistencia a la flexión

Es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Una medida del momento resistente de una viga o losa de hormigón no reforzado. Se mide aplicando una carga a una viga de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y una luz mínima de tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio), tal como se puede apreciar en la figura 6. (Antunez, 2019, p.7)

Figura 6

Ensayo de resistencia a la flexión



Fuente : Obtenido de (Antunez, 2019, p.8)

Generalmente su valor corresponde a 10% -15% de la resistencia en compresión del concreto de un determinado f'_c , esta propiedad nos sirve para diseñar estructuras que estarán cargadas y en el que es muy importante conocer esta propiedad. (Torre, 2004, p.85)

C. Permeabilidad del concreto poroso

Es la capacidad de un cuerpo que deja pasar un líquido a través del mismo, sin afectar el orden estructural o su composición al paso por el compuesto, un ejemplo claro sería el aire o la luz. Al ver esta cualidad al material se puede deducir que su estructura presenta poros los cuales están conectados entre sí dejando pasar un elemento a través de él. (Pomalaza, 2021, p.41)

En la figura 7 se muestra la capacidad del concreto permeable para disipar el agua de las lluvias.

Figura 7

Capacidad del concreto permeable de percolación de aguas lluvias



Fuente: Obtenido de (Rodríguez & Castañeda, 2018, p.41)

La permeabilidad también depende mucho del agua de mezclado que se utiliza porque un exceso de agua nos provocaría que la pasta sea más fluida y taparía los vacíos que se genera entre los agregados, sin embargo la falta de agua de mezclado provocaría una pobre adherencia entre la pasta y el agregado el cual se reflejaría en la baja de las resistencias a tensión y un deterioro del concreto.(Álvarez, 2016, p.5)

Según el ACI- 522R el “Reporte sobre el concreto permeable”, el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable normalmente se encuentra en el rango de 0.14 a 1.22 cm/s. La permeabilidad del concreto permeable se puede medir a través del ensayo “Permeámetro de carga variable” cuyo modelo se puede observar en la figura N° 8. ensayo recomendado por ACI-522R-10, el cual permite conocer el parámetro de coeficiente de permeabilidad en milímetros por segundo (mm s⁻¹) a través de la ley de Darcy:

$$k = \frac{L}{A} \times \frac{a}{A} \times \ln \frac{h_1}{h_2}$$

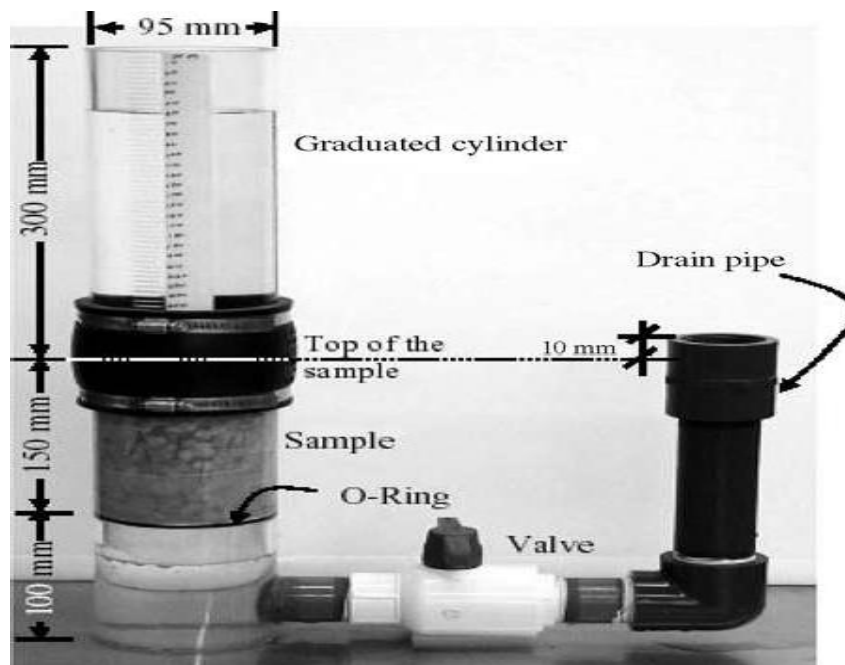
Donde:

- **K**: Coeficiente de permeabilidad (cm/s).
- **L**: Longitud de la muestra (cm).
- **A**: Área de la muestra (cm²).
- **a**: Área de la tubería de carga (cm²).
- **t**: Tiempo en demora en pasar de *h1* a *h2* (s).
- **h1**: Altura de la columna de agua medida del nivel de referencia (cm).
- **h2**: Altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia (1cm).

La figura 8 muestra el permeámetro recomendado por la norma ACI-522R, que será utilizada para el ensayo de permeabilidad en el presente trabajo de investigación.

Figura 8

Permeámetro de carga variable para la medición de la permeabilidad del concreto



Fuente: Obtenido de la norma (ACI-522R, 2010)“Reporte del concreto permeable”

2.2.3 Aspecto hidrológico

La hidrología urbana es la ciencia interdisciplinaria del agua y su interacción con la ciudad: debido a la cantidad de áreas impermeables, tales como vías, se han generado una serie de problemas relacionados con el drenaje y en consecuencia esta ciencia busca entender y solucionar dichos problemas. (Polanco & Sanchez, 2012, p.5)

- **Precipitación**

Según Villon (2002) la precipitación es toda forma de humedad que originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo, de acuerdo a esta definición la precipitación puede ser en forma de:

- Lluvias
- Granizadas
- Nevadas

a) **Factores de la precipitación**

Una precipitación o tormenta puede durar desde unos pocos minutos hasta varias horas y aún más días, puede abarcar desde una zona pequeña hasta una extensa región. (Jimenez, 2019, p.52)

Según Villon (2002) durante el análisis de tormentas hay que considerar:

- **La intensidad.** - Se refiere a la cuantía de agua que cae en un determinado tiempo, interpretándose de la siguiente manera, $i_{max} = P/t$
- **La duración (d).** - Corresponde al tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la tormenta, aquí conviene definir el periodo de duración que es un determinado periodo de tiempo tomado en minutos u horas, dentro del total que dura la tormenta. (Villon, 2002, p.87)



- **La frecuencia.-** Es el número de veces que se repite una tormenta de características de intensidad y duración definidas en un periodo de tiempo más o menos largo, tomado generalmente en años (Villon, 2002, p.87).

b) Medición de la precipitación

La precipitación se mide en términos de altura de lámina de agua (hp), y se expresa comúnmente en milímetros (mm). Esta altura de lámina de agua, indica la altura del agua que se acumularía en una superficie horizontal; si la precipitación permaneciera donde cayó. (Villon, 2002, p.73)

La base del dispositivo de medición está expuesto a la intemperie, abierto en su parte superior, en el que se recoge el agua de lluvia u otras precipitaciones, cuya altura es fija.

- Pluviómetro

Es un instrumento cilíndrico con un diámetro de aproximadamente 0,20 m y una altura de 0,60 m. La tapa tiene forma de embudo y actúa como receptor en contacto con la muestra, con una sección 10 veces menor que la tapa. Lo cual permite medir la lluvia con aproximaciones de hasta décimas de milímetro, usualmente las lecturas se realizan diariamente. (Villon, 2002, p.74)

Figura 9

Pluviógrafo



Fuente: obtenido de: <https://www.tutiempo.net/meteorologia/articulos/pluviometro-y-pluviografo.html>

La información hidrológica utilizada fue proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), los datos corresponden a los de la estación meteorológica de la ciudad de Juliaca obtenida para esta investigación, por lo que, se adoptan como representativos para evaluar si el concreto permeable diseñado es capaz de disipar las precipitaciones, el cual se mostrará en los resultados de permeabilidad del concreto.

- Escorrentía

Villon (2002) “Es agua que escurre por la superficie del suelo, producto de la precipitación no infiltrada. Este efecto se genera durante una tormenta o una vez que esta concluya” (p.136)

2.2.4 Fibra de vidrio

Son los más utilizados como refuerzo en composiciones aplicados a la construcción, principalmente por la excelente relación entre sus propiedades y precios. (Olivares Santiago et al., 2003, p.50)

La fibra de vidrio se fabrica con las mismas materias primas que el vidrio: sílice, cal, alúmina y magnesita, a las que se añaden determinados óxidos en porcentajes muy estrictos, según el tipo de fibra obtenida. Todos estos componentes se mezclan y muelen hasta obtener una mezcla homogénea, el cual se lleva a un horno de fusión a una temperatura de 1550° C, donde la mezcla pasa gradualmente a estado líquido. El vidrio en estado líquido pasa a través de cientos de agujeros de 1-2 mm. de diámetro, su salida es estirada mecánicamente hasta obtener fibras de 5 a 2 micras dependiendo de la aplicación.

Estas fibras luego se recubren con un compuesto dispersable en agua, generalmente orgánico, una operación llamada "ensimaje" que asegura su protección y fusión entre las fibras. Las fibras una vez recubiertas, se combinan para formar hilos que finalmente reciben un acabado de tela o plástico tal como se observa en la figura 10 (Garcia, 2017, p.21)

Figura 10

Fibra de vidrio



Fuente: Obtenido de la página web “<https://www.ahinconegocios.com/?product=fibra-de-vidrio-mat-450>”



Según Olivares (2003) las principales características de estas fibras son las siguientes:

- Buenas resistencias mecánicas.
- Baja densidad.
- Incombustibilidad.
- Estabilidad dimensional.
- Resistente a la humedad
- Buena flexibilidad.
- Bajo costo.
- Buena resistencia a agentes químicos.

Considerando las fibras comerciales en el Perú y según Olivares (2003) los tipos de fibras de vidrio son:

Fibra de vidrio E: Es el más utilizado porque representa el 90% de los refuerzos utilizados en composición, también es el más utilizado en la industria textil.

Fibra de vidrio R: Cuenta con una alta resistencia mecánica, con una resistencia a la tracción y un módulo de elasticidad muy superior a otros tipos de vidrio. Se utiliza principalmente en los campos de la aviación y armamento en general cuando se requieren materiales con alta resistencia a la fatiga, temperatura y humedad.

Fibra de vidrio D: Posee altas propiedades dieléctricas, por lo que se recomienda su uso en la fabricación de materiales electrónicos y de comunicación a su vez es un material capaz de absorber ondas electromagnéticas. Se utiliza en la fabricación de radares y ventanas electromagnéticas.(Olivares Santiago et al., 2003, p.52)

En la tabla 3 se muestra las propiedades de la fibra de vidrio más comerciales en el Perú.

Tabla 3

Propiedades mecánicas de la fibra de vidrio

Descripción	Vidrio E	Vidrio D	Vidrio R
Densidad (g/cm ³)	2.6	2.14	2.56
Resistencia a la tensión (Mpa)	3400	2500	4400
Modulo elástico (Mpa)	72	55	86
Resistencia a la ruptura (%)	4.5	4.5	5.2

Fuente: Obtenido de (B. Garcia, 2017,p.22)

2.2.4.1 Ventajas y desventajas de la fibra de vidrio

a) Ventajas

- Ligeros, ya que su densidad oscila entre 0,9 y 2,98 g/cm³. Esto también crea ventajas derivadas del bajo peso que tendrán los elementos prefabricados con estos productos, facilidad de transporte, facilidad de manipulación y montaje.
- Su excelente resistencia a la corrosión ambiental lo hace muy adecuado para aplicaciones costeras y marinas. Prácticamente no necesita un mantenimiento.
- Uno de sus atributos principales son sus altas propiedades mecánicas en términos de tensión, compresión, flexión, cortante e impacto. (Olivares Santiago, 2003, p.54)



b) Desventajas

- La falta de comprensión acerca de los materiales compuestos se debe en gran medida a la falta de capacitación de los posibles técnicos y aplicadores, así como a la falta general de información sobre sus propiedades y aplicabilidad.
- Sin uso ni especificaciones técnicas, genera incertidumbre para su diseño y cálculo.
- Baja resistencia al calor, sin embargo, se puede minimizar usando los componentes y aditivos correctos (Olivares Santiago, 2003, p.55).

2.2.5 Pavimento permeable

Es un tipo especial de pavimento, que gracias a su diseño permite la infiltración del agua por medio de su estructura y el almacenamiento temporal de la misma en la subbase, para su posterior disposición o infiltración en el terreno (Guerra, 2019, p.27).

2.2.5.1 *Uso y función*

- Los pavimentos drenantes son utilizados en áreas de circulación peatonal, espacios deportivos, estacionamientos, ciclovías, drenes longitudinales y laterales.
- Al igual que el hormigón tradicional, puede reciclarse, triturándose para su empleo como árido en bases de hormigón compactado y en la construcción de un nuevo pavimento.
- Puede aplicarse en superficies continuas y discontinuas como pieza prefabricada (pastelones, adoquines) e incluirse pigmentos de color (Minvu, 2018).



2.2.5.2 Ventajas y desventajas del Pavimento permeable

a) Ventajas

- Permite el drenaje y la captación de agua de lluvia, evitando la escorrentía superficial y la erosión ambiental. Reduce el caudal máximo de agua de lluvia.
- Previene la formación de charcas superficiales y contribuye a un mejor aprovechamiento del agua, un recurso cada vez más escaso.
- Al ser poroso, se reduce la conductividad, reduciendo el efecto "isla de calor".
(Minvu, 2018, p.85)

b) Desventajas

- No se sugiere en lugares con ciclos de hielo y deshielo, así como en zonas áridas o con altos niveles de erosión eólica.
- No aplicable en áreas donde haya arrastre de sedimentos o con alta contaminación.
- Sin el mantenimiento adecuado, las malas hierbas o los bloqueos pueden presentarse con el tiempo.
- Es muy sensible a desprendimientos, todo dependerá de aplicar un buen curado durante la fase de construcción.

2.2.5.3 Estructura del pavimento permeable

Para completar la estructura de un pavimento permeable, debe contemplarse el siguiente conjunto de capas:

- Capa de transición
- Sub Base



- Geomembrana (Impermeabilizante)
- Sub rasante

A. Capa de transición

Una capa de material granular fino, la granulometría de la capa de transición debe permitir el flujo vertical del agua y a la vez garantizar la estabilidad del pavimento, debe buscarse un material granular fino que este dentro del rango de 2 mm a 6 mm. (Castro, 2011, p.45)

B. Sub base

La granulometría de la sub-base debe garantizar la estabilidad del pavimento mediante la trabazón de agregados, tanto en estado seco como condición de humedad total, se recomiendan los agregados triturados con formas angulares e irregulares, no los redondeados. Debido a que este material también será usado para el almacenamiento, este debe ser resistente ante la presencia de agentes químicos que puedan venir disueltos en el agua y así evitar su meteorización y la pérdida de cohesión al interior de los pavimentos, se recomienda el uso de granito, basalto o gabro. (Castro, 2011, p.45)

C. Membrana impermeable

En el caso de retención completa, para el aprovechamiento de agua de lluvia, en la subrasante, se debe instalar una membrana impermeable de polietileno que detenga el agua dentro de la zona de almacenamiento, el calibre debe ser calculado de acuerdo a la carga aplicada y a la resistencia al punzonamiento, el fabricante deberá proveer esta información. (Castro, 2011, p.47), tal y como se puede apreciar en la figura 13.



D. Sub rasante (Suelo natural)

Dado que la uniformidad del soporte del subsuelo es fundamental para el comportamiento de los pavimentos, esta debe garantizarse en esta capa, tanto en condiciones secas como húmedas. El diseño adecuado del pavimento de concreto permeable provee estos requisitos, especialmente cuando se expone al agua. Sin embargo, los problemas en el soporte de la sub- rasante pueden resultar de la presencia de limos y/o arcillas, los cuales son altamente compresibles y tienen poca cohesión o se expanden en condiciones húmedas (Quiroz & Trujillo, 2013, p.62).

- Tipo de suelo en la ciudad de Juliaca

Según el Plan director de Juliaca (2015) existen 5 zonas, en donde los suelos generalmente están compuestos de arenas, arcillas y limos arcillosos, esto se detalla en los planos del anexo 10.

Permeabilidad del suelo

Es la facilidad o dificultad que tiene un suelo de permitir que lo atraviese el agua a través de sus vacíos. Esto permite clasificar los suelos en permeables e impermeables, la permeabilidad está influenciada por el tamaño de las partículas y la estructura del suelo. (Alfaro & Mora, 2014, p.17)

En la tabla 4 se muestra los valores y tipos de permeabilidad para los diferentes suelos:

Tabla 4

Permeabilidad para diferentes tipos de suelos

Tipo de suelo	Grado relativo de permeabilidad	Coefficiente de permeabilidad k (cm/s)	Propiedad de drenaje
Grava limpia	Alto	1×10^{-1}	Buena
Arena limpia	Medio	1×10^{-3}	Buena
Grava arenosa	Medio	1×10^{-3}	Buena
Arena fina	Bajo	1×10^{-3} a 1×10^{-5}	Franca a pobre
Limos	Bajo	1×10^{-3} a 1×10^{-5}	Franca a pobre
Arena limo arcilloso	Muy bajo	1×10^{-4} a 1×10^{-7}	Pobre o prácticamente imperceptible
Arena homogénea	Muy bajo	$< 1 \times 10^{-7}$	Prácticamente imperceptible

Fuente: Adaptado de (Alfaro & Mora, 2014, p.17)

De acuerdo a la tabla 4 los suelos de la ciudad de Juliaca presentan una permeabilidad franca a pobre o prácticamente imperceptible, por lo tanto, causaría saturaciones en las capas del pavimento, es por esto que se dan 3 alternativas de pavimentos.

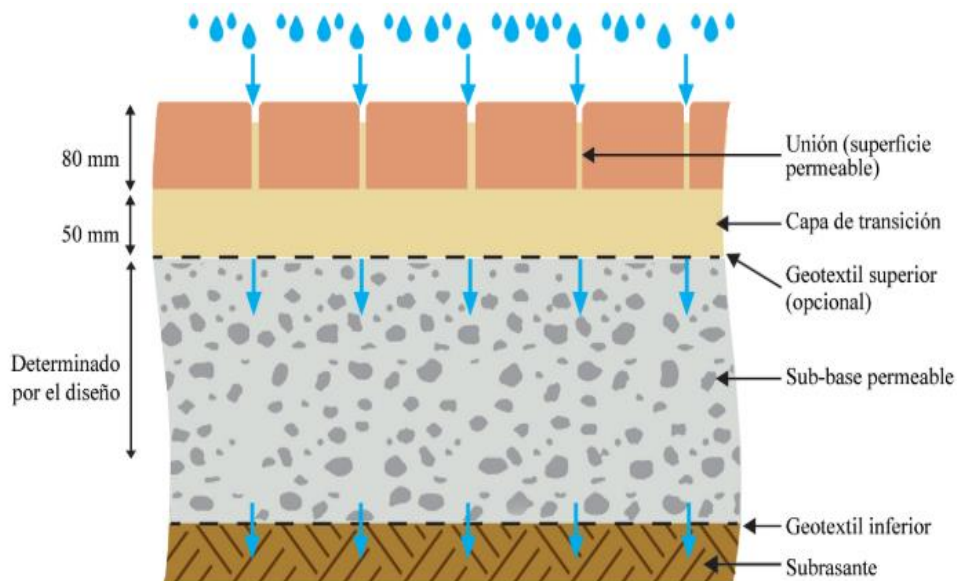
E. Tipos de pavimentos según la permeabilidad

Según Cárdenas & Rodríguez (2017) nos presenta 3 tipos de pavimentos, tales pavimentos se muestran en las figuras 11, 12 y 13.

- a) Estructura del pavimento permeable de total infiltración.
- b) Estructura del pavimento permeable de infiltración parcial.
- c) Estructura del pavimento permeable de infiltración 0

Figura 11

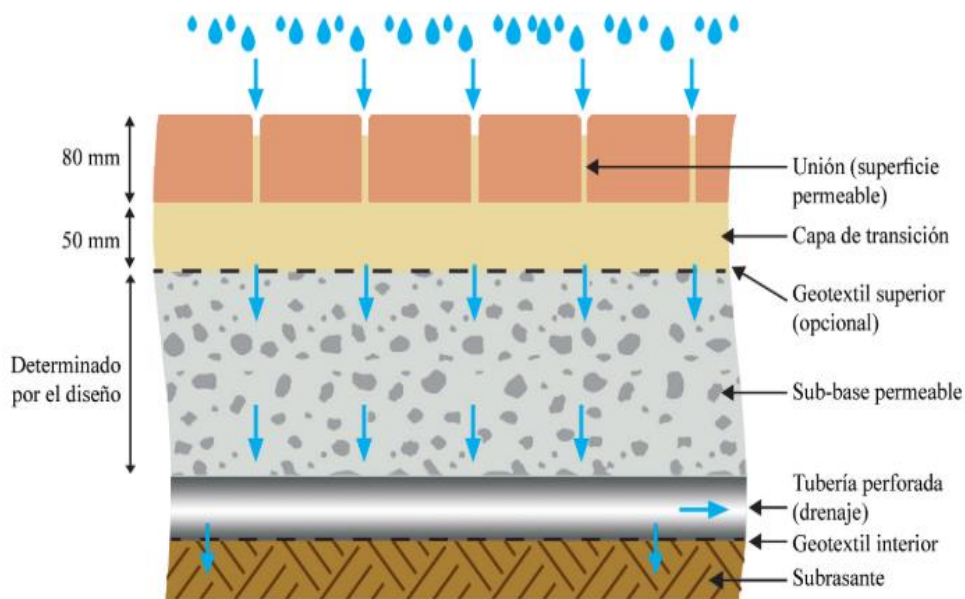
Estructura del pavimento permeable de total infiltración al suelo



Fuente : Obtenido de (Cárdenas & Rodríguez, 2017, p.178)

Figura 12

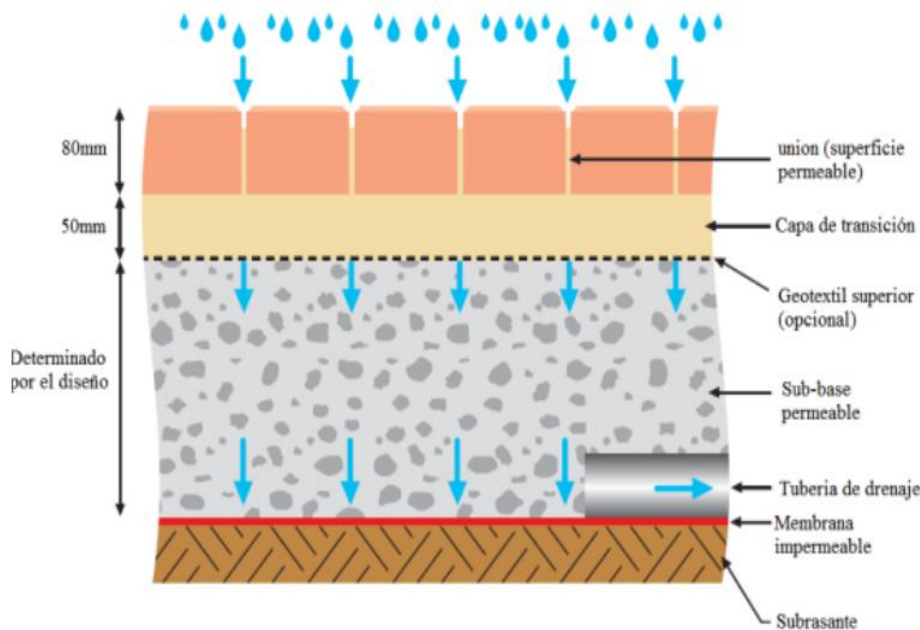
Estructura del pavimento permeable de infiltración parcial al suelo



Fuente : Obtenido de (Cárdenas & Rodríguez, 2017, p.178)

Figura 13

Estructura del pavimento permeable de infiltración 0



Fuente : Adaptado de (Cárdenas & Rodríguez, 2017, p.178)

- **Compatibilidad del pavimento permeable y suelo**

En base a las especificaciones del plan director de la ciudad de Juliaca detallado en el anexo 10 y la tabla 4 se proponen 4 lugares, en donde se podría emplear el concreto permeable.

- Pasaje peatonal Santa Elisa y Cruz Verde, zona de estacionamiento en el jr. 7 de junio y las veredas en Jr. Los Milagros, estos lugares están ubicadas dentro de zona V, el cual presenta un suelo impermeable, por lo que, se planteó un sistema de infiltración 0 al suelo, ya que al usar esta alternativa de pavimento las precipitaciones no interactúan con el suelo o sub rasante directamente.
- Ciclovía en la av. circunvalación II, el cual se encuentra ubicada en la zona I, en donde el suelo es poco permeable, para este lugar se plantea un sistema de infiltración parcial al suelo, esto se detalla en el anexo 9.



2.2.5.4 *Diseño del pavimento permeable*

El diseño de un pavimento permeable se centra básicamente en la definición de los espesores mínimos de la estructura. En este caso, los criterios de diseño deben ser aquellos que proporcionen la capacidad portante adecuada a la categoría de tráfico que deba soportar el pavimento, sin que esta sufra deformaciones importantes (Quiroz & Trujillo, 2013).

Aunque el procedimiento de diseño depende de la superficie permeable empleada, siempre se contemplan los siguientes pasos:

1. Establecer la categoría de tráfico.
2. Comprobar la calidad de la explanada para asegurar la capacidad portante de la estructura. En caso de ser necesario, mejorar la capacidad portante.
3. Seleccionar el tipo de sub-base y su espesor.
4. Seleccionar el tipo y espesor de la superficie permeable, adaptándolo a la metodología AASHTO 93, el cual se detalla en el anexo 11.

2.2.5.5 *Proceso constructivo, curado y mantenimiento del pavimento*

a) Proceso constructivo

- Mezclado: Debido a las características especiales del concreto permeable, se requiere un control de calidad estricto al momento de dosificar la mezcla. Particularmente el contenido de agua del concreto permeable está limitado a un pequeño rango para proporcionar la fuerza y permeabilidad adecuada, además de evitar la desintegración del material cementante y los agregados y la pérdida de la estructura porosa.(UNAM, 2015, p.57)



- Transporte de material: Los equipos de transporte no deben ser tan grandes, además deben estar limpios y deben tener la facilidad de hacer descargas suaves, o sea, que no tengan un gran impacto. La mezcla deberá estar cubierta para protegerla de la lluvia, el polvo y los cambios de temperatura. (Quiroz & Trujillo, 2013, p.68)
- Colocación y nivelación: Por lo general, se coloca sobre una sub-base de piedras para crear una gran parte de los espacios de aire que permiten que el agua se infiltre y se almacene. Esta capa debe compactarse del 92% al 97% de su densidad máxima, para obtener el máximo soporte y mantener la permeabilidad. La compactación dependerá de las propiedades del suelo y los requisitos de permeabilidad. La geomembrana se usa a menudo para separar capas de suelo y piedra. La sub- base debe humedecerse para evitar que la parte inferior del pavimento se seque demasiado rápido, debido a que el concreto permeable es pedrosa y seca, las descargas deben ser rápidas y continuas. Una vez que se complete el pavimentado se usa una regla para nivelar el concreto fresco, para lograr una superficie homogénea .(Aire, 2018, p.6)
- Compactación: El tiempo y cantidad de compactación en el funcionamiento del concreto permeable tiene efectos verdaderamente considerables. Un alto grado de compactación ofrecerá una resistencia mayor en el concreto, esto debido a la densificación del concreto y la eliminación de espacios vacíos internos de la mezcla, sin embargo, estos espacios son necesarios para obtener la permeabilidad y permitir la filtración del agua. (UNAM, 2015, p.62)

Para la compactación de concretos permeables se han aplicado un sin fin de técnicas, principalmente se utilizan pisones manuales, bordes para facilitar la compactación a lo largo de las cimbras o rodillos de acero.(UNAM, 2015, p.63)

- Juntas: Se pondrán juntas entre pavimentos nuevos y antiguos o elaborados días anteriores, para asegurar la unión continua entre antiguas y nuevas mezclas (Quiroz & Trujillo, 2013, p.69).

Para la construcción de estos pavimentos permeables, se tiene que cumplir los estándares para su aplicación en pavimentos urbanos. Según la norma CE 0.10 Pavimentos Urbanos se consideran:

- Aceras o veredas (Jr. Los Milagros).
- Pasajes peatonales (Jr. Santa Elisa y Cruz Verde).
- Ciclovías (Av. Circunvalación II).

En la tabla 5 se muestra los requisitos mínimos de los pavimentos, ya que, según su empleo del concreto permeable.

Tabla 5

Requisitos mínimos de los pavimentos especiales (pavimento permeable)

Elemento \ Tipo de Pavimento		Aceras o Veredas	Pasajes Peatonales	Ciclovías
		Sub-rasante	95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar	
Base		Espesor compactado: ≥ 150 mm		CBR ≥ 60%
Espesor de la capa de rodadura	Asfáltico	CBR ≥ 30 %		
	Concreto de cemento Portland	≥ 30 mm		
	Adoquines	≥ 100 mm		
Material	Asfáltico	≥ 40 mm (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina , de espesor comprendido entre 25 y 40 mm)		
	Concreto de cemento Portland	Concreto asfáltico*		
	Adoquines	$f'_c \geq 175 \text{ Kg/cm}^2$ (17,5 MPa)		N.R. **
		$f'_c \geq 320 \text{ Kg/cm}^2$ (32 MPa)		

Fuente: Obtenida de la Norma CE. 0.10 “Pavimentos Urbanos” Pág. 21



b) Curado

Mantener la humedad en el pavimento permeable es esencial para la durabilidad y el rendimiento a largo plazo, debido a los vacíos y al bajo contenido de agua en el diseño de la mezcla, puesto que la humedad puede evaporarse rápidamente. La norma ACI 522.1-13 especifica el curado con una manta de polietileno durante 7 días. Este proceso de curado comenzará dentro de los 20 minutos posteriores a la colocación del concreto (Euclid group, 2017, p.6).

c) Mantenimiento

El pavimento permeable necesita un mantenimiento constante para evitar la obstrucción de los poros, el método consiste en la succión, ya que, elimina la suciedad y los desechos que obstruyen el flujo. La frecuencia del mantenimiento depende de la cantidad de sedimentos arrastrados por el viento, los vehículos o los peatones de los alrededores a la superficie del pavimento permeable. (Minvu, 2018, p.89)

La tasa de infiltración de los pavimentos porosos empezará con una disminución significativa, debido a la acumulación de residuos en el pavimento. Sin embargo, se debe mantener la tasa de infiltración en el concreto para que sigan siendo significativamente más altas que la intensidad de las lluvias, por lo que, incluso sin mantenimiento, debe haber infiltración suficiente para disminuir las inundaciones (Quiroz & Trujillo, 2013, p.72).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

Esta investigación se llevó a cabo con probetas cilíndricas (4" x 8") y prismáticas (6" x 6" x 20") de concreto permeable, al que se le adicionó fibras de vidrio en 0.05%, 0.10% y 0.15% con respecto al peso de los materiales, en comparación a un concreto permeable patrón elaboradas sin fibras de vidrio.

Los ensayos realizados fueron: resistencia a la compresión simple, a la flexión y la permeabilidad, los cuales fueron ejecutados en el laboratorio CORPACC S.A.C ubicado en el Jr. Arequipa N° 1116 en el distrito de Puno.

3.2 PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

La presente investigación se realizó entre los meses de diciembre del 2021 a junio del 2022.

3.3 PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO

3.3.1 Agregados

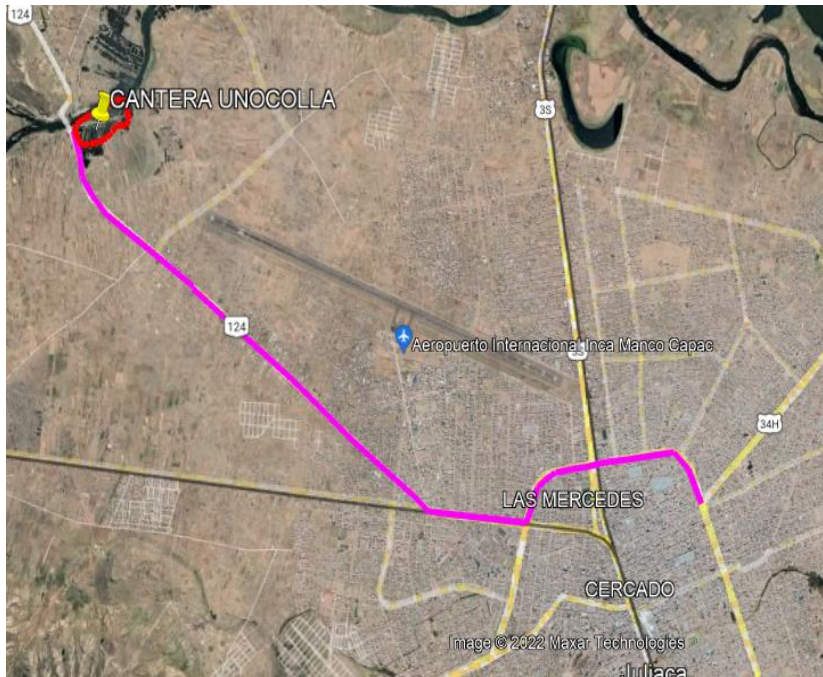
Los agregados finos y gruesos fueron extraídos de la cantera denominada Unocolla, que se encuentra a 8 kilómetros de la ciudad de Juliaca de la región de Puno, el acceso es por la carretera Juliaca – Lampa, tal como se muestra en la figura 14, la cantera está ubicada en las siguientes coordenadas geográficas:

Coordenada Este 372546.00 m E

- Coordenada Norte 8291302.00 m S.

Figura 14

Ubicación geográfica de la cantera Unocolla - Juliaca



Fuente: Elaboración del equipo de trabajo obtenido de Google Earth consultado en 2022.

La explotación de los agregados se realizó con el apoyo de maquinarias tal como se aprecia en la figura 15

Figura 15

Traslado del agregado



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.3.1.1 Agregado grueso

De acuerdo con el ACI-522R, indica que los tamaños de los agregados gruesos utilizados en el concreto permeable suelen ser de un solo tamaño o con calidades entre 3/4 y 3/8 de pulgada, este rango de tamaño de agregado indica que cumple con la permeabilidad requerida para ser considerado concreto permeable. La resistencia a compresión dependerá del tamaño del agregado: a mayor tamaño menor resistencia y a menor tamaño mayor resistencia, porque a mayor tamaño de agregado existe menor adherencia entre sus partículas, esto nos permite ver que la resistencia a la compresión del concreto permeable está en función al tamaño del agregado grueso en una relación de $3/8" > 1/2" > 3/4"$ en términos de resistencia.

Por lo tanto, se optó en usar agregados de 3/8" y de 1/2" con el fin de verificar cual tiene mejor desempeño en la resistencia a la compresión del concreto y así poder considerarlo como agregado para el concreto patrón, en la figura 16 se muestra el zarandeo para la obtención de los agregados mencionados.

Figura 16

Zarandeo para obtención del agregado grueso de 3/8"



Fuente: Elaborado por equipo de trabajo

3.3.1.2 Agregado fino

En la presente investigación se optó por la incorporación de agregado fino en un 10% del total del agregado grueso, para así mejorar la adherencia entre los agregados y la pasta, el agregado fino que se utilizó es aquel que pasa el tamiz n° 4, tal como se puede apreciar en la figura 17.

Figura 17

Selección del agregado fino



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.3.2 Cemento

Portland tipo IP, marca Rumi con peso específico 2.85 gr/cm^3 , con características químicas y físicas indicadas según su ficha técnica en las tablas 6 y 7 respectivamente.

Tabla 6

Características químicas del cemento

Requisitos químicos	Cemento portland puzolánico rumi IP	Requisitos Norma NTP 334.090 ASTM C-595
MgO (%)	1.99	6.00 Máx.
SO ₃ (%)	1.75	4.00 Máx.
Pérdida por ignición (%)	2.14	5.00 Máx.

Fuente: Ficha técnica del cemento Rumi IP

Tabla 7

Características físicas del cemento

Requisitos físicos	Cemento portland puzolánico Rumi IP	Requisitos Norma NTP 334.090 ASTM C-595
Peso específico (gr/cm ³)	2.85	-
Expansión en autoclave	0	0.80 máx.
Fraguado vicat inicial (mín.)	170	45 mín.
Fraguado vicat final (min.)	270	420 máx.

Fuente: Ficha técnica del cemento Rumi IP

3.3.3 Agua

El agua que se utilizó cumple con los requisitos de la norma NTP 339.088, así mismo, para el curado de las probetas cilíndricas y prismáticas, considerándose como referente principal el agua potable.

3.3.4 Fibra de vidrio

Se empleó la fibra de vidrio tipo E, considerando que es una fibra comercial en el Perú, las características químicas y físicas de esta fibra se muestran en las tablas 8 y 9 respectivamente.

Tabla 8*Características químicas de la fibra de vidrio tipo E*

Componentes químicos	Simbología	Porcentaje
Sílice	SiO ₂	53-54%.
Alúmina	Al ₂ O ₃	14-15.5%
Cal	CaO	20-24%
Magnesita	MgO	6.5-9%.

Fuente: Obtenida de la ficha técnica de la fibra de vidrio tipo E

Tabla 9*Características físicas de la fibra de vidrio tipo E.*

Descripción	Vidrio E
Densidad (g/cm ³)	2.6
Resistencia a la tensión (Mpa)	3400
Modulo elástico (Mpa)	72
Resistencia a la ruptura (%)	4.5

Fuente: Adaptado de (García, 2017, p.22)

- Justificación del porcentaje de fibra

Las fibras de vidrio que se utilizaron fueron en proporciones de 0.05%, 0.10% y 0.15% con respecto al peso de los materiales empleados en el diseño de mezclas, estas proporciones se basan a antecedentes de investigaciones que evalúan la influencia de fibra de vidrio en el concreto permeable, de acuerdo a Escalante (2019) manifiesta que la incorporación de fibras a razón de 0.05%, utilizando cantidades de 0.025%, 0.075% y 0.125% con respecto al peso de los materiales, concluye que dichas proporciones mejoran la resistencia a la compresión del concreto permeable. Además, García (2017) indica que con 0.025%, 0.075% y 0.125% de fibra de vidrio incorporada al concreto rígido convencional incrementa la resistencia a la compresión desde 6.85%, 2.26% y 1.26%.



respectivamente, de la misma manera Arango & Zapata (2013) indican que con incorporación de fibras de vidrio mayores a 1% la resistencia disminuye.

Por lo tanto, optamos por adicionar fibra de vidrio a razón de 0.05% teniendo cantidades de 0.05%, 0.10% y 0.15% con respecto al peso de los materiales empleados en el diseño de mezclas, estos valores menores al 1% son para no disminuir el volumen de vacíos en gran proporción, ya que, es primordial en este tipo de concreto.

3.4 DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1 Tipo de investigación

Según Arias (2006) la presente investigación es de tipo aplicativo, ya que, tiene una aplicación inmediata en la solución de problemas prácticos. (p.22)

3.4.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación es explicativo, porque van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos, pretenden establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian. (Hernandez et al., 2014, p.95)

3.4.3 Diseño de investigación

Según Hernandez (2014) el diseño de la investigación es cuasi experimental, en el cual se manipula deliberadamente una variable independiente para observar su efecto sobre una o más variables dependientes (p. 151)

Según la temporalidad es del tipo transeccional o transversal.

3.4.4 Población y muestra

- Población

La población destinada para esta investigación son el conjunto de probetas cilíndricas y prismáticas de concreto permeable sin adición de fibra de vidrio y concreto

permeable con adición de fibra de vidrio en un 0.05%, 0.10 % y 0.15% con respecto al peso de los materiales. Utilizando un total 75 probetas cilíndricas y 24 prismáticas para los ensayos de resistencia a la compresión, flexión y estudio de su permeabilidad, separadas en grupos de control.

- **Muestra**

El tipo de muestreo es no probabilístico – intencional, tomando en cuenta que; el código del ACI 318SR-14 (2015) establece que: “Un ensayo de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de al menos dos probetas de 150 por 300 mm o de al menos tres probetas de 100 por 200 mm., preparadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a 28 días o a la edad de ensayo designada para la determinación de $f'c$ ”. (p.507)

Sin embargo, para lograr una mayor precisión estadística y empleando probetas de 100 mm (4”) por 200 mm (8”), la muestra definida fue de 63 probetas cilíndricas de concreto permeable de 4” x 8” para el ensayo de compresión, 24 prismáticas de concreto permeable de 6” x 6” x 20” tipo losa para el ensayo de resistencia a la flexión y 12 probetas cilíndricas de 4” x 8” adaptadas para el estudio de permeabilidad, los cuales se agrupan en 3 grupos de control tal como se muestra en la tabla 10, 11 y 12 respectivamente.

Tabla 10

Tamaño de muestra para el ensayo de compresión simple

Resistencia a la compresión			
Tipo de concreto permeable	Tiempo de curado		
	7	14	28
Concreto permeable de ½”	3	-	-
Concreto permeable patrón sin fibra -3/8”	5	5	5
Concreto permeable + fibra de vidrio (0.5%)	5	5	5
Concreto permeable + fibra de vidrio (1.0%)	5	5	5



Concreto permeable + fibra de vidrio (1.5%)	5	5	5
Sub total	23	20	20
TOTAL		63	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 11

Tamaño de muestra para ensayo a flexión

Resistencia a la flexión		
Tipo de concreto permeable	Tiempo de curado	
	14	28
Concreto permeable patrón sin fibra – 3/8”	3	3
Concreto permeable + fibra de vidrio (0.5%)	3	3
Concreto permeable + fibra de vidrio (1.0%)	3	3
Concreto permeable + fibra de vidrio (1.5%)	3	3
sub total	12	12
Total	24	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 12

Tamaño de muestra para el ensayo de permeabilidad

Ensayo de permeabilidad	
Tipo de concreto permeable	Tiempo de curado
	7
Concreto permeable patrón sin fibra 3/8”	3
Concreto permeable + fibra de vidrio (0.5%)	3
Concreto permeable + fibra de vidrio (1.0%)	3
Concreto permeable + fibra de vidrio (1.5%)	3
sub total	12
Total	12

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5 METODOLOGÍA CUASI EXPERIMENTAL

3.5.1 Propiedad de los agregados

A. Para la extracción del material

Para la extracción de los agregados de la cantera Unocolla, se utilizó maquinaria (excavadora), el transporte de material se realizó en volquete, tal como se puede apreciar en la figura 18.

Figura 18

Extracción de los agregados



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

B. Para el ensayo de contenido de humedad

Este ensayo se realizó tomando en consideración la NTP. 339.185 y MTC E 108 - 2000 “Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado”.



- **Equipo utilizado**

- Balanza
- Horno
- Recipiente para la muestra (taras debidamente codificadas)

- **Procedimiento**

- Se cuarteó el material para tomar una muestra representativa, se coloca la muestra en envases previamente tarados.
- Se registró el peso de la tara más el material “húmedo” y se lleva al horno por 24 horas a 105 +/- 5 °C; pasado este tiempo, y luego del enfriado, se procede a pesar el material seco.
- Se tomaron 3 muestras para sacar un promedio para que el ensayo sea más confiable, el contenido de humedad el cual se calculó con la siguiente fórmula:

$$W\% = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso De La Muestra Seca}} * 100$$

Los resultados del contenido de humedad del agregado fino se muestran en la tabla

13.

Tabla 13*Contenido de humedad del agregado fino*

Agregado fino			
Nro. de Tara	M-1	M-2	M-3
Peso de Tara (gr.)	36.39	36.85	37.97
Peso de Tara + M. Húmeda (gr.)	119.30	125.74	115.03
Peso de Tara + M. Seca (gr.)	115.60	119.67	111.01
Peso de Agua (gr.)	3.70	6.07	4.29
Peso Muestra Seca (gr.)	79.21	82.82	73.04
Contenido de humedad W%	4.67%	7.33%	5.87%
Promedio cont. Humedad W%		5.96%	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Los resultados del contenido de humedad del agregado grueso de 3/8" se muestran en la tabla 14.

Tabla 14*Contenido de humedad del agregado grueso de 3/8"*

Agregado grueso			
Nro. de Tara	M-4	M-5	M-6
Peso de Tara (gr.)	39.62	41.52	34.84
Peso de Tara + M. Húmeda (gr.)	177.75	174.54	189.26
Peso de Tara + M. Seca (gr.)	173.13	170.80	185.08
Peso de Agua (gr.)	4.62	3.74	4.18
Peso Muestra Seca (gr.)	133.51	129.28	150.24
Contenido de humedad W%	3.46%	2.89%	2.78%
Promedio cont. Humedad W%		3.05%	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la figura 19 se aprecia las muestras pesadas en sus respectivas taras para el ensayo de contenido de humedad.

Figura 19

Ensayo de contenido de humedad



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

C. Para el peso específico y absorción del agregado fino

Este ensayo se realizó tomando en consideración la NTP 400.022 y MTC E 205 – 2000; “Método de ensayo normalizado para la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino”.

• Equipo utilizado

- Balanza
- Picnómetro
- Frasco
- El molde y barra compactadora
- Horno de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.



- **Procedimiento**

- Se seleccionó una muestra de 1 kg. aproximadamente, asegurándose que es el material pasante de la malla N° 4, a continuación, este material se sumergió en el agua por un periodo de 24 horas para lograr su saturación.
- Una vez saturado, se decantó cuidadosamente el agua y comenzó el proceso de desecado, poniendo el material fino en un recipiente metálico y suministrándole calor a través de una cocinilla eléctrica graduable tratando, todo el tiempo, de que este proceso sea homogéneo y constante.
- A continuación, se tomó el material y se relleno el tronco de cono cuidadosamente y se aprisiono sin mayor fuerza con 25 golpes sobre la superficie, se retiró el cono y se verificó el primer desmoronamiento lo cual indicó el estado saturado superficialmente seco (S.S.S.) del agregado, que fue el objetivo de esta sección del ensayo.
- Se tomó el material resultante del proceso anterior y se introdujo una cantidad adecuada, en el picnómetro previamente tarado y se determinó su peso; en seguida se llenó de agua hasta un 90% aproximadamente de su capacidad y se retiró el aire atrapado girando el picnómetro y sometiéndolo a baño maría.
- Finalmente, el picnómetro llenó hasta el total de su capacidad se pesó, se decantó nuevamente el agua y el agregado se retiró a una tara para ser secado al horno por 24 horas y se determinó también el peso seco de este material, las cuales se calcularon con las siguientes fórmulas.

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B + S - C}$$
$$\text{Peso específico aparente (S.S.S)} = \frac{S}{B + S - C}$$



$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100$$

Dónde:

A: Peso seco de la muestra.

B: Peso del picnómetro + agua.

C: Peso del picnómetro + agua + muestra.

S: Peso de la muestra saturada con superficie seca.

En la tabla 15 se muestra la recolección de datos para el ensayo de la gravedad específica del agregado fino.

Tabla 15

Datos para la gravedad específica del agregado fino

Gravedad específica del agregado fino				
Descripción	Und	M = 01	M = 02	M = 03
Peso del picnómetro (1)	gr.	181.73	176.07	148.77
Peso del picnómetro + agua (hasta la medida de calibración) (B)	gr.	681.73	676.07	648.77
Peso: picnómetro + arena saturada superficialmente Seca (2), (S=2-1)	gr.	519.78	497.36	529.78
Peso: picnómetro + arena saturada superficialmente seca + agua (C)	gr.	884.69	869.15	878.08
Peso de la arena seca (A)	gr.	325.84	310.72	368.06

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 16 se muestra los resultados obtenidos del ensayo de gravedad específica del agregado fino.

Tabla 16

Resultados de la absorción y peso específico del agregado fino

Peso específico y absorción del agregado fino	
Peso específico aparente	2.65 gr/cm ³
Absorción	3.56%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



D. Para el peso específico y absorción de los agregados gruesos

Este ensayo se realizó tomando en consideración la NTP 400.021 y MTC E 206 – 2000;” Método de ensayo normalizado para la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.

- **Equipo utilizado**

- Balanza
- Recipiente para muestra
- Tanque de agua
- Tamices: Un tamiz de 4.75 mm (N° 4)
- Horno

- **Procedimiento**

- Se obtuvo una muestra representativa de 3 kg para un TMN de 1”, la cual se saturó por 24 horas, en seguida se retiró el agregado cuidadosamente y se vertió sobre un paño absorbente.
- Seguidamente para obtener su estado saturado superficialmente se secó mediante secado manual, se tomó cierto porcentaje de la muestra S.S.S., aproximadamente 600 gr, se pesó y se introdujo este material a un recipiente que estuvo sumergido en agua y que dependió de una balanza de precisión adecuada, se determinó su peso sumergido y luego este mismo material se secó en un horno por 24 horas y así determinó, su peso seco. Lo cual se calculó con las siguientes fórmulas:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B - C}$$
$$\text{Peso específico aparente (S.S.S)} = \frac{B}{B - C}$$



$$\text{Peso específico nominal} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

Dónde:

A: Peso al aire de la muestra seca al horno. (gr.)

B: Peso de la muestra S.S.S. (gr.)

C: Peso en el agua de la muestra saturada. (gr.).

En la tabla 17 se muestra la recolección de datos para el ensayo de la gravedad específica del agregado grueso de 3/8”.

Tabla 17

Datos para la gravedad específica del agregado grueso de 3/8”

Gravedad específica del agregado grueso 3/8”				
Descripción	Und	M = 01	M = 02	M = 03
Peso del agregado saturado superficialmente seca en el aire (C)	gr.	467.04	503.75	497.04
Peso del agregado saturado superficialmente seca sumergido (B)	gr.	262.66	285.3	282.49
Peso del agregado grueso seco (A)	gr.	454.14	490.89	484.16

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 18 se muestra los resultados de la absorción y peso específico del agregado grueso de 3/8”

Tabla 18

Resultados de la absorción y peso específico del agregado grueso de 3/8”

Peso específico y absorción del agregado grueso de 3/8”	
Peso específico aparente	2.39 gr/cm ³
Absorción	2.71%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 19 se muestra la recolección de datos para el ensayo de la gravedad específica del agregado grueso de 1/2”.

Tabla 19

Datos para la gravedad específica del agregado grueso de 1/2"

Gravedad específica del agregado grueso de 1/2"				
Descripción	Und	M = 01	M = 02	M = 03
Peso del agregado saturado superficialmente Seca en el aire (C)	gr.	790.04	740.16	615.31
Peso del agregado saturado superficialmente seca sumergido (B)	gr.	461.53	430.95	352.49
Peso del agregado grueso seco (A)	gr.	774.43	723.37	600.20

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 20 se muestra los resultados obtenidos del ensayo de gravedad específica del agregado grueso de 1/2".

Tabla 20

Resultados de la absorción y peso específico del agregado grueso de 1/2"

Peso específico y absorción del agregado grueso de 1/2"	
Peso específico aparente	2.46 gr/cm ³
Absorción	2.28%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la figura 20 se muestra el proceso de pesado del agregado grueso superficialmente seco (S.S.S).

Figura 20

Peso del agregado grueso superficialmente seco (S.S.S) del agregado de 3/8”



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

E. Para el peso unitario y porcentaje de vacíos de los agregados

Este ensayo se realizó tomando en consideración la NTP 400.017 y MTC E 203 – 2000; “Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“peso unitario”) y los vacíos en los agregados”.

• Equipo utilizado

- Balanza
- Varilla de apisonado
- Una varilla lisa de acero
- Recipiente o molde
- Pala o cucharón: Una pala o cucharón de un tamaño conveniente para llenar el recipiente con el agregado.



- **Procedimiento**

- Se utilizó un molde cilíndrico, por ser el más aproximado a las recomendaciones del ensayo. Se determinó su peso y dimensiones de tal manera que se pudo lograr su volumen.
- Para determinar el peso unitario compactado por apisonado del agregado, se colocó el material en tres capas de igual volumen para llenar el molde; cada capa se golpea 25 veces con un pisón sin tocar el fondo, finalmente se enrasó con el mismo apisonador y se pesó el molde con el agregado.
- Para determinar el peso unitario suelto del agregado, el procedimiento es similar, más en este caso no se utilizó el apisonador, solo se dejó caer la muestra desde una altura no mayor a 2” desde el borde superior con una herramienta adecuada que puede ser una cuchara, se enrasó y se pesó como en el caso anterior.

En la tabla 21 se muestra los datos y resultados del peso unitario suelto del agregado fino.

Tabla 21

Peso unitario suelto del agregado fino

Agregado fino			
Molde Nro.	I	II	III
Volumen de molde cm ³(A)	9601.00	9601.00	9601.00
Peso de la muestra Seca gr.....(B)	14502.00	14566.00	14526.00
Peso unitario kg/m ³((B*1000)/A)	1510.47	1517.13	1512.97
Peso unitario suelto kg/m ³		1514	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 22 se muestra los datos y resultados del peso unitario compactado del agregado fino.



Tabla 22

Peso unitario compactado del agregado fino

Agregado fino			
Molde Nro.	I	II	III
Volumen de molde cm ³(A)	9601.00	9601.00	9601.00
Peso de la muestra Seca gr.....(B)	16303.00	16561.00	16392.00
Peso unitario kg/m ³((B*1000)/A)	1698.05	1724.92	1707.32
Peso unitario suelto kg/m ³		1710	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 23 se muestra los datos y resultados del peso unitario suelto del agregado grueso de 3/8”.

Tabla 23

Peso unitario suelto del agregado de 3/8”

Agregado grueso de 3/8”			
Molde Nro.	I	II	III
Volumen de molde cm ³(A)	9601.00	9601.00	9601.00
Peso de la muestra Seca gr.....(B)	13315.00	13310.00	13315.00
Peso unitario kg/m ³((B*1000)/A)	1386.83	1386.31	1386.83
Peso unitario suelto kg/m ³		1387	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 24 se muestra los datos y resultados del peso unitario compactado del agregado grueso de 3/8”.

Tabla 24*Peso unitario compactado del agregado de 3/8"*

Agregado grueso de 3/8"			
Molde Nro.	I	II	III
Volumen de molde cm ³(A)	9601.00	9601.00	9601.00
Peso de la muestra Seca gr.....(B)	14785.00	14555.00	14715.00
Peso unitario kg/m ³((B*1000)/A)	1539.94	1515.99	1532.65
Peso unitario suelto kg/m ³		1530	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 25 se muestra los datos y resultados del peso unitario suelto del agregado grueso de 1/2".

Tabla 25*Peso unitario suelto del agregado de 1/2"*

Peso unitario suelto del agregado grueso de 1/2"			
Molde Nro.	I	II	III
Volumen de molde cm ³(A)	9601.00	9601.00	9601.00
Peso de la muestra Seca gr.....(B)	13125.00	13065.00	13191.00
Peso unitario kg/m ³((B*1000)/A)	1367.05	1360.80	1373.92
Peso unitario suelto kg/m ³		1367	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 26 se muestra los datos y resultados del peso unitario compactado del agregado grueso de 1/2".

Tabla 26

Peso unitario compactado del agregado grueso de 1/2"

Peso unitario compactado del agregado grueso de 1/2"			
Molde Nro.	I	II	III
Volumen de molde cm ³(A)	9601.00	9601.00	9601.00
Peso de la muestra Seca gr.....(B)	14575.00	14560.00	14610.00
Peso unitario kg/m ³((B*1000)/A)	1518.07	1516.51	1521.72
Peso unitario suelto kg/m ³		1519	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 27 se muestra el resumen de los resultados del peso unitario suelto y compactado del agregado grueso y fino.

Tabla 27

Resumen de resultados del peso unitario suelto y compactado

Descripción	Suelto	Compactado
	Peso unitario	Peso unitario
Agregado fino	1514 kg/m ³	1710 kg/m ³
Agregado grueso de 3/8"	1387 kg/m ³	1530 kg/m ³
Agregado grueso de 1/2 "	1367 kg/m ³	1519 kg/m ³

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la figura 21 se muestra el enrase de los agregados en el molde con la varilla de 3/8.

Figura 21

Enrase con la varilla de apisonado



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

F. Para el Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

Este ensayo se realizó tomando en consideración la NTP 400.012 y M.T.C E 204 -2000;” Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global”.

• **Equipo utilizado**

- Balanza
- Tamices
- Horno

• **Procedimiento**

- Se separó el material por la malla N^o4, el retenido se agregó grueso y el fino pasó este tamiz.
- La muestra para someterse al tamizado fue lavada y secada por un periodo de 24 horas a una temperatura de 105 +/- 5° C.



- Una vez obtenido el material seco y libre de impurezas se vertió en el juego de tamices y se comenzó el proceso con ligeros golpes y girando el conjunto hasta obtener peso constante en cada tamiz.
- Para el agregado grueso, por ser mayor la cantidad, el total de la muestra se pasó por cada tamiz
- Cada volumen retenido en las mallas de agregado se pesó incluyendo el resto en la base y se comparó con la suma de los retenidos en las mallas.

En la tabla 28 se muestra los resultados del análisis granulométrico del agregado fino.

Tabla 28

Granulometría del agregado fino

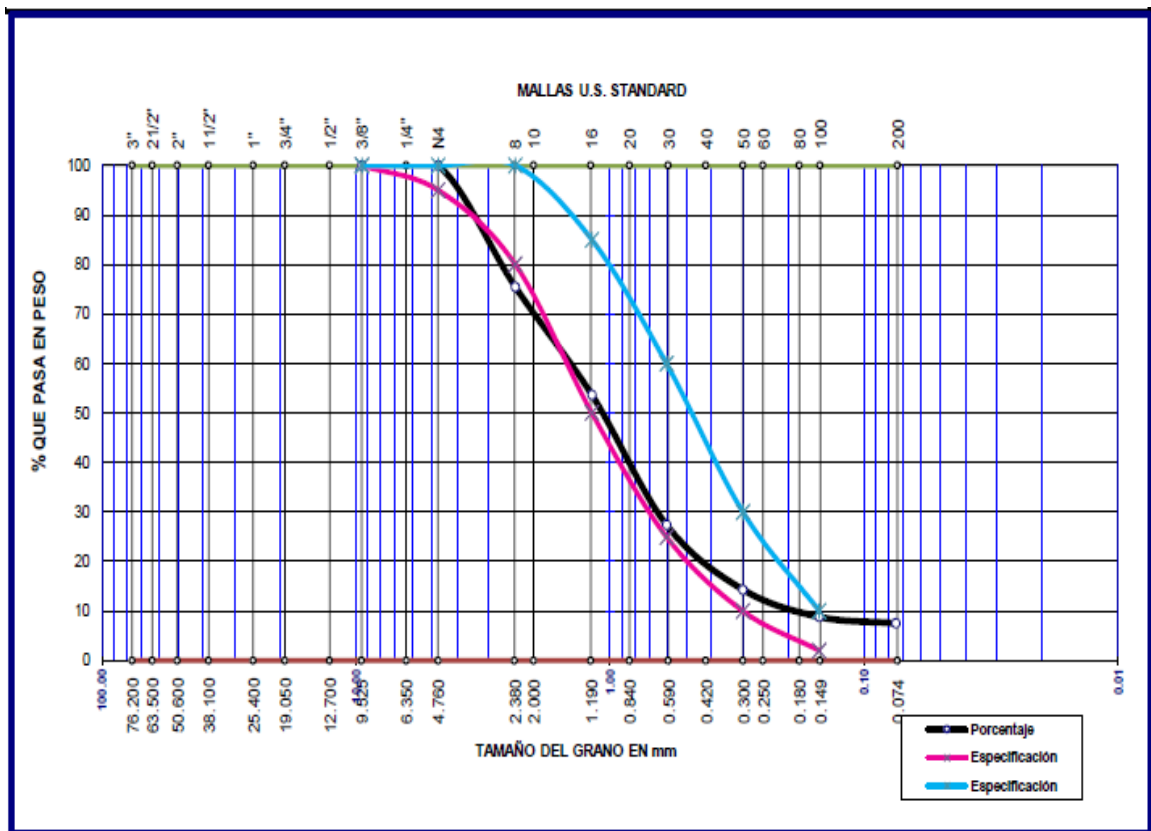
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO									
Tamaño tamiz	Abertura mm.	Peso Retenido	Porcentaje Parcial	Porcentaje Acumulado	Porcentaje que pasa	Especificación		Descripción de la muestra	
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	Peso inicial	1703.00
N° 4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00	95	100	P. Ret. N° 200	1575.00
N° 8	2.360	418.00	24.54	24.54	75.46	80	100	P. Pasa N°200	128.00
N° 16	1.180	371.00	21.79	46.33	53.67	50	85	% Pasa N°200	7.52%
N° 30	0.600	447.00	26.25	72.58	27.42	25	60	Módulo de finza: mf=	3.20
N° 50	0.300	223.00	13.09	85.67	14.33	10	30		
N° 100	0.150	94.00	5.52	91.19	8.81	2	10		
N° 200	0.075	22.00	1.29	92.48	7.52				
Base		128.00	7.52	100.00	0.00			0.00 gr. (0.00% en peso)	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la figura 22 se muestra la curva granulométrica del agregado fino natural.

Figura 22

Curva granulométrica del agregado fino natural



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 29 se muestra los resultados del análisis granulométrico del agregado grueso natural de cantera.

Tabla 29

Granulometría del agregado grueso natural

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO							
Tamaño Abertura	Peso	Porcentaje retenido	Porcentaje	Especificación		Descripción de la muestra	
Tamiz	mm.	retenido	parcial	acumulado	que pasa		
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00		Peso inicial 1779.00
1 1/2"	37.500	62.00	3.49	3.49	96.51	100	P. Ret. N° 8 1779.00
1"	25.000	158.00	8.88	12.37	87.63	95	P. Pasa N°8 0.00
3/4"	19.000	356.00	20.01	32.38	67.62		% Pasa N°8 0.00%
1/2"	12.500	406.00	22.82	55.20	44.80	25	60
3/8"	9.500	266.00	14.95	70.15	29.85	20	25
							TMN 1"

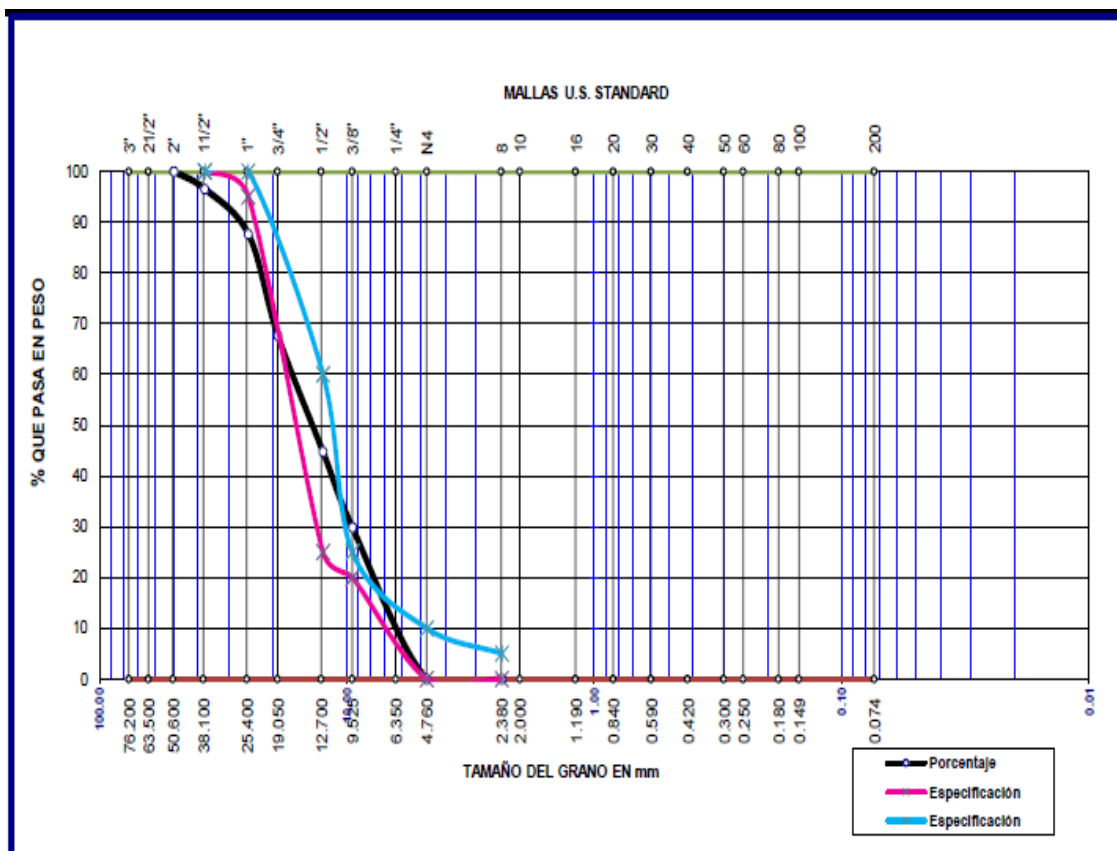
N° 4	4.750	531.00	29.85	100.00	0.00	0	10	Módulo de	7.03
N° 8	2.360	0.00	0.00	100.00	0.00	0	5	fineza: Mf	
Base	1.180	0.00	0.00	100.00	0.00				

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la figura 23 se muestra la curva granulométrica del agregado grueso natural.

Figura 23

Curva granulométrica del agregado grueso natural, representa los límites máximos y mínimos



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la figura 24 se muestra el tamizado del agregado grueso natural y su respectivo peso.

Figura 24

Ensayo de granulometría



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

G. Para el ensayo de abrasión

Este ensayo se realizó tomando en consideración la NTP 400.019 y MTC E 207 – 2000;” Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles”.

- **Equipo utilizado**
 - Balanza
 - Tamiz
 - Horno
 - Pala o cucharón
 - Equipo de los ángeles.



- **Procedimiento**

- Se optó por el método B, ya que se adapta al tamaño de agregado empleado, el cual consiste en medir la degradación de los agregados cuando se somete al impacto en un tambor de acero rotativo con una carga abrasiva de billas de acero, para el agregado natural; el total del material es 5000 gr, 2500 gr de material pasante de la malla 3/4" y retenido en la malla 1/2" y 2500 gr de material pasante de la malla 1/2" y retenido en la malla 3/8".
- El material que se utilizó en el ensayo estuvo limpio y seco.
- La norma específica que, para el método B se usan 11 esferas, éstas junto con el total del material se almacena en la máquina de los Ángeles y se programa a 500 revoluciones a 30 – 33 rpm.
- Una vez terminada, se retiró el material y se tamizó por la malla n° 12, el retenido se lavó y se secó en el horno, y se pesó el material.
- El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado como tanto por ciento del peso original.

El resultado del ensayo (% desgaste) se denota coeficiente de desgaste de los Ángeles. Calculándose tal valor de la siguiente manera:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{100 * (P1 - P2)}{P1}$$

Donde:

P1= Peso muestra seca antes del ensayo.

P2= Peso muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz de 1.70 mm (No. 12).

El ensayo de desgaste de abrasión por la cantidad de material retenido en cada abertura, permitió evaluar esta propiedad en el tipo de Granulometría natural y normalizada siendo:

En la tabla 30 donde se muestran los resultados de la abrasión los ángeles para el agregado de 3/8”

Tabla 30

Resultados de abrasión los ángeles del agregado grueso de 3/8”

Ensayo de abrasión los ángeles: muestra de 3/8”					
Pasa	Tamaño malla Retenido	Peso inicial(gr.)	Peso retenido malla N° 12 (gr.)	Peso perdido(gr.)	Peso perdido (%)
1 1/2" (38.1 mm)	1" (25.4 mm)	0.0	-	-	-
1" (25.4 mm)	3/4" (19.0 mm)	0.0	-	-	-
3/4" (19.0 mm)	1/2" (12.7 mm)	2505.0	-	-	-
1/2" (12.7 mm)	3/8" (9.5 mm)	2502.0	-	-	-
Peso Total		5007.0	4021	986	19.69%
Desgaste por abrasión los ángeles		=	19.69%		

Peso perdido (gr.): Peso perdido después de 500 revoluciones.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Basada en la normativa de las especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes (NIC-2000) en la sección 1003 el agregado grueso de acuerdo con ASSHTO M 80 para la prueba de la determinación a la resistencia al desgaste por el método de la máquina de los Ángeles el máximo valor de desgaste es del 40% al 50% por lo tanto la muestra se puede utilizar para la elaboración de obras civiles.

3.5.2 Diseño de mezclas del concreto permeable

Para el diseño de mezcla del concreto permeable, se tuvo en cuenta la guía para la selección de proporciones para concretos con cero slump (ACI 211.3R) y lo que indica el ACI 522R-10, el cual brinda un método de diseño, parámetros, tablas empíricas y ábacos necesarios, por otro lado, se hace una breve comparación del diseño de mezclas de un

concreto permeable y uno convencional, en la tabla 31 se muestra las diferencias en el diseño.

Tabla 31

Diferencias entre diseño ACI de concreto convencional y el diseño del concreto permeable

	Diseño convencional	Diseño concreto permeable ACI 522r-10
Datos requeridos	<ul style="list-style-type: none">• Resistencia requerida• Slump- revenimiento• Con o sin aire incluido• Tamaño máximo nominal	<ul style="list-style-type: none">• Resistencia requerida de diseño
Datos empíricos (Tablas)	<ul style="list-style-type: none">• Agua• Relación (a/c)• Volumen de agregado Grueso	<ul style="list-style-type: none">• Verificación de resistencia a compresión• Tipo de compactación• Elección de la relación (a/c)
Datos Obtenidos	<ul style="list-style-type: none">• Cantidad de agregado fino	<ul style="list-style-type: none">• Volumen de vacíos• Volumen de pasta• Porcentaje de agregado
Diseño final	<ul style="list-style-type: none">• Diseño por volúmenes absolutos y corrección por humedad.	<ul style="list-style-type: none">• Diseño por volúmenes absolutos y corrección por humedad, absorción y Aporte.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 32 se muestra las nominaciones según el agregado que se emplearon en el diseño de mezclas.

Tabla 32

Nominación según el número de diseño de mezclas

Diseño de mezclas	Descripción
1/2"	Concreto permeable con agregado 1/2"
3/8"	Concreto permeable con agregado 3/8"
3/8" (0.05%)	Concreto permeable con agregado de 3/8" con adición de fibra de vidrio en 0.05%
3/8" (0.10%)	Concreto permeable con agregado de 3/8" con adición de fibra de vidrio en 0.10%
3/8" (0.15%)	Concreto permeable con agregado de 3/8" con adición de fibra de vidrio en 0.15%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.2.1 Procedimiento del diseño de mezclas

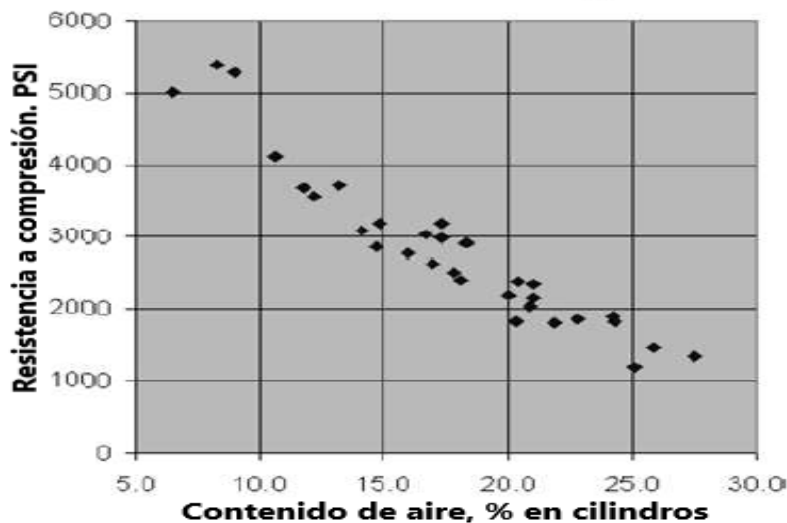
El diseño de mezclas presentado está basado en la norma: ACI 522R-10 "Reporte en concreto permeable"

A. Elección del contenido de vacíos de acuerdo a la resistencia de compresión del concreto diseñado

Se puede deducir la resistencia a compresión de acuerdo a la figura 25, donde nos muestra los valores de resistencia a la compresión desarrollados a los 28 días por testigos versus el contenido de vacíos del concreto permeable.

Figura 25

Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión del concreto permeable



Fuente: Adaptada de la norma ACI 522R-10 Pág. 9

Nota. $1 \text{ kg/cm}^2 = 14.2233 \text{ PSI}$

B. Elección de la relación agua cemento

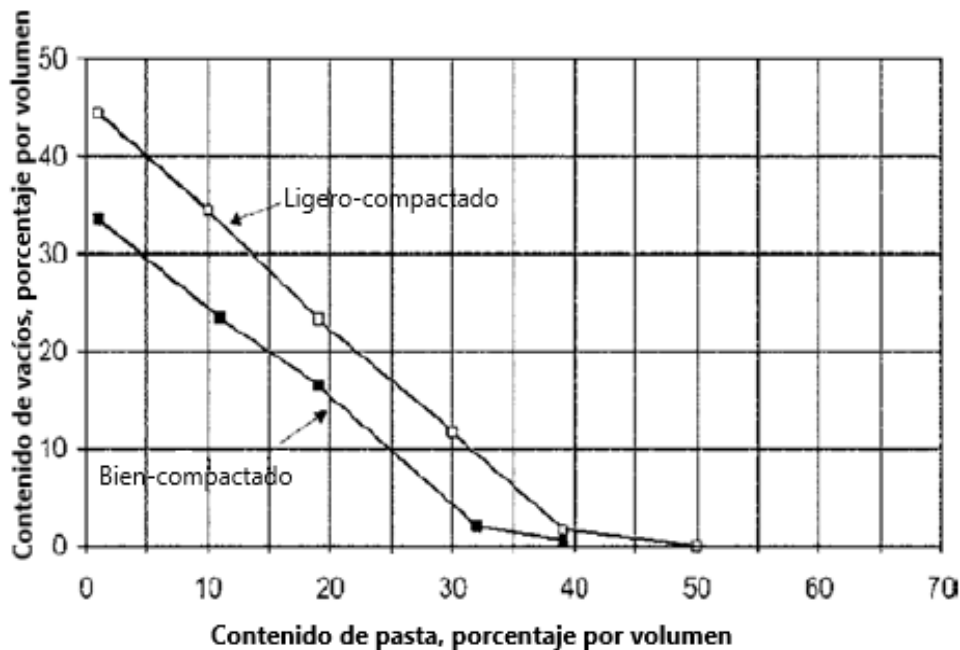
En cuanto a la relación agua-cemento, el reporte ACI-522R-10, recomienda utilizar valores de 0.26 a 0.45 para que proporcione un buen recubrimiento de los áridos y una buena estabilidad de la pasta. Una alta relación a/c puede resultar que la pasta fluya desde el agregado llenando la estructura de vacíos y una baja relación de a/c puede dar lugar a una menor adherencia entre las partículas de los áridos y problemas de colocación. (ACI-522R, 2010, p.8)

C. Determinación del volumen de pasta

Luego de haber verificado las resistencias a compresión y el contenido de vacíos del concreto permeable, se procede a determinar el volumen de pasta de acuerdo al (ACI 522R-10) representada en la figura 26, en el cual, a partir del contenido de vacíos elegido, podemos obtener el porcentaje del volumen de pasta en la mezcla.

Figura 26

Relación entre la pasta y el contenido de vacíos



Fuente: Adaptada de la Norma ACI 522R-10 pág. 16

Nota: Dependerá si es ligeramente o bien compactado.

En la figura 26 se observan las dos tendencias que definen el tipo de compactación que se tendrá durante la elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas, donde el concreto ligeramente compactado presenta mayores valores de contenido de pasta con respecto al concreto bien compactado.

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

$$V_p = V_c + V_a$$

Donde:

V_p : Volumen de pasta.

V_c : Volumen de cemento.

V_a : Volumen de agua.

La ecuación puede ser expresada como:



$$V_p = \frac{c}{P.E.c} + \frac{a}{P.E.a}$$

Donde:

c : Peso del cemento por m³ de mezcla.

a : Peso del agua por m³ de mezcla.

P.E.c : Peso específico del cemento.

P.E.a : Peso específico del agua.

Considerando que el peso específico del cemento y agua son **2.85** y 1.00 respectivamente, se tiene:

$$V_p = \frac{c}{2.85 * 1000} + \frac{a}{1 * 1000}$$

Con la relación a/c, obtenemos:

$$V_p = \frac{c}{2.85 * 1000} + \frac{\frac{a}{c} * c}{1 * 1000}$$

Según el ACI-522 R(ACI 318SR-14, 2015), cuando se utiliza el agregado fino, el volumen de la pasta debe reducirse en un 2% por cada 10% de agregado fino del agregado total para el concreto permeable bien compactado, y en un 1% por cada 10% de agregado fino del agregado total para el concreto permeable ligeramente compactado. Estas reducciones son necesarias para mantener el mismo porcentaje de vacíos por volumen.

D. Métodos de volúmenes absolutos y correcciones

Una vez que se dispone del porcentaje de vacíos, el volumen de la pasta y la relación (a/c), se calcula la cantidad de cada material convirtiendo a un volumen absoluto por metro cubico en estado saturado superficialmente seco (SSS) tal como se realiza en el concreto convencional, luego se procede a corregir por humedad y se obtiene la cantidad de materiales por metro cubico para el diseño de mezclas.



- **Corrección por humedad y absorción**

Se refiere a la condición actual del agregado que puede haber perdido o ganado humedad debido a la exposición ambiental; la absorción es la capacidad que tiene el agregado de retener agua, entonces si al contenido de humedad (condición presente en el vaciado) se le resta el porcentaje de absorción (capacidad de absorber agua), estamos conociendo la cantidad de agua que el agregado va a absorber durante el vaciado, por lo tanto, se sabe la cantidad de agua que debemos retirar o adicionar para corregirlo, para el cálculo se tomará en cuenta las siguientes relaciones:

- $\%CH > \% \text{ Absorción}$: Se retira agua en el diseño SSS.
- $\%CH < \% \text{ Absorción}$: Se adiciona agua en el diseño SSS.

3.5.2.2 Primer diseño de mezclas para el agregado de 1/2"

a) Los materiales

- Agregado de 1/2"
- Agregado fino (10% del agregado grueso)

Se requiere las características de los agregados para el diseño de mezclas, en caso del contenido de humedad se trabajó con el 0 % “materiales secos para el agregado fino y grueso de 1/2”.

En la tabla 33 se puede apreciar el resumen de los resultados de las propiedades del agregado fino y el agregado grueso de 1/2”.

Tabla 33

Resumen de datos de laboratorio para agregado de 1/2"

Ensayos realizados	Resumen de los ensayos realizados para la gradación de 1/2"	
	Agregado	
	fino	Agregado grueso
	Natural	Natural
Tamaño máximo nominal	Nº4	3/4"
Contenido de humedad W%	0.00%	0.00%
Peso específico aparente gr/cm ³	2.65	2.46
Peso específico aparente S.S.S.gr/cm ³	2.51	2.38
Peso específico Bulk gr/cm ³	2.42	2.33
Absorción	3.56%	2.28%
Peso unitario suelto kg/m ³	1514	1367
Porosidad del agregado	-	5.61%
Peso unitario compactado Kg/m ³	1710	1519

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- Cemento: Peso específico = 2.85 gr/cm³
- Agua: potable de la ciudad de Puno, peso específico = 1 gr/cm³

b) Criterios de diseño:

- % de Agregado fino incluido

Se considera en el diseño de mezcla la adición de un 10% de agregado fino del total del agregado grueso, para tener una mejor adherencia y resistencia.

- Nivel de compactación para la elaboración del concreto permeable:

Se considera un ligero compactado, para tener mayor contenido de pasta en la mezcla.

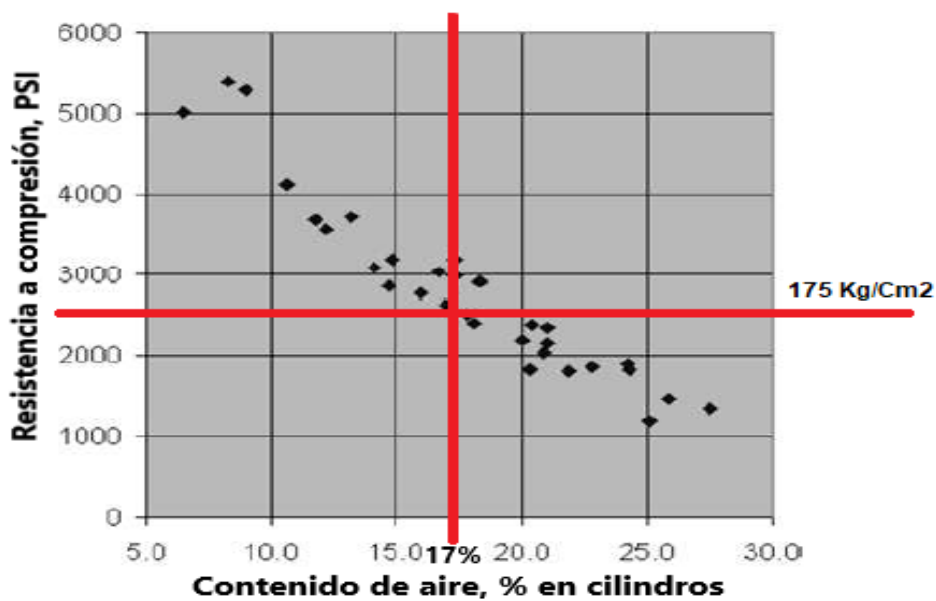
Procedimiento

A. Elección del contenido de vacíos de acuerdo a la resistencia de compresión del concreto diseñado.

Se selecciona el contenido de vacíos de acuerdo a la figura 30.

Figura 27

Relación entre la resistencia a la compresión y el contenido de vacíos para gradación de 1/2"



Fuente: Adaptada de la norma ACI 522R-10 Pg. 9

Nota. $175 \text{ kg/cm}^2 = 2489.09 \text{ PSI}$

Interpretación

Según la figura 27 para una resistencia a compresión de 175 Kg/cm^2 , obtenemos un contenido de vacíos de 17%.

B. Elección de la relación agua-cemento a/c.

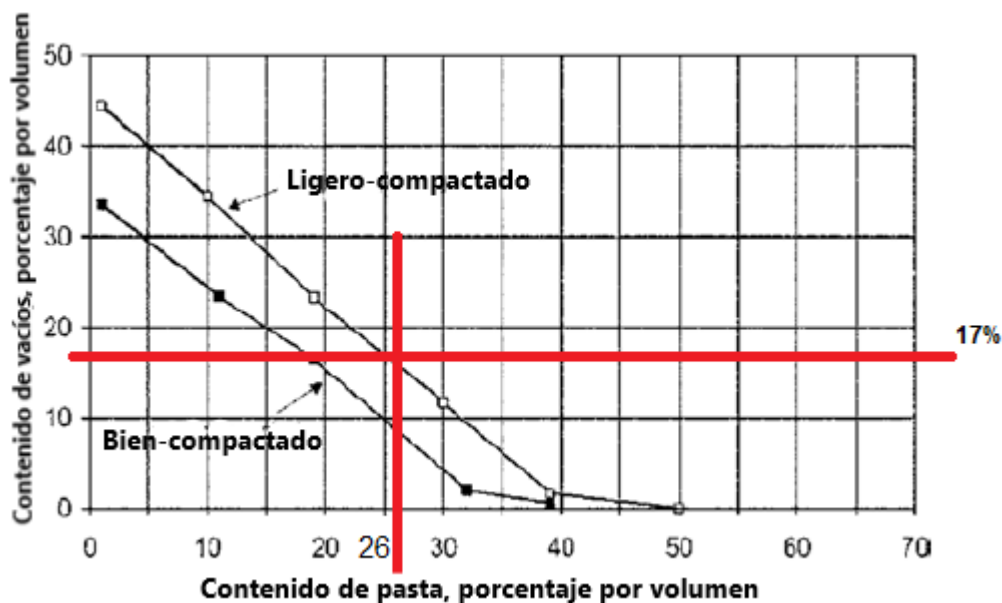
La variable a/c se fijó en 0.30, este valor fue escogido debido a que se busca evitar los problemas derivados a un exceso de agua en la pasta.

C. Cálculo de agua (Volumen de pasta= volumen de cemento + volumen de agua)

De acuerdo al contenido de vacíos y al tipo de compactación, se estima el contenido de pasta, tal como se aprecia en la figura 28.

Figura 28

Relación entre la pasta y contenido de vacíos para el concreto permeable con agregado de 1/2"



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo extraído de ACI - 522R-10 Pág. 16

Nota. Se consideró ligeramente compactado para la presente investigación

Interpretación

Según la figura 28, para un contenido de vacíos de 17% y un nivel de compactación ligero se obtiene un volumen de la pasta de 0.26. Con los datos obtenidos reemplazamos en las siguientes ecuaciones, para determinar a cantidad de agua (a) y la cantidad de cemento (c) y el volumen de los mismos

$$V_p = V_c + V_a$$

Donde:

V_p : Volumen de pasta.

V_c : Volumen de cemento.



Va: Volumen de agua.

$$V_p = \frac{c}{2.85 * 1000} + \frac{\frac{a}{c} * c}{1 * 1000}$$

Donde:

c: Peso del cemento por m³ de mezcla.

a: Peso del agua por m³ de mezcla.

a/c: Relación agua cemento (0.30)

De donde se obtuvo los siguientes resultados:

c: 384.10 Kg

a: 115.23 kg

D. Cálculo de volúmenes absolutos

En la tabla 34 se determina el volumen del agregado grueso para un m³ de concreto permeable, con la siguiente relación:

$$\gamma(\text{peso específico}) = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

Tabla 34

Cálculo de volúmenes absolutos para el diseño de mezclas del agregado de 1/2"

	Peso S.S.S (kg)	P.E. (kg/m ³)	Volúmen (m ³)
Agua	115.23	1000	0.12
Cemento	384.10	2850	0.13
Vacíos			0.17
		Parcial	0.42
		Ag. Grueso	0.58
		Total	1.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **Corrección del agregado grueso por incorporación de agregado fino**

Como se ha optado por la incorporación de agregado fino (10% del total del agregado) en el diseño de mezcla, se hace la corrección tal como se muestra en la tabla 35.

$$\text{Peso} = \text{Peso específico} \times \text{volumen}$$

Tabla 35*Cálculo en peso del agregado de (1/2")*

	Pesos S.S.S. kg	P. E kg/Cm ³	Volúmen (m ³)
Ag fino (10% Ag. Grueso)	145.58	2510	0.058
Ag grueso corregido	1242.36	2380	0.52

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 36 apreciamos el resumen de los volúmenes para el diseño de mezcla con agregado de 1/2".

Tabla 36*Resumen de peso y volumen del diseño de mezcla para el agregado de 1/2"*

	Peso S.S.S (kg)	P.E. (kg/m ³)	Volumen(m ³)
Cemento	384.10	2850	0.13
Ag. Fino	145.58	2510	0.06
Ag. Grueso	1242.36	2380	0.52
Agua	115.23	1000	0.12
Vacíos	-	-	0.17
Total			1.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **Corrección por humedad y absorción**

En la tabla 37 se muestra las correcciones por absorción y humedad utilizando las siguientes relaciones.

$$\text{Humedad superficial (del Ag.)} = \text{contenido de humedad} - \text{absorción}$$

$$\text{Aporte} = \text{Humedad superficial (del Ag)} * \text{Peso del agregado}$$



Tabla 37

Corrección por humedad, absorción y aporte de los agregados del diseño de mezcla con agregado de 1/2"

	Ag. grueso	Ag. fino
Humedad (C.H.%)	0.00%	0.00%
Absorción (a%)	2.28%	3.56%
Aporte (lt)	-28.32	-5.18

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 38 se muestra los valores corregidos para la utilización en el diseño de mezclas con tamaño de agregado de 1/2".

$$\text{Agua corregida} = \text{Peso (agua)} - \text{Humedad superficial del agregado}$$

Tabla 38

Valores de diseño corregidos por humedad del diseño de mezclas para el agregado de 1/2"

	Cantidades	
Cemento	384.10	kg/m ³
Ag. fino	145.58	kg/m ³
Ag grueso	1242.36	kg/m ³
Agua	148.74	kg/m ³

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.2.3 Segundo diseño de mezclas del concreto permeable para el agregado de 3/8"

a) Materiales:

- Agregado de 3/8"
- Agregado fino (10% del agregado grueso)

En la tabla 39 se puede apreciar el resumen de los resultados de las propiedades del agregado grueso de 3/8".

Tabla 39

Resumen de datos de ensayo de laboratorio para agregado de 3/8"

Ensayos realizados	Resumen de los ensayos realizados para la gradación de 3/8"	
	Agregado	
	fino	Agregado grueso
	Natural	Natural
Tamaño máximo nominal	Nº4	1/2"
Contenido de humedad W%	0.00%	3.00%
Peso específico aparente gr/cm ³	2.65	2.39
Peso específico aparente S.S.S.gr/cm ³	2.51	2.31
Peso específico Bulk gr/cm ³	2.42	2.24
Absorción	3.56%	2.71%
Peso unitario suelto Kg/m ³	1514	1387
Porosidad del agregado	-	6.46%
Peso unitario compactado Kg/m ³	1710	1530
Abrasión los Ángeles (100 revol.)	-	5.80%
Abrasión los Ángeles (500 revol.)	-	24.32%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- Cemento: Peso específico = 2.85 gr/cm³
- Agua: potable de la ciudad de Puno, peso específico = 1 gr/cm³.

b) Criterios de diseño:

- % de Agregado fino incluido

Se considera en el diseño de mezcla la adición de un 10% de agregado fino del total del agregado grueso, para tener una mejor adherencia y resistencia.

Nivel de compactación del concreto permeable:

Se considera un ligero compactado, para tener mayor contenido de pasta en la mezcla.

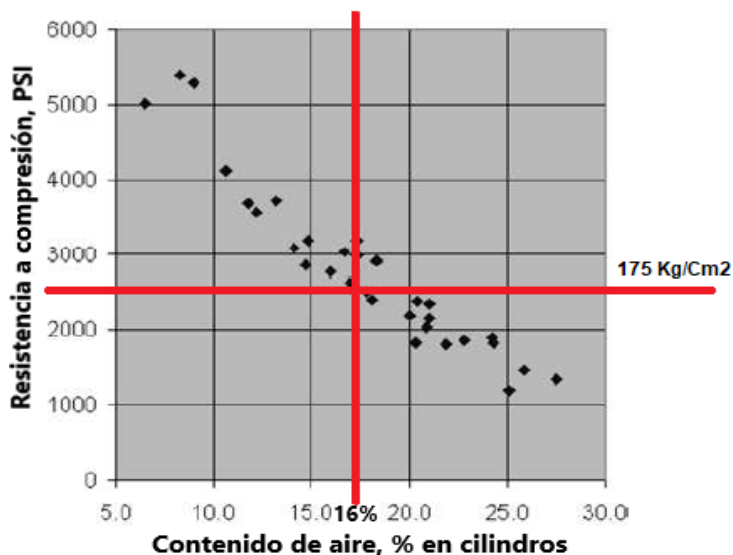
Procedimiento

A. Elección del contenido de vacíos de acuerdo a la resistencia de compresión del concreto diseñado.

Se selecciona el contenido de vacíos de acuerdo a la figura 29.

Figura 29

Relación entre la resistencia y el contenido de vacíos para el agregado de 3/8"



Fuente: ACI 522R-10 Pg. 9

Nota. $175 \text{ kg/cm}^2 = 2489.09 \text{ PSI}$:

Interpretación:

Según la figura 29, para una resistencia a compresión de 175 kg/cm^2 , obtenemos un contenido de vacíos de 16%.

B. Elección de la relación agua-cemento a/c.

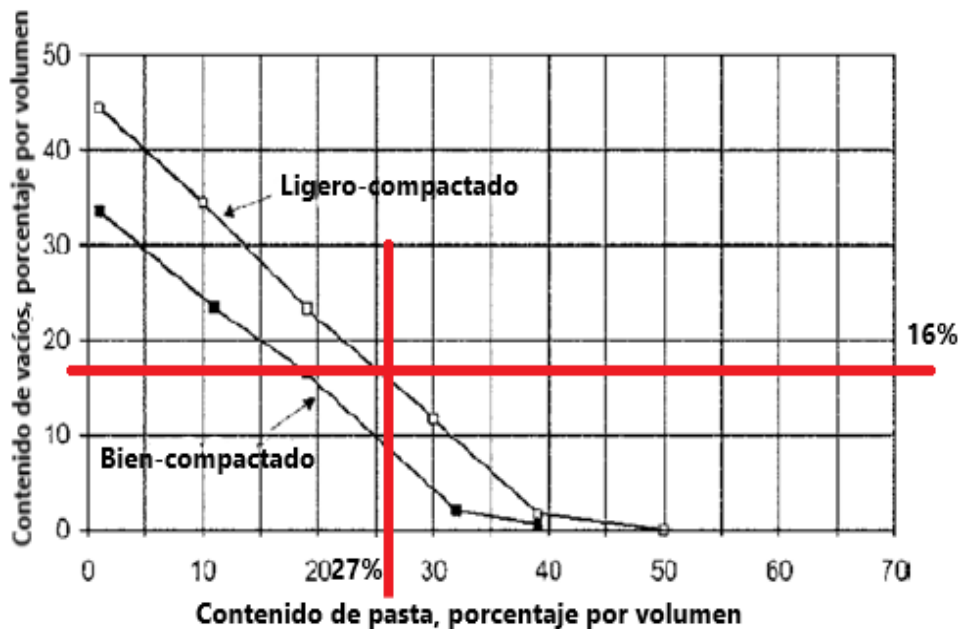
La relación a/c se estableció en 0.30, se opta por este valor debido a que se busca evitar los problemas causados por demasiada agua en la masa.

C. Cálculo de agua (Volumen de pasta= volumen de cemento + volumen de agua)

De acuerdo al contenido de vacíos y al tipo de compactación, se estima el contenido de pasta, tal como se aprecia en la figura 30.

Figura 30

Relación entre la pasta y el contenido de hueco o vacíos



Fuente: ACI 522R-10 Pág. 16

Nota. Se consideró ligeramente compactado



Interpretación

Según la figura 30, para un contenido de vacíos de 16% y un nivel de compactación ligero se obtiene un volumen de la pasta de 0.27. Con los datos obtenidos reemplazamos en las siguientes ecuaciones, para determinar a cantidad de agua (a) y la cantidad de cemento (c) y el volumen de los mismos

$$V_p = V_c + V_a$$

Donde:

V_p : Volumen de pasta.

V_c : Volumen de cemento.

V_a : Volumen de agua.

$$V_p = \frac{c}{2.85 * 1000} + \frac{\frac{a}{c} * c}{1 * 1000}$$

Donde:

c: Peso del cemento por m³ de mezcla.

a: Peso del agua por m³ de mezcla.

a/c: Relación agua cemento (0.30)

De donde se obtuvo los siguientes resultados:

c: 399.46 kg

a: 119.84 kg

D. Cálculo de los volúmenes absolutos

En la tabla 40 se determina el volumen del agregado grueso para un m³ de concreto permeable con la siguiente relación:

$$\gamma(\text{peso específico}) = \frac{\text{Peso}}{\text{Volúmen}}$$

Tabla 40*Cálculo de volúmenes absolutos para el diseño de mezclas para el agregado de 3/8"*

	Peso SSS (kg)	P.E. (kg/m ³)	Volúmen (m ³)
Agua	119.84	1000	0.12
Cemento	399.46	2850	0.14
Vacíos			0.16
		Parcial	0.42
		A° grueso	0.58
		Total	1.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **Corrección del agregado grueso por incorporación de agregado fino**

Como se ha optado por la incorporación de agregado fino (10% del total del agregado) en el diseño de mezcla, se hace la corrección tal como se muestra en la tabla 41.

$$\text{Peso} = \text{Peso específico} \times \text{Volúmen}$$

Tabla 41*Cálculo de peso del agregado de 3/8"*

	Pesos S.S.S. kg	P.E kg/cm ³	Volúmen (m ³)
Ag. fino (10% Ag. grueso)	145.58	2510	0.058
Ag. grueso corregido	1205.82	2310	0.52

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 42

Resumen del peso y volumen del agregado del diseño de mezclas para el agregado de 3/8"

	Peso SSS (kg)	P.E. (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Cemento	399.46	2850	0.14
Ag. Fino	145.58	2510	0.06
Ag. Grueso	1205.82	2310	0.52
Agua	119.84	1000	0.12
Vacíos	-	-	0.16
Total			1.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

- **Corrección por humedad y absorción**

En la tabla 43 se muestra las correcciones por absorción y humedad utilizando las siguientes relaciones.

$$\text{humedad superficial (del Ag.)} = \text{contenido de humedad} - \text{absorción}$$

$$\text{Aporte} = \text{Humedad superficial (del Ag)} * \text{Peso del agregado}$$

Tabla 43

Corrección por humedad, absorción y aporte de los agregados del diseño de mezclas para la gradación de 3/8"

	Ag. grueso	Ag. fino
Humedad (C.H.%)	3.00%	0.00%
Absorción (a%)	2.71%	3.56%
Aporte (lt)	3.50	-5.18

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 44 se muestra los valores corregidos para la utilización en el diseño de mezclas con de agregado de 3/8" utilizando la siguiente relación:

$$\text{Agua corregida} = \text{Peso (agua)} - \text{Humedad superficial del agregado}$$

Tabla 44*Corrección por humedad del diseño de mezclas con agregado de 3/8"*

Cantidades		
Cemento	399.46	kg/m ³
Ag. fino	145.58	kg/m ³
Ag. grueso	1206.18	kg/m ³
Agua	121.52	kg/m ³

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.3 Resumen de diseño de mezclas

Culminado el diseño de mezclas paso a paso y se obtuvo las dosificaciones correspondientes, se calculó en peso todos los materiales necesarios para una tanda de concreto para la elaboración de probetas cilíndricas de 4" x 8" y prismáticas de 6" x 6" x 20", que serán sometidos a compresión, flexión y permeabilidad. En la tabla 45 se presentan los datos finales para la elaboración del diseño de mezclas para el concreto permeable con agregado de 1/2" y con agregado de 3/8", como también para el diseño de las mezclas con adición de fibras de vidrio en 0.05%, 0.10% y 0.15%.

Tabla 45*Resumen del diseño de mezclas*

Diseño	Diseño de mezclas				
	1/2"	3/8"	3/8" (0.05%)	3/8" (0.1%)	3/8" (0.15%)
Cemento IP (kg/m ³)	384.10	399.46	399.46	399.46	399.46
Agua (l/m ³)	148.74	121.52	121.52	121.52	121.52
Ag. grueso (kg/m ³)	1242.36	1206.18	1206.18	1206.18	1206.18
Ag. fino (kg/m ³)	145.58	145.58	145.58	145.58	145.58
Total (kg/m ³)	1920.77	1872.75	1872.75	1872.75	1872.75
Fibra de vidrio (kg/m ³)	-	-	0.9364	1.8728	2.8091

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

3.5.4 Elaboración del concreto permeable para el vaciado de los moldes cilíndricos y prismáticos:

- Se procedió a pesar cada uno de los materiales para la elaboración de concreto permeable, siendo la fibra de vidrio pesada en balanza de precisión.
- Se habilitaron todos los moldes considerados para el vaciado respectivamente codificados.
- En el primer ciclo de mezclado se consideró la cantidad total de agua y cemento, seguido de la adición de agregados y fibra de vidrio; el ciclo de mezclado total fue entre 1 y 2 minutos, pero se observó que el concreto elaborado con fibra de vidrio requería un tiempo de mezclado adicional para distribuirse uniformemente en la mezcla.

Figura 31

Vaciado del concreto en probetas cilíndricas y prismáticas.



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



3.5.5 Ensayos realizados

3.5.5.1 Ensayos en estado fresco del concreto permeable

- **Para la medición del asentamiento**

Este ensayo se realizó tomando en consideración la NTP 339.035 “Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento portland”, es el método más común para determinar la trabajabilidad del concreto.

- **Equipo utilizado**

- Cono de Abrams
- Plancha metálica de 50 cm x 50 cm
- Varilla metálica para nivelar la superficie
- Flexómetro
- Martillo con cabeza de goma (caucho)

- **Procedimiento**

- El molde se coloca sobre una superficie plana, pisar las aletas para mantenerlo quieto, luego verter una capa de concreto hasta un tercio de su volumen, apisonando con la varilla metálica y realizar 25 golpes de forma aleatoria.
- Enseguida se llena el segundo tercio de volumen con el mismo procedimiento de manera que la barra penetre en la capa inmediata inferior.
- El último tercio de volumen se llena en exceso, para luego enrasar al término de la consolidación, lleno y enrasado el molde, se levanta lenta y cuidadosamente en dirección vertical para no alterar el asentamiento.

- El concreto moldeado fresco se asentará, la diferencia entre la altura del molde y la altura de la mezcla fresca se denomina slump, tal como se muestra en la figura 32.

Figura 32

Medición del asentamiento (Slump) del concreto permeable



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.5.5.2 *Ensayos en estado endurecido del concreto permeable*

A. Para el ensayo de compresión simple

En cuanto a los ensayos de compresión simple, se cumplió lo establecido en la norma NTP 339.034 “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas”

- **Equipo utilizado**

- Máquina de compresión axial
- Vernier

- **Procedimiento**

- Este ensayo fue realizado en conformidad con la norma ASTM C39, y consiste en la aplicación de carga axial en la parte superior de la probeta, de forma constante hasta alcanzar la rotura del espécimen de prueba, siendo la resistencia a la

compresión el cociente resultante de la máxima carga aplicada entre el área promedio de la probeta antes de que ocurra la rotura de la misma.

En la figura 33 se observa la medición del diámetro de los especímenes cilíndricos del concreto permeable.

Figura 33

Toma de datos de las probetas cilíndricas, medición del diámetro con el vernier



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **Método de cálculo**

La resistencia a la compresión de la probeta cilíndrica se calculó con la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{P}{A} \left(\frac{Kg}{cm^2} \right); A = \pi \frac{\phi^2}{4}$$

Dónde:

$f'c$: Es la resistencia de rotura a la compresión del concreto. (kg/cm²).

P : Carga de rotura (kg).

ϕ : Diámetro de la probeta cilíndrica (cm).

A : Área promedio de la probeta (cm²).

En la figura 34 se observa las roturas de las probetas cilíndricas en la máquina de compresión.

Figura 34

Ensayo de compresión simple del concreto permeable



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

B. Para el ensayo a la flexión con carga puntual en el centro de luz

Para el ensayo de flexión se cumplió con lo establecido en la NTP 339.079 “Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo”.

- **Equipo utilizado**

- Máquina de deflexión
- Vernier

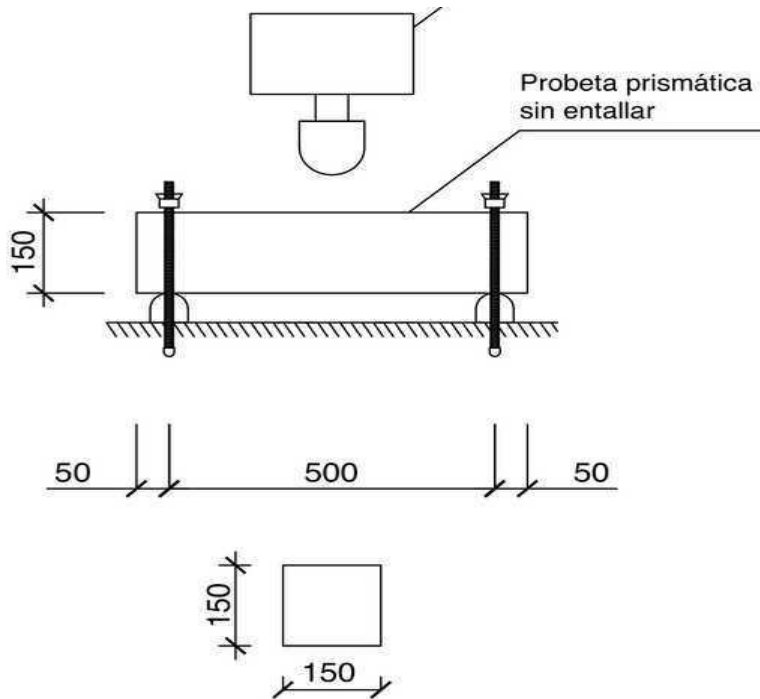
- **Procedimiento**

- El espécimen de ensayo se gira sobre su lado con respecto a su posición como fue moldeado y se centra sobre los bloques de soporte.
- Se centra luego el sistema de carga en relación a la carga aplicada.
- Se asegurará de que todas las fuerzas se apliquen perpendicularmente a la cara de la muestra sin excentricidad, manteniendo la longitud del tramo y posición central del espécimen.

En la figura 35 se observa el tipo de aplicación de la carga en un solo punto de la muestra prismática, la cual, se empleó en la presente investigación.

Figura 35

Mecanismo de aplicación de carga, ensayo de flexión en el punto central



Fuente: ASTM C-293

En la figura 36 apreciamos las muestras prismáticas antes y después de ser sometidas al ensayo de flexión.

Figura 36

Proceso de rotura a flexión del concreto permeable



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **Método de cálculo**

El módulo de ruptura se obtiene de la siguiente manera:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Dónde:

R: Módulo de ruptura (MPa).

P: Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo (N).

L: Luz o longitud entre soportes (mm).

b: Ancho promedio del espécimen (mm).



d: Espesor promedio del espécimen (mm).

C. Ensayo de permeabilidad del concreto poroso

La metodología del ensayo fue desarrollada utilizando la prueba alternativa del (ACI-522R.10); donde nos sugiere elaborar muestras cilíndricas de 4” de diámetro y 8” de alto, que fueron elaboradas utilizando la metodología para los especímenes de compresión.

- **Equipo utilizado**

- Permeámetro recomendado por el ACI -522
- Material impermeabilizante
- Cronómetro

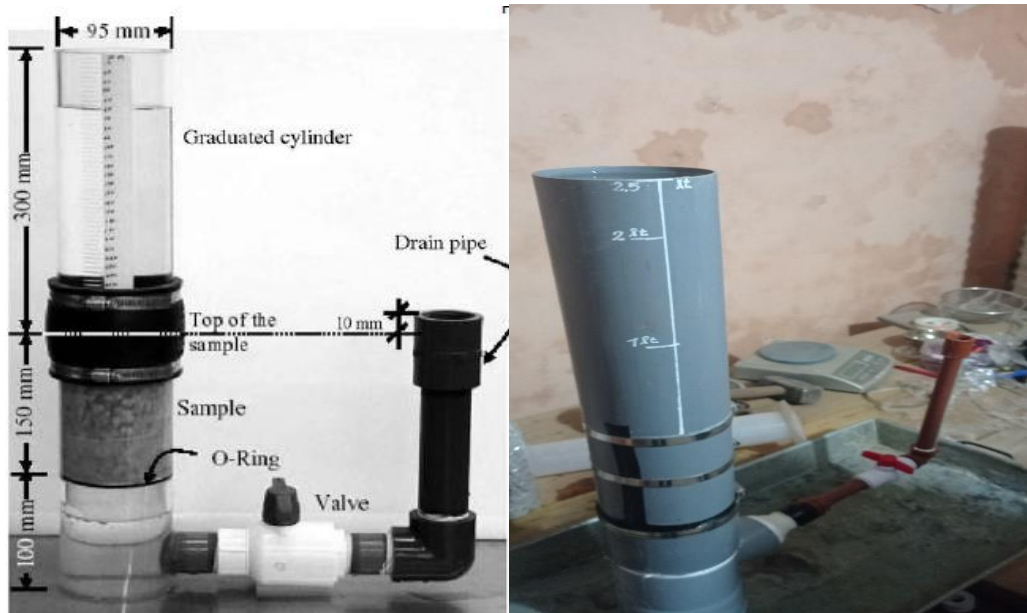
- **Procedimiento**

- La permeabilidad del concreto fue medida por un permeámetro adaptado como se muestra en la figura. 40. los costados de la muestra se impermeabilizan con una membrana de látex (fill) para evitar el flujo del agua a lo largo de los lados de la muestra. El agua es añadida en el cilindro graduado para llenar celda de la muestra y la tubería de drenaje.
- La muestra se acondicionó previamente para que el agua drene hacia fuera a través de la tubería hasta que el nivel en el cilindro graduado sea el mismo que la parte superior de la tubería de drenaje. Esto reduce al mínimo el aire atrapado en la muestra y se asegura de que el espécimen este completamente saturado. Con la válvula cerrada, el cilindro graduado se llena con agua. Luego se abre la válvula, y se registra el tiempo en segundos “t” que se requiere para que el agua caiga de una cabeza inicial h1 a una cabeza final h2.

- El equipo utilizado fue elaborado siguiendo las recomendaciones del (ACI-522R.10) tal como se muestra en la figura 37:

Figura 37

Equipo de ensayo de permeabilidad



Fuente: ACI-522- elaborado por equipo de trabajo

- **Método de cálculo**

EL cálculo del coeficiente permeabilidad fue realizado utilizando la ley de Darcy:

$$K = \frac{l}{t} \times \frac{a}{A} \times \ln \frac{h1}{h2}$$

Dónde:

- **K**: Coeficiente de permeabilidad (cm/s).
- **L**: Longitud de la muestra (cm).
- **A**: Área de la muestra (cm²).
- **a**: Área de la tubería de carga (cm²).
- **t**: Tiempo en demora en pasar de *h1* a *h2* (s).
- **h1**: Altura de la columna de agua medida del nivel de referencia (cm).
- **h2**: Altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia (1cm).

En la figura 38 podemos observar el proceso del ensayo de permeabilidad del concreto con tamaño de agregado de 3/8”.

Figura 38

Ensayo de permeabilidad



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- **Capacidad de filtración del concreto permeable**

Para determinar la capacidad de filtración o caudal del concreto permeable también se utilizó el permeámetro, utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t}$$



Donde:

- Q: capacidad de filtración del concreto (caudal) (L/t)
- V: Volumen de agua en litros
- t: Tiempo que demora en filtrar toda la probeta de concreto en segundos
(s)

Este dato fue importante, ya que, permitió evaluar si el concreto permeable es capaz de disipar la intensidad de lluvias en la ciudad de Juliaca, el cual se evaluó en el aspecto hidrológico.

Aspecto hidrológico

a) Precipitación

Es fundamental para corroborar si el concreto permeable es apto para disipar las precipitaciones máximas que se presentan en la ciudad de Juliaca

En la tabla 46 se muestra las precipitaciones de los últimos 20 años que se presentaron en la ciudad de Juliaca según el SENAMHI.

Tabla 46

Precipitación de los últimos 20 años en la ciudad de Juliaca.

ESTACIÓN	VARIABLE	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P máxima(m m)
CO. JULIACA	PT202	2001									5.7	19.4	7.4	12.5	19.4
CO. JULIACA	PT202	2002	10.8	32.7	16.7	13.4	12.4	1.6	8	6.1	10.6	63.3	12.6	19	63.3
CO. JULIACA	PT202	2003	29	18.9	22.3	1.7	2.9	4.4	0.5	0.3	16.8	5	17.6	36.5	36.5
CO. JULIACA	PT202	2004	32.8	15.9	17.9	7.8	0	0.2	0.7	15	22.5	2.8	6.8	20.5	32.8
CO. JULIACA	PT202	2005	16.4	47.4	41	18.7	0	0	0	1.8	11.3	23.7	15.2	15	47.4
CO. JULIACA	PT202	2006	23.3	23.2	30.3	4.4	0.8	2	0	0.7		24.2	21.4	23.5	30.3
CO. JULIACA	PT202	2007	14.4	19.4	39.3	24.9		0.1	5.9	0.8	5.7		33.5		39.3
CO. JULIACA	PT202	2008	45	11.1	11		0.4	0.6		0.9	1.1	25.2	13.8	33.6	45
CO. JULIACA	PT202	2009	27.9	28.9	27.5		0	0	1		6.1		18.3		28.9
CO. JULIACA	PT202	2010	20.2	17.1	12.5	4.8	10	0.4	0.4	0	0.2	9.4	11.9	10.9	20.2
CO. JULIACA	PT202	2011	6.9	55.4	12.9	7.3	4.8	0	3.6	2.5	4.3	7.5	21		55.4
CO. JULIACA	PT202	2012	22.1	23	20.7	14	0			20	0.3	7.1			23
CO. JULIACA	PT202	2013		27.9	11.6	6.6	2.6	3.8	2.1	3.8		11.6	12.4	28.5	28.5
CO. JULIACA	PT202	2014	37	15.8	22.2	9.1	0.3	0.1	4.5	3.3	24.8	23.5	5.3	16.6	37
CO. JULIACA	PT202	2015	17.3	17.5	17.6	33.6	2.3	0.6	2	6.3	24.2	12.7	8.7	20.8	33.6
CO. JULIACA	PT202	2016	15.7	36.6		11.7	0	1.8	4.2	0	0.4	10.4	9	19.7	36.6
CO. JULIACA	PT202	2017	24	12.7	36.7	9	10	0	5.1	0	8.3	26.9	19.1	61.8	61.8
CO. JULIACA	PT202	2018	19.9	32.6	22.2	16.3	10.7	9	15.8	0	0.2	22.4	20.4	22.2	32.6
CO. JULIACA	PT202	2019	22.1		24.2	17	7.1	2.8	8.9	0	10.3	25.5	23.7	17.3	25.5
CO. JULIACA	PT202	2020	13.5	33.5	22.7			0	0	0	10.9	8.2	9.3	13.5	33.5
CO. JULIACA	PT202	2021	27.9	4.1	12.2	13.4	13.3	0.5	0	7.4	16	29.4	19.8	17.9	29.4

Fuente: Obtenido de SENAMHI, solicitado en mayo del 2022

De acuerdo con los resultados de la tabla 46 se consideró la precipitación más crítica presentado en los últimos 20 años, el cual es 63.3 mm.

b) Corrección por factor de seguridad de la precipitación

Se tomó en cuenta que la intensidad máxima debe ser superior a las máximas precipitaciones esperadas, ya que, esta tasa se reduciría con el tiempo debido a la colmatación, por lo que se le aplicará un factor de seguridad de 10. (Jiménez, 2019, p.57)

Entonces aplicando un factor de seguridad de 10 obtenemos:

$$\begin{aligned}
 \text{precipitacion}_{max} &= 63.30 * 10 \\
 \text{precipitacion}_{max} &= \mathbf{633 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$



Filtración requerida: $633 \text{ mm/h.} = 10.55 \text{ mm/min} = \mathbf{0.176 \text{ mm/s}}$

Conociendo que cada unidad en “mm” equivalen a 1 litro de agua por m^2 , podemos decir que el valor más alto de precipitación equivale a 0.176 litros de agua por m^2 . Este valor se comparará con la capacidad de filtración que tiene el concreto permeable, en la sección de cálculos y resultados de la permeabilidad. Por lo tanto, la capacidad de filtración que debe tener el concreto permeable deberá ser mayor o igual que la precipitación para así poder disipar las inundaciones.

3.6 DISEÑO ESTADÍSTICO Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

3.6.1 Análisis estadístico

Es de gran importancia en la evaluación y análisis de los resultados obtenidos ya que nos permite tener una certeza de la confiabilidad de los valores obtenidos de las pruebas, el cual seguirá el siguiente procedimiento.

a) Rango de datos (R_x)

Es la diferencia entre el máximo y el mínimo valor de un conjunto de datos.

$$R_x = X_{max} - X_{min}$$

b) Numero de intervalos de clase (K)

Este valor se calcula con una regla de Sturges que está relacionado con la cantidad de datos (N).

$$K = 1 + 3.3 \times \log N$$

c) Tamaño de intervalos de clase

Se calcula con la siguiente relación:

$$C = \frac{R_x}{K}$$

d) Medidas de tendencia central

Las tres medidas que más comúnmente se emplean son la media, mediana y moda.

- La media aritmética (u)

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n f_i * X_i}{n}$$

Donde:

u = media aritmética

X = variable estadística discreta

n = número de elementos.

- Mediana (u_m)

Se calculará con la siguiente formula.

$$u_m = L_m + \left[\frac{\frac{n}{2} - F_{m-1}}{f_m} \right] * C_m$$

Donde:

L_m : Límite inferior del intervalo de clase de la Mediana.

n : Número total de datos.

F_{m-1} : Frecuencia acumulada del intervalo de clase que antecede al intervalo de la Mediana.

f_m : Frecuencia absoluta del intervalo de clase de la Mediana.

C_m : Ancho del intervalo de clase de la mediana.

- Moda (u_0)

Se calculará con la siguiente fórmula.

$$u_0 = L_0 + \left[\frac{f_0 - f_{0-1}}{(f_0 - f_{0-1}) + (f_0 - f_{0+1})} \right] * C_0$$

Donde:

Lo : Extremo inferior del intervalo modal (intervalo que tiene mayor frecuencia absoluta).

fo : Frecuencia absoluta del intervalo modal.

fo-1 : Frecuencia absoluta del intervalo anterior al modal.

fo+1 : Frecuencia absoluta del intervalo posterior al modal.

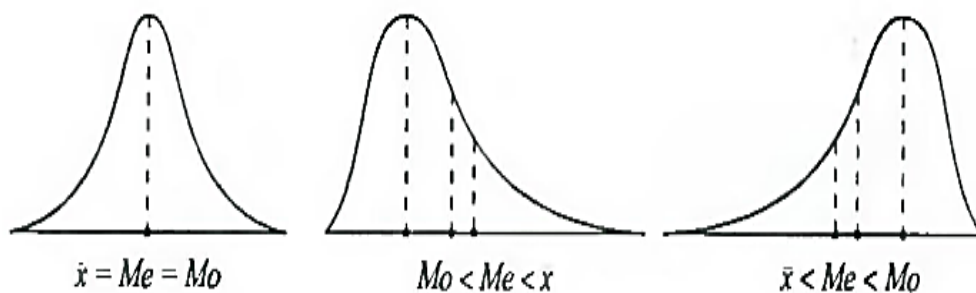
Co : Ancho del intervalo de clase de la moda.

Relación entre la media, mediana y moda, tal como se muestra en la figura 39.

- Si media=moda=mediana, distribución simétrica perfecta.
- Si media>mediana, distribución asimétrica con cola a la derecha.
- Si media<mediana, distribución asimétrica con cola a la izquierda.

Figura 39

Diferentes distribuciones de la campana de Gauss



Fuente: Adaptado de (Cordova, 2003)- pág. 51

e) Medidas de dispersión central

- La varianza (σ^2)

$$\rho^2 = \frac{\sum_{i=1}^n f_i (X_i - u)^2}{n - 1}$$

- Desviación estándar (σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (X_i - u)^2}{n - 1}}$$

- Coeficiente de variación (C_v)

$$C_v = \frac{\sigma}{u} \times 100$$

En la presente tesis se ha considerado evaluar los resultados con los parámetros estadísticos de medidas de dispersión como el rango de la desviación estándar y el coeficiente de variación, en función a la tabla 47.

Tabla 47

Coeficiente de variación y desviación estándar

CLASES DE OPERACIÓN	DISPERSIÓN TOTAL				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	SUFICIENTE	DEFICIENTE
Concreto en obra	Menor a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	Mayor a 49.2
Concreto en laboratorio	Menor a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	Mayor a 24.6
	DISPERSIÓN ENTRE TESTIGOS				
	COEFICIENTE DE VARIACIÓN(CV)				
Concreto en obra	Menor a 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	Mayor a 5
Concreto en laboratorio	Menor a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	Mayor a 6

Fuente: Tópicos de tecnología del concreto, Ing. Enrique Pasquel Carvajal

3.6.2 Prueba de hipótesis

El esquema para realizar la prueba de hipótesis es la siguiente:

- Identificar el parámetro de interés:
- Establecer la hipótesis nula (H_0)

En la presente investigación se plantea la siguiente hipótesis nula $H_0: u_1 \geq u_2$.

c) Especificar una apropiada hipótesis alternativa (H_a):

- Si $H_a: u_1 > u_2$, significa que la región crítica se encuentra en la cola superior de la distribución normal del estadístico de prueba
- Si $H_a: u_1 < u_2$, significa que la región crítica se encuentra en la cola inferior de la distribución normal del estadístico de prueba

Para fines de esta investigación se plantea, $H_a: u_1 < u_2$.

d) Seleccionar el nivel de significancia

- $\alpha = 0.10$ con 90% de probabilidad de certeza.
- $\alpha = 0.05$ con 95% de probabilidad de certeza.
- $\alpha = 0.01$ con 99% de probabilidad de certeza.

Tabla 48

Determinación del nivel de significancia

	Puntuación Z	Distancia de “Z” a la media	Área de la parte mayor	Área de la parte menor
	1.64	0.4495	0.9495	0.0505
Interpolar de la tabla	Z	-	0.9500	0.0500
	1.65	0.4505	0.9505	0.0495

Fuente: Extraído de cuadros estadísticos del “Anexo 2”

Para la obtención de Z se interpola para un nivel de significancia de 0.0500, nos resulta $Z = 1.645$, este valor se utilizará para todas las pruebas de hipótesis.

e) **Establecer el estadístico de prueba**

El estadístico de prueba permite rechazar o aceptar la hipótesis propuesta según al valor que se obtenga y al nivel de significancia.

Si se tienen dos muestras en estudio y se quieren comparar una con la otra, el estadístico de prueba será: Prueba Z (z Test_2 Samp)

- Procedimiento de cálculo

$$Z_0 = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

Z_0 : Estadístico de prueba. (Normal).

u_1, u_2 : Resistencia promedio de los dos grupo.

σ_1, σ_2 : Desviación estándar de los dos grupo.

n_1, n_2 : Cantidad especímenes de los dos grupo

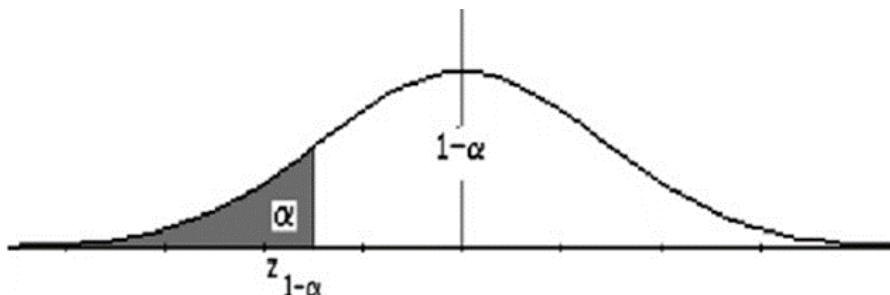
Donde se considera que, si ambas poblaciones presentan una distribución Normal, entonces la distribución de $X_1 - X_2$, también será una distribución Normal con media $u_1 - u_2$ y varianza $\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}$

Las puntuaciones Z nos indican la dirección y el grado en que un valor individual obtenido se aleja de la media (u) en una escala de unidades de desviación estándar.

- f) Establecer la región de rechazo para el estadístico

Figura 40

Rango de aceptación y rechazo de la hipótesis nula



Fuente Obtenida de “Estadística aplicada “Alberto Castillo Morales



Entonces se rechaza la hipótesis nula, si $Z_0 < Z$ (Z adquiere valores negativos, por tratarse de una hipótesis alternativa unilateral con cola inferior de la distribución normal)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo presentamos los resultados de los ensayos en estado fresco que es la trabajabilidad y el asentamiento, así mismo en estado endurecido como son las propiedades mecánicas las cuales son: la resistencia a la compresión simple y flexión, además de los resultados de las propiedades hidráulicas como es el estudio de la permeabilidad con la adición de fibras de vidrio en proporciones de 0.05%, 0.10% y 0.15% con respecto al peso de los materiales, comparándolos con la muestra de concreto permeable patrón elaborado sin fibra de vidrio.

4.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DEL CONCRETO PERMEABLE EN ESTADO FRESCO

4.1.1 Asentamiento y trabajabilidad del concreto permeable

Tabla 49

Trabajabilidad del concreto permeable con 0.05%, 0.10% y 0.15% de fibra

Tipo	Slump	Consistencia	Trabajabilidad
Concreto patrón sin fibra de vidrio	0"	Seca	Poco trabajable
Concreto con 0.05% de fibra de vidrio	0"	seca	Poco trabajable
Concreto con 0.10% de fibra de vidrio	0"	seca	Poco trabajable
Concreto con 0.15% de fibra de vidrio	0"	seca	Casi intrabajable

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De acuerdo con la tabla 49 el asentamiento es de 0" con una consistencia seca tanto para el concreto patrón sin fibra como para los concretos diseñados con adición de

fibra, ya que, a medida que se aumenta la fibra de vidrio en el concreto permeable se hace más complicado la manipulación de la mezcla, tal que, adicionando 0.05%, 0.10% la mezcla es aún trabajable o poco trabajable, sin embargo, cuando se le adiciona 0.15% de fibra de vidrio nos reporta una mezcla casi intrabajable, siendo la más crítica en este aspecto, lo cual indica que dificultaría en el proceso constructivo de pavimentos permeables ante una aplicación en la ciudad de Juliaca

4.2 RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO PERMEABLE

4.2.1 Resistencia a la compresión simple

A. Resultados de la resistencia a la compresión simple de la muestra patrón

Tabla 50

Resistencia a compresión simple del concreto permeable con agregado de 1/2"

Grupos de control	Edad (días)	Área (cm ²)	Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Lectura del dial (kg)	Resistencia obtenida (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
CP-1/2"-01	7	79.33	175	5898	74.35	
CP-1/2"-02	7	80.44	175	6152	76.48	75.27
CP-1/2"-03	7	81.07	175	6078	74.97	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Según la tabla 50 la resistencia a la compresión simple del concreto permeable (CP) con agregado de 1/2" sin fibra de vidrio para los 7 días de curado, se obtuvo una resistencia promedio de 75.27 kg/cm²

Tabla 51*Resistencia a la compresión del concreto con agregado de 3/8"*

Grupos de control	Edad (días)	Área (cm ²)	Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Lectura del dial (kg)	Resistencia obtenida (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
CP 3/8"-01	7	80.60	175	7278	90.30	
CP 3/8"-02	7	80.75	175	7112	88.07	
CP 3/8"-03	7	80.28	175	7329	91.30	89.79
CP 3/8"-04	7	80.60	175	7176	89.04	
CP 3/8"-05	7	80.75	175	7289	90.26	
CP 3/8"-01	14	81.55	175	10730	131.57	
CP 3/8"-02	14	80.12	175	10679	133.29	
CP 3/8"-03	14	80.60	175	10717	132.97	132.82
CP 3/8"-04	14	79.64	175	10689	134.21	
CP 3/8"-05	14	80.60	175	10643	132.06	
CP 3/8"-01	28	81.23	175	13778	169.61	
CP 3/8"-02	28	79.64	175	13629	171.13	
CP 3/8"-03	28	81.39	175	13898	170.75	169.96
CP 3/8"-04	28	81.87	175	13889	169.64	
CP 3/8"-05	28	79.96	175	13486	168.66	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

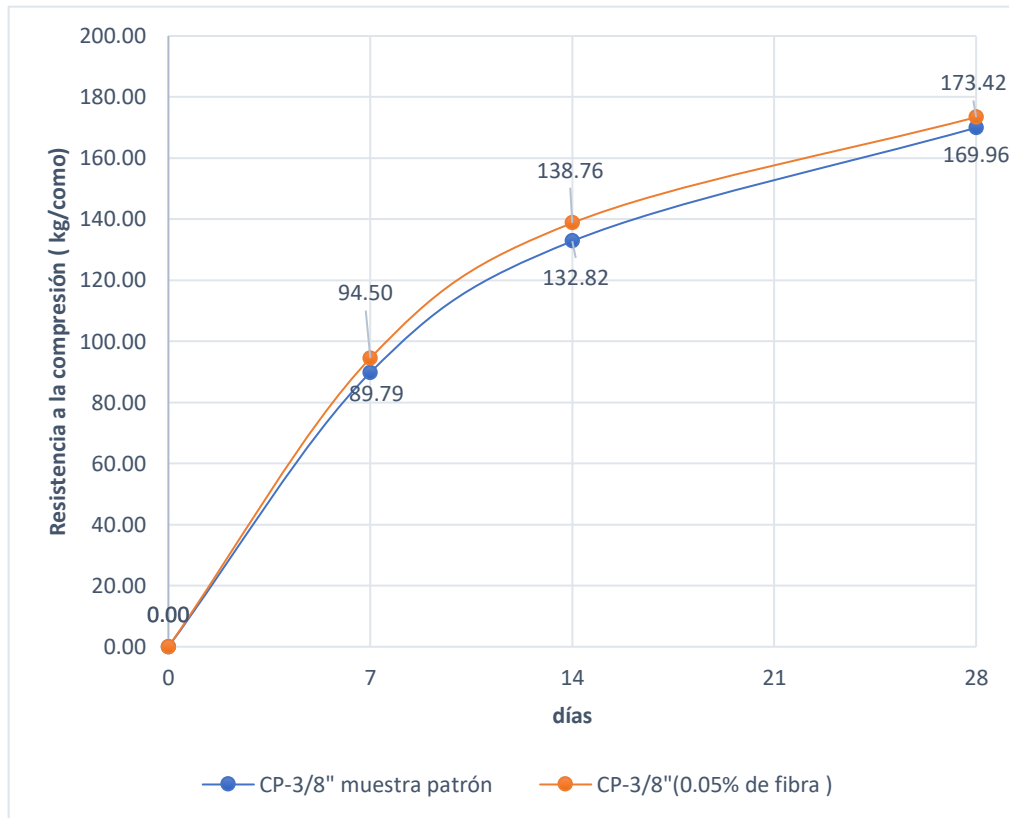
Con respecto a la tabla 51 la resistencia promedio a la compresión simple del concreto permeable con agregado de 3/8" sin fibra de vidrio, se obtuvo 89.79 kg/cm², 132.82 kg/cm², 169.96 kg/cm² a los 7, 14 y 28 días de curado respectivamente.

De acuerdo con los resultados obtenidos a los 7 días de curado, se puede indicar que el que mejor desempeño tiene en términos de resistencia a la compresión es el que fue diseñado con el agregado de tamaño de 3/8", por lo tanto, se escoge como muestra patrón para poder comparar con los concretos permeables diseñados con adición de fibras de vidrio.

B. Resultados de la resistencia a la compresión simple del concreto permeable con tamaño de agregado de 3/8" con adición de fibras de vidrio en 0.05%.

Figura 41

Evolución del concreto permeable con 0.05% de fibra



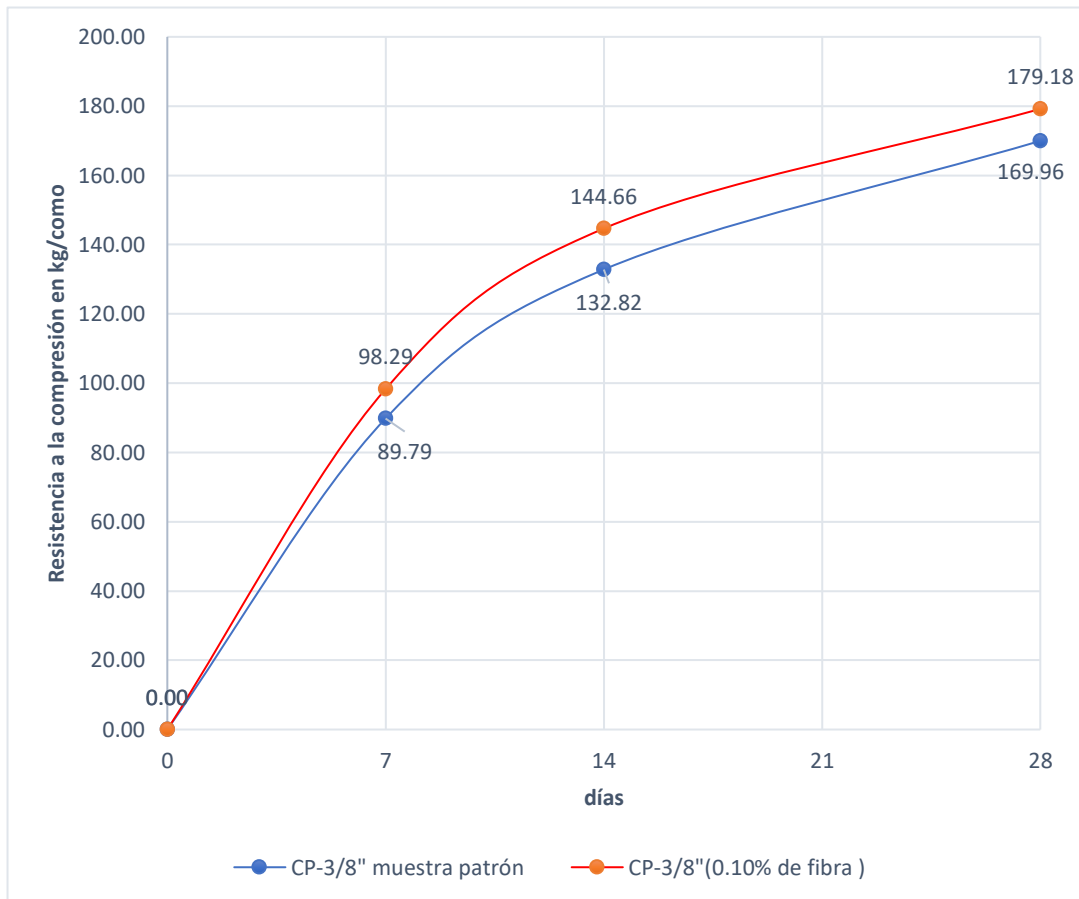
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se puede observar que tanto a los 7 días, 14 días y 28 días se ve un incremento en la resistencia a la compresión en 4.71 kg/cm^2 , 5.94 kg/cm^2 y 3.46 kg/cm^2 respectivamente con respecto a la muestra de concreto patrón, estos resultados indican que el incremento es mínimo, por lo tanto, no sería representativa con esta adición de fibra.

C. Resultados de la resistencia a la compresión simple del concreto permeable con tamaño de agregado de 3/8" con adición de fibras de vidrio en 0.10%.

Figura 42

Evolución del concreto permeable con 0.10 % de fibra



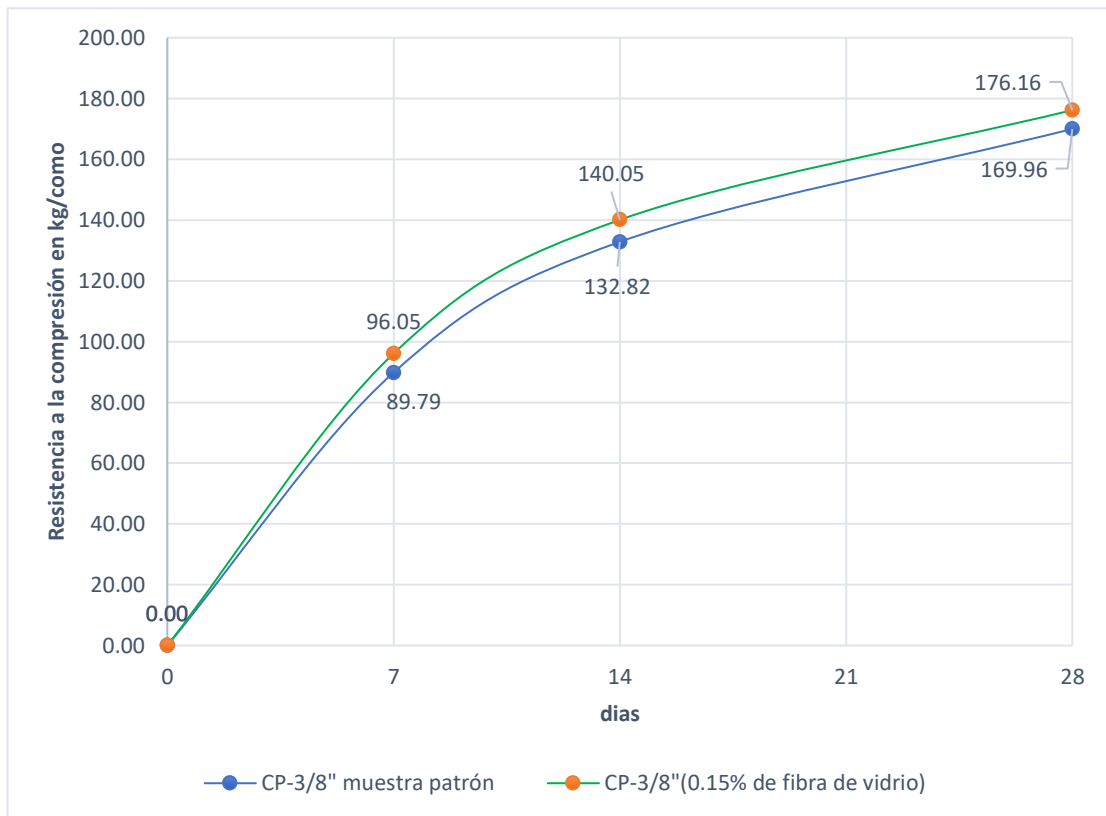
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Según la figura se puede apreciar que tanto a los 7 días, 14 días y 28 días se ve un incremento en la resistencia a la compresión simple en 8.49 kg/cm², 11.84 kg/cm² y 9.22 kg/cm² respectivamente con respecto a la muestra de concreto patrón, el cual presenta un mejor desempeño obteniendo un incremento mayor en comparación al concreto con fibras de vidrio en 0.05%.

D. Resultados de la resistencia a la compresión simple del concreto permeable con tamaño de agregado de 3/8" con adición de fibras de vidrio en 0.15%.

Figura 43

Comparación de la evolución del concreto permeable con 0.15 % de fibra con respecto a la muestra de concreto patrón



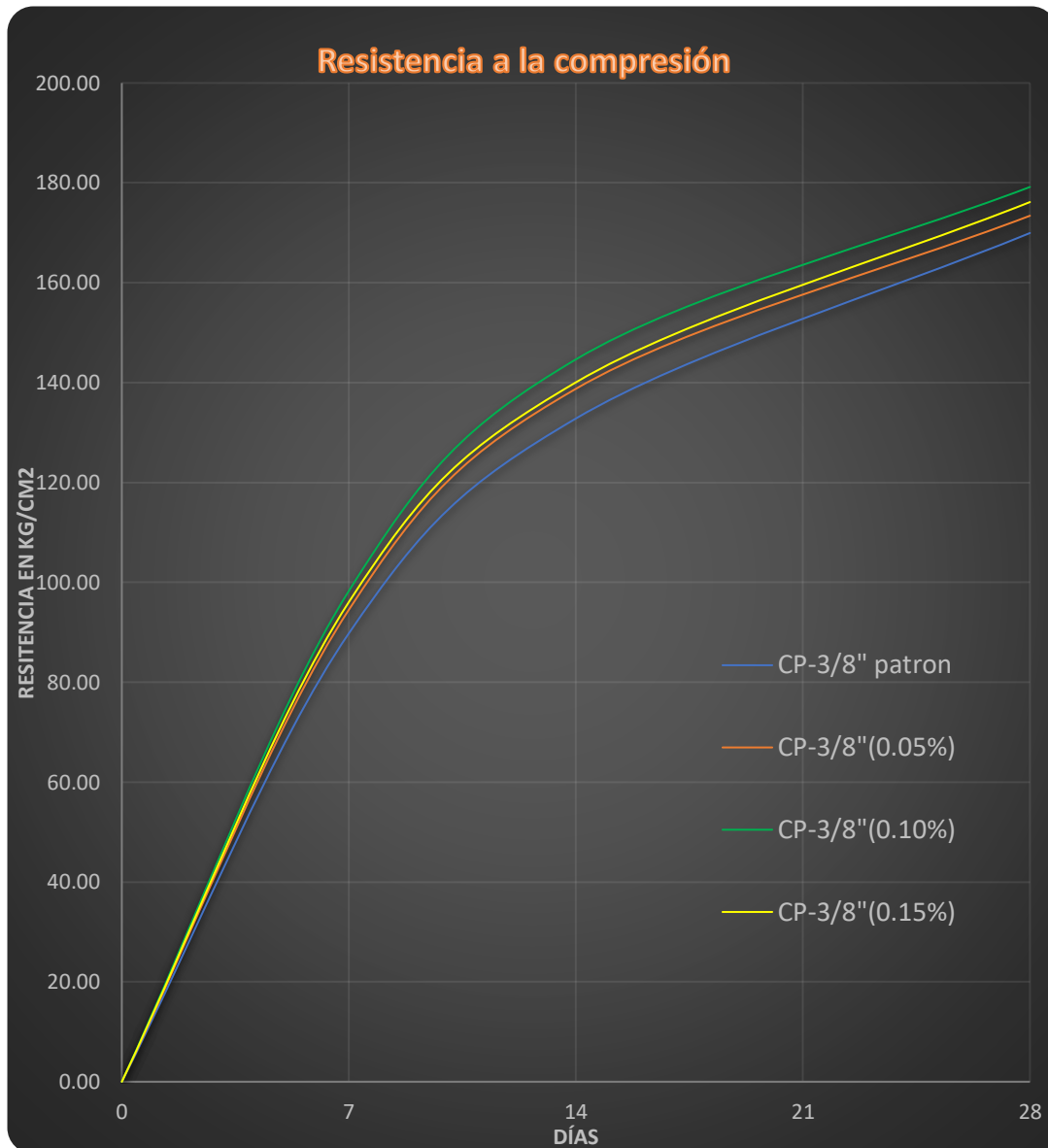
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la figura se observa que tanto a los 7 días, 14 días y 28 días se ve un incremento en la resistencia a la compresión simple en 6.26 kg/cm², 7.23 kg/cm² y 6.20 kg/cm² respectivamente con respecto a la muestra de concreto patrón, sin embargo, se puede evidenciar que presenta un incremento a la resistencia a la compresión menor o inferior en comparación al concreto permeable con adición de fibras en 0.10%.

4.2.1.1 Análisis de la resistencia a la compresión simple

Figura 44

Evolución de la resistencia a la compresión simple de los grupos de control



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De acorde a la evolución de la resistencia a la compresión del concreto permeable para todos los grupos de control, podemos indicar que a los 7 días de curado el que resulta más favorable es el concreto permeable diseñado con adición de fibras en un porcentaje de 0.10% aumentando la resistencia a la compresión simple en 8.50 kg/cm^2 con respecto a la muestra patrón.



También a los 14 días se puede evidenciar que el resultado más favorable fue el concreto permeable diseñado con la adición de fibras de vidrio en un porcentaje de 0.10% aumentando la resistencia a la compresión en 11.84 kg/cm^2 con respecto a la muestra patrón.

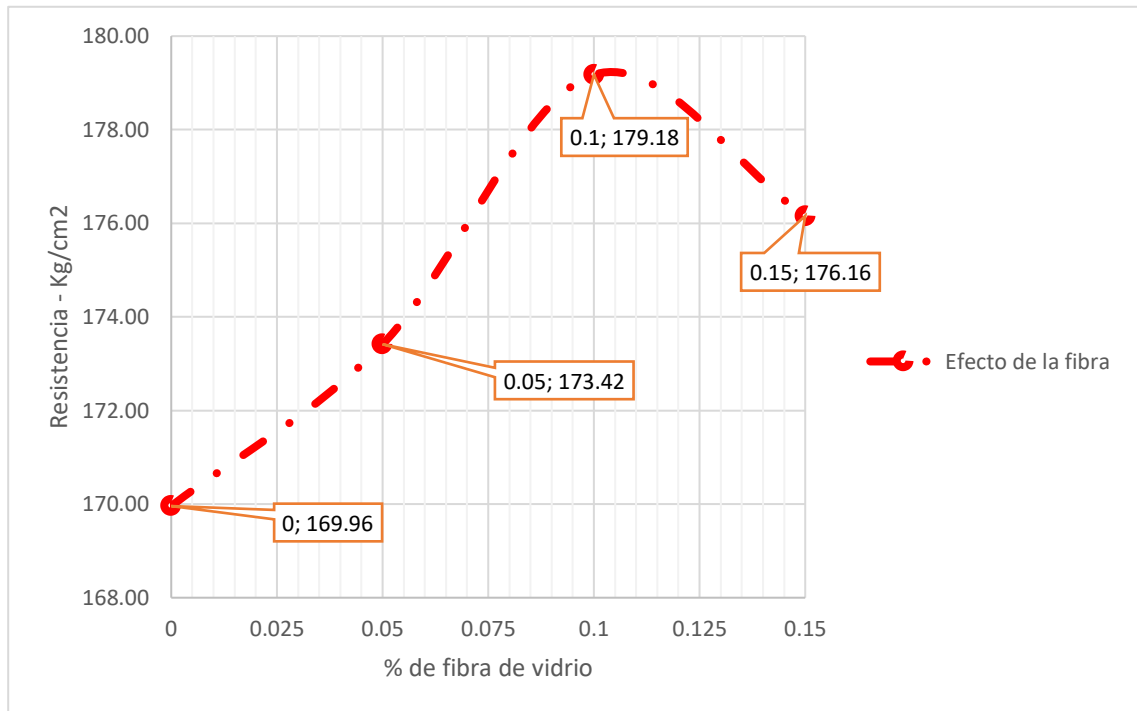
Así mismo a los 28 días se puede apreciar que también el concreto más favorable es aquel diseñado con la adición de fibras de vidrio en 0.10%, aumentando la resistencia a la compresión en 9.22 kg/cm^2 con respecto a la muestra patrón diseñado sin fibras de vidrio.

A cerca del concreto permeable diseñado con la adición de fibras en 0.15%, se observa que disminuye en la resistencia a la compresión con respecto al concreto diseñado con 0.10%, esto sucede porque al momento de realizar el diseño de mezclas la cantidad de fibras de vidrio en 0.15% es una cantidad considerable de fibra, por consiguiente, resulta casi intrabajable haciendo que las fibras se enreden entre si ocasionando que se concentren en un determinado área de la mezcla ,lo cual, genera una mezcla no homogénea, consecuentemente trayendo consigo disminución en la resistencia a la compresión simple en 3.02% con respecto al concreto con adición de 0.10% de fibra de vidrio a los 28 días de curado, el cual se ve reflejado en los resultados de la evolución del concreto permeable.

En la figura 45 se presenta el efecto de la adición de la fibra de vidrio en el concreto permeable en los porcentajes de 0.05%, 0.10% y 0.15% a la edad 28 días, la cual representa la resistencia final a la que llegaría.

Figura 45

Efecto de la fibra de vidrio en la resistencia del concreto simple del concreto



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Conforme a la figura el exceso de la adición de las fibras de vidrio a partir de un porcentaje de 0.10% disminuye en la resistencia a la compresión simple del concreto permeable.

Figura 46

Probetas cilíndricas sometidas a la compresión simple



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Con respecto a la figura 46 podemos identificar las fallas más comunes reportadas en el ensayo de compresión, las cuales fueron grietas columnares que corresponde al tipo c y la falla más frecuente fueron las fracturas laterales en la parte superior de la probeta que corresponde al tipo f, presentados en la figura 5, así mismo, de las fallas se pudo identificar que el esfuerzo aplicado a las probetas no es de forma homogénea en las caras de contacto, esto sucede porque las probetas de concreto permeable presentan rugosidades o irregularidades en las caras de contacto ocasionadas por los agregados, originando que el esfuerzo a compresión se concentre o afecte en un solo punto de la cara de contacto de la probeta ensayada, trayendo como consecuencia menores valores de resistencia.

4.2.2 Resistencia a la flexión

A. Resultados de la resistencia a la flexión de la muestra patrón

Tabla 52

Resistencia a la flexión del concreto permeable patrón

Grupos de control	Edad (días)	Dimensiones (cm)		Distancia entre apoyos (cm)	Lectura del dial (kg-f)	Resistencia a flexión (kg-f/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
		Base	Altura				
C patrón 01	14	15.05	15.20	38.49	903	14.99	15.10
C patrón-02	14	15.05	15.40	38.49	967	15.64	
C patrón-03	14	15.12	15.28	38.49	896	14.65	
C patrón 01	28	15.17	15.00	38.49	1205	20.38	19.71
C patrón-02	28	15.43	14.99	38.49	1180	19.65	
C patrón-03	28	16.01	14.97	38.49	1186	19.08	

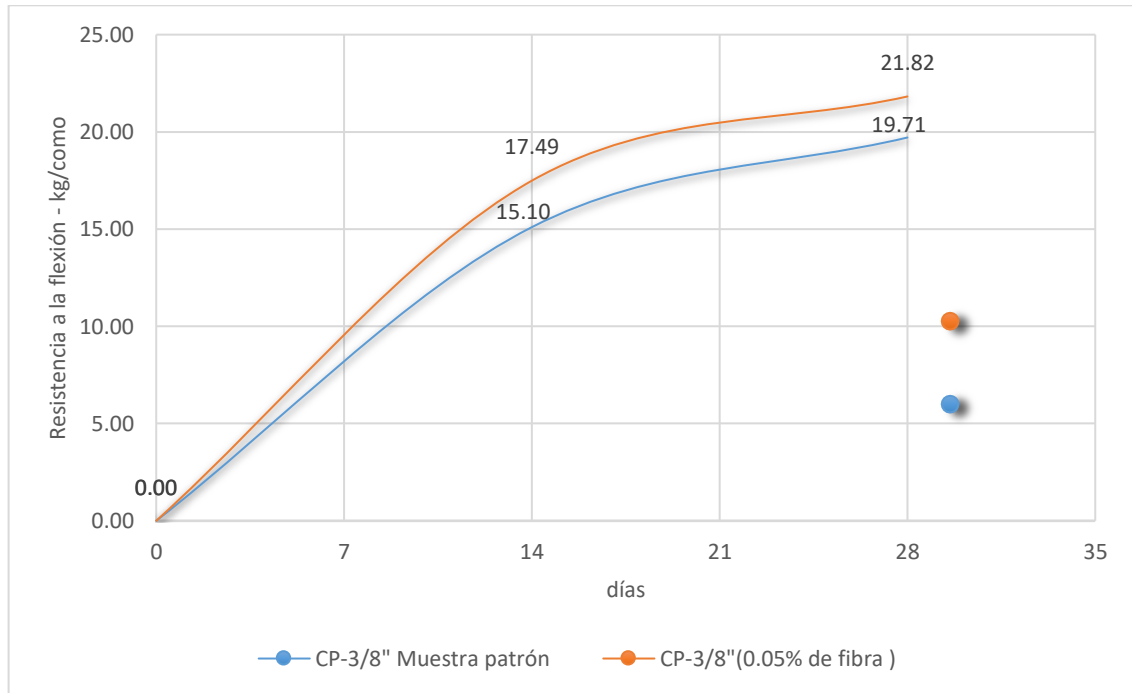
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En referencia a la tabla anterior la resistencia a la flexión promedio de la muestra patrón con un tamaño máximo de agregado de 3/8” para las edades de 14 días y 28 días de curado se obtuvo una resistencia promedio de 15.10 kg/cm² y 19.71 kg/cm² respectivamente.

B. Resultados de la resistencia a la flexión del concreto permeable con tamaño máximo de agregado de 3/8" con adición de fibra de vidrio en 0.05%

Figura 47

Evolución de la resistencia a la flexión del concreto con 0.05 % de fibras



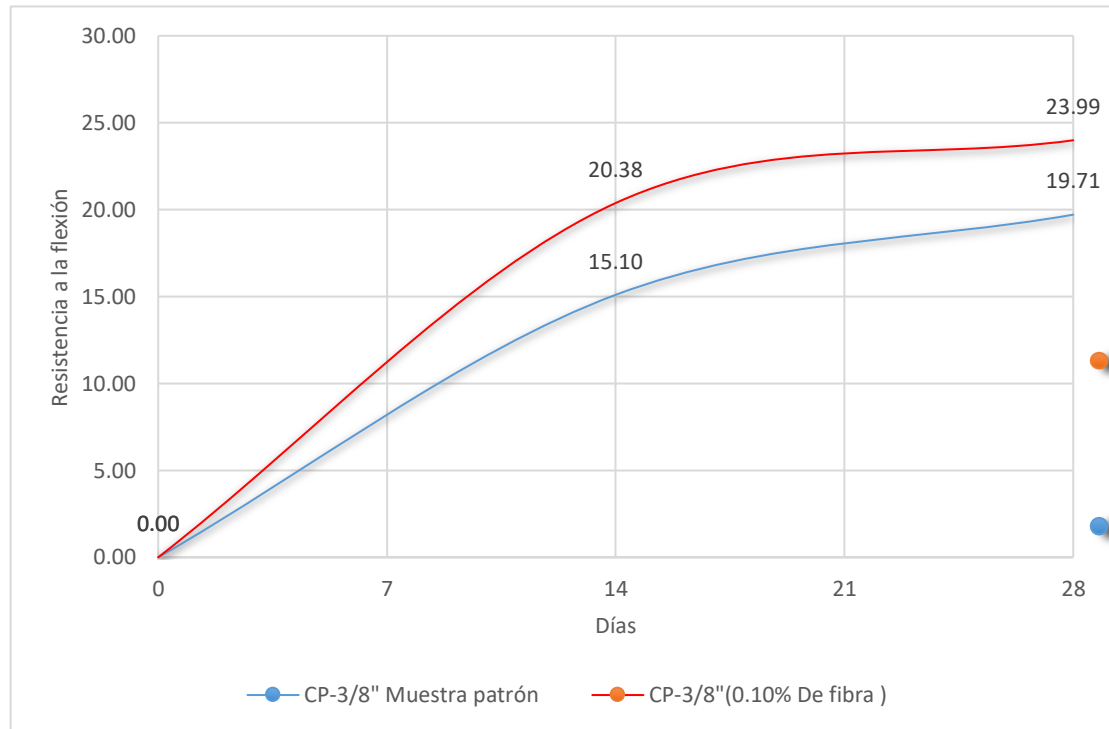
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

En la evolución de la resistencia a la flexión del concreto permeable con la adición de fibras de vidrio en 0.05% con respecto a la muestra patrón, para las edades de 14 y 28 días se evidencia un incremento de la resistencia a la flexión en 2.39 kg/cm^2 y 2.11 kg/cm^2 con respecto a la muestra de concreto patrón, con estos resultados se puede apreciar un incremento mínimo con este porcentaje de 0.05% de fibra, por lo que, lo consideramos un incremento no representativo.

C. Resultados de la resistencia a la flexión del concreto permeable con tamaño máximo de agregado de 3/8" con adición de fibra de vidrio en 0.10%

Figura 48

Evolución de la resistencia a la flexión del concreto permeable con 0.10% de fibras



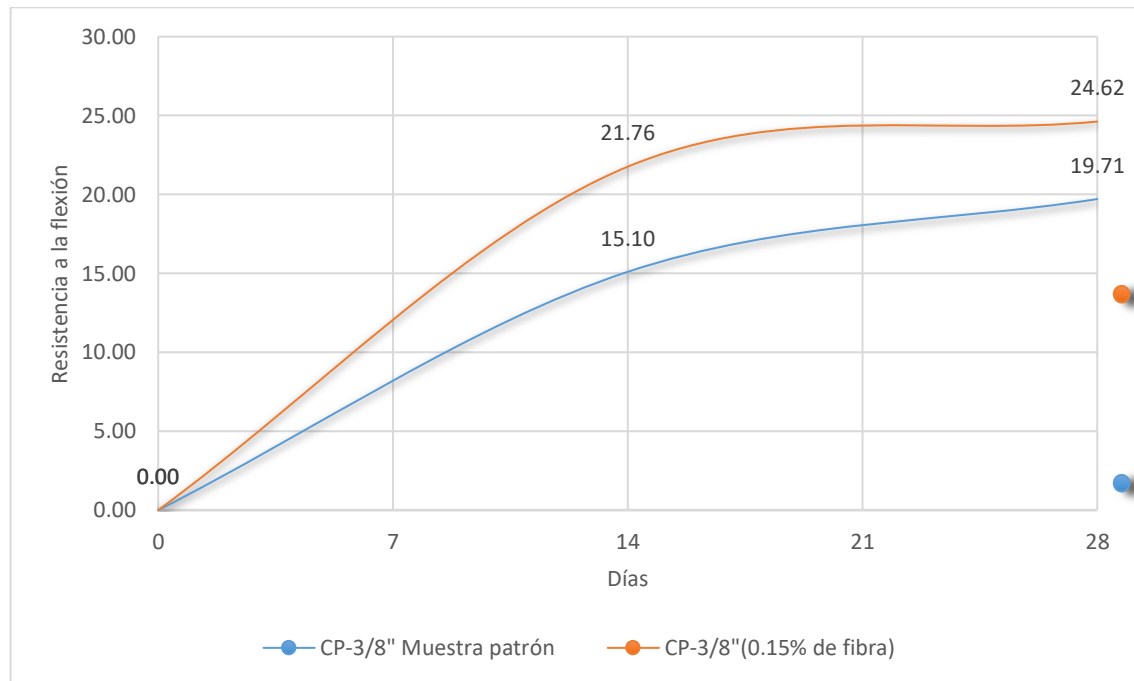
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tal como se puede apreciar en la figura 48, que a las edades de 14 y 28 días se evidencia un incremento de la resistencia a la flexión en 5.28 kg/cm² y 4.28 kg/cm² con respecto a la muestra patrón, estos resultados indican que estas fibras tienen un mejor desempeño en términos de resistencia a la flexión con respecto al concreto diseñado con adición de fibras en 0.05%.

D. Resultados de la resistencia a la flexión del concreto permeable con tamaño máximo de agregado de 3/8" con adición de fibra de vidrio en 0.15%

Figura 49

Evolución de la resistencia a la flexión del concreto permeable con 0.15 % de fibras



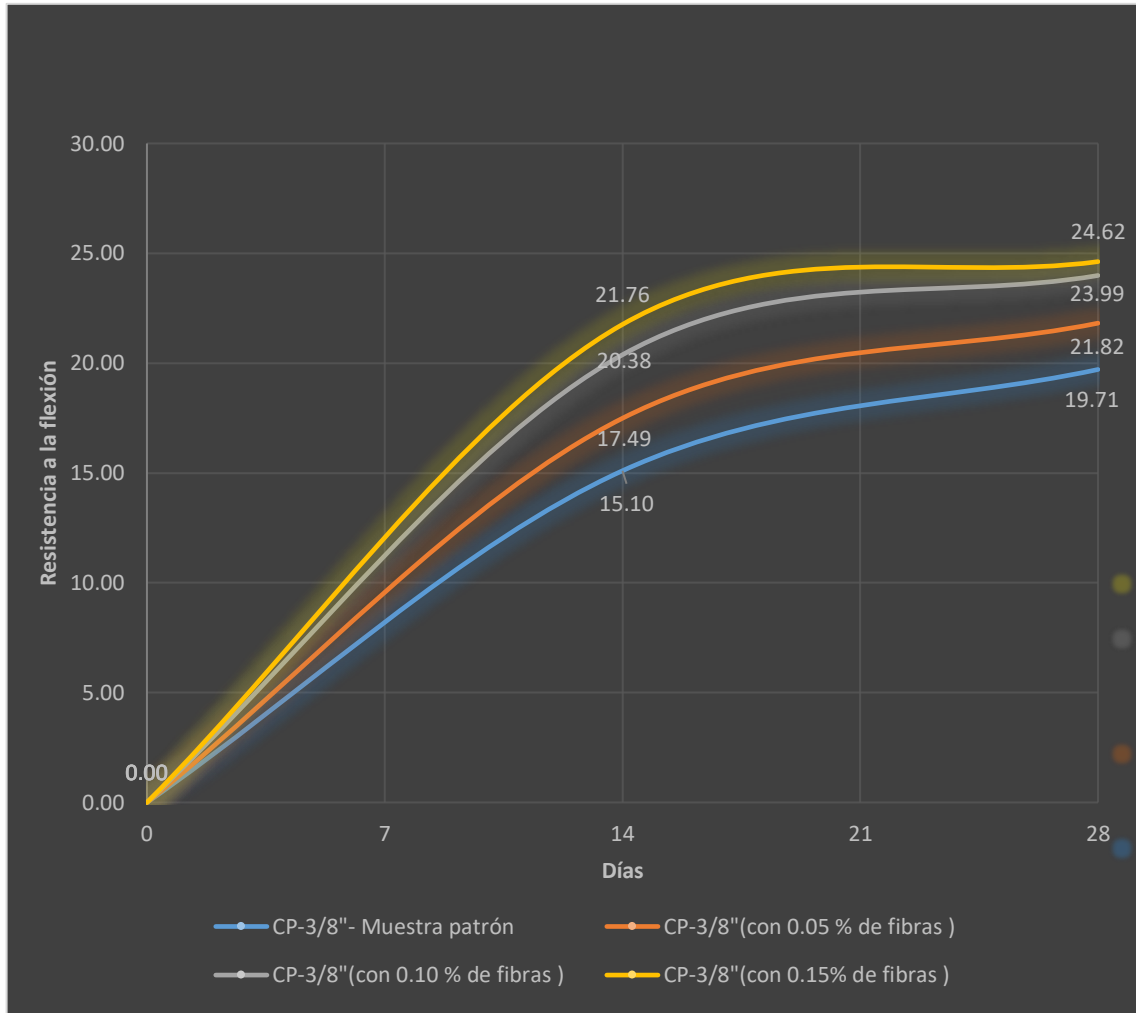
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De acuerdo a la figura se aprecia que a los 14 y 28 días se evidencia un incremento de la resistencia a la flexión del concreto permeable en 6.66 kg/cm^2 y 4.91 kg/cm^2 con respecto a la muestra patrón, estos resultados indican que estas fibras tienen un mejor desempeño en el concreto permeable, ya que se ve un incremento superior en comparación al concreto diseñado con fibras en 0.10%, aparentemente sería el porcentaje óptimo en la resistencia a la flexión, pero se debe tomar en cuenta aspectos como trabajabilidad entre otros, que ayudaran a definir el porcentaje óptimo el cual se analizará a continuación en las figuras 50 y 51.

4.2.2.1 Análisis de la resistencia a la flexión

Figura 50

Evolución de la resistencia a la flexión de los 4 grupos de control



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Se observa que la resistencia a la flexión del concreto permeable a los 14 días el resultado más favorable es el concreto permeable diseñado con adición de fibras en un porcentaje de 0.15% aumentando la resistencia a la flexión en 6.66 kg/cm^2 con respecto a la muestra patrón

A los 28 días se puede apreciar que también el concreto más favorable es aquel que fue diseñado con la adición de fibras de vidrio en 0.15%, aumentando la resistencia

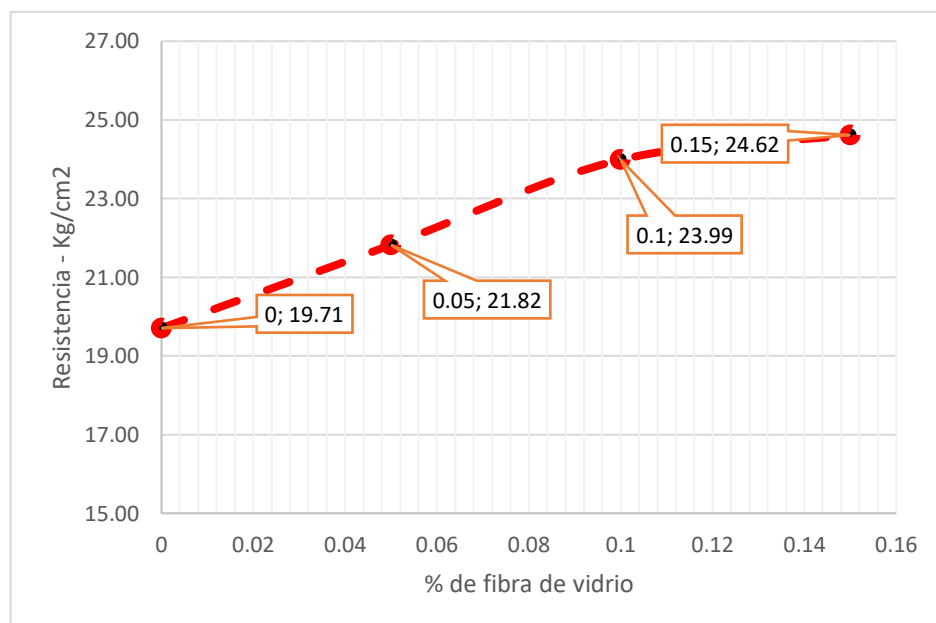
a la compresión en 4.91 kg/cm^2 con respecto a la muestra patrón diseñado sin fibras de vidrio.

Sin embargo, los resultados indican que cada vez que se aumenta en 0.05% la diferencia de aumento de valores en 0.05% y 0.10% son cuasi proporcionales, lo cual no sucede en la diferencia de fibra en 0.10% y 0.15%, los valores del concreto diseñado con 0.15% y 0.10% difieren en 1.38 kg/cm^2 a la edad de 14 días y 0.63 kg/cm^2 a la edad de 28 días de curado, lo cual, significa que difieren en una cantidad mínima, por lo cual no será conveniente aumentar este porcentaje de fibra

En la figura 51 se presenta el efecto de la adición de la fibra de vidrio en el concreto permeable en los porcentajes de 0.05%, 0.10% y 0.15% a la edad 28 días, la cual representa la resistencia a la flexión final a la que llegaría

Figura 51

Efecto de la fibra de vidrio en la resistencia a la flexión del concreto permeable



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Según la figura 51, se puede apreciar el franco crecimiento de los resultados de resistencia a la flexión desde la muestra patrón hasta el concreto diseñado con una adición de fibras de vidrio en 0.10% y desde este porcentaje al 0.15 % el aumento de aporte en

resistencia a la flexión es mínimo, por lo que se deduce que a partir de un porcentaje de 0.10% a más el aumento de fibra de vidrio en el concreto aportaría muy poco en términos de resistencia a la flexión en un concreto permeable, además, que para un porcentaje de 0.15 es casi intrabajable, ya que, las fibras de vidrio se entrelazan entre si acumulándose en un determinado sector de la mezcla ocasionando una distribución no homogénea, y este porcentaje hace que empeore en este aspecto, por lo que trae consigo un mínimo aporte en la resistencia en el concreto permeable y esto se ve reflejado en los resultados, por lo tanto teniendo en consideración todos estos aspectos se considera al 0.10% como el porcentaje optimo en términos de resistencia a la flexión.

Figura 52

Probetas prismáticas sometidas al ensayo de resistencia a la flexión



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Con respecto a la figura 52, se observa el fallo a flexión de las muestras prismáticas que generalmente se presentó, así mismo, se puede evidenciar la acumulación de fibras en un solo área o sector de la probeta prismática trayendo como consecuencia menores valores de resistencia a lo esperado en el caso de 0.15% de fibras.

4.3 RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS

Se evalúa solamente a la edad de 7 días, ya que, su estructura de poros es independiente de los días de curado, es decir la cantidad de poros que presenta el concreto permeable no varía, por lo tanto, sería lo mismo analizar a las edades de 14 o 28 días de curado.

4.3.1 Permeabilidad del concreto poroso

A. Resultados de la permeabilidad del concreto de la muestra patrón

Tabla 53

Coefficientes de permeabilidad de la muestra patrón con tamaño de agregado de 3/8"

Grupo de control	L (cm)	a (cm ²)	A (cm ²)	T (s)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	K (cm/s)	K prome dio (cm/s)
C patrón-01	20.33	79.01	91.10	274	30.00	1.00	0.29	
C patrón-3/8"-02	19.94	76.82	91.10	297	30.00	1.00	0.27	0.27
C patrón-3/8"-03	20.28	80.75	91.10	307	30.00	1.00	0.25	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Con respecto a la tabla 53 el coeficiente permeabilidad de la muestra patrón con agregado de 3/8" para la edad de 7 días de curado fue de 0.27 cm/s.

B. Resultados de la permeabilidad del concreto permeable con tamaño de agregado de 3/8” con adición de fibra de vidrio en 0.05%

Tabla 54*Permeabilidad del concreto permeable con 0.05 % de fibra de vidrio*

Grupo de control	L (cm)	a (cm ²)	A (cm ²)	T (s)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	K (cm/s)	K promedio (cm/s)
CP-3/8"(0.05)-01	20.31	76.36	91.10	327	30.00	1.00	0.25	
CP-3/8"(0.05)-02	20.27	79.80	91.10	351	30.00	1.00	0.22	0.23
CP-3/8"(0.05)-03	19.98	78.70	91.10	358	30.00	1.00	0.22	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De acuerdo a la tabla anterior el coeficiente de permeabilidad promedio del concreto con adición de fibras de vidrio en 0.05%, es de 0.23 cm/s para la edad de 7 días de curado, así mismo, la permeabilidad del concreto con 0.05% de fibra de vidrio disminuye en 0.04 cm/s con respecto a la muestra patrón.

C. Resultados de la permeabilidad del concreto permeable con tamaño de agregado de 3/8” con adición de fibra de vidrio en 0.10%

Tabla 55*Permeabilidad del concreto permeable con 0.10 % de fibra de vidrio*

Grupo de control	L (cm)	a (cm ²)	A (cm ²)	T (s)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	K (cm/s)	K promedio (cm/s)
CP-3/8"(0.10)-01	20.34	76.98	91.10	397	30.00	1.00	0.21	
CP-3/8"(0.10)-02	20.25	81.87	91.10	387	30.00	1.00	0.20	
CP-3/8"(0.10)-03	20.25	80.75	91.10	389	30.00	1.00	0.20	0.20

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Conforme a la tabla anterior el coeficiente de permeabilidad promedio del concreto con una adición de fibras de vidrio en 0.10 % para la edad de 7 días de curado



fue de 0.20 cm/s, por lo que, el concreto permeable con 0.10 % de fibra de vidrio disminuye en 0.07 cm/s con respecto a la muestra patrón.

D. Resultados de la permeabilidad del concreto permeable con tamaño de agregado de 3/8” con adición de fibra de vidrio en 0.15 %

Tabla 56

Permeabilidad del concreto permeable con 0.15% de fibra de vidrio

Grupo de control	L (cm)	a (cm ²)	A (cm ²)	T (s)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	K (cm/s)	K promedio (cm/s)
CP-3/8"(0.15)-01	20.32	83.00	91.10	409	30.00	1.00	0.19	
CP-3/8"(0.15)-02	20.35	83.48	91.10	415	30.00	1.00	0.18	0.19
CP-3/8"(0.15)-03	20.45	80.91	91.10	408	30.00	1.00	0.19	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En referencia a la tabla 56 el coeficiente de permeabilidad promedio del concreto para una adición de fibras de vidrio en 0.15 % para los 7 días de curado es de 0.19 cm/s, sin embargo, el concreto permeable con 0.15 % de fibra de vidrio disminuye en 0.08 cm/s con respecto a la muestra patrón.

- **Compatibilidad con las precipitaciones en la ciudad de Juliaca.**

En la tabla 57 se presentan los resultados del caudal o capacidad de filtración de las probetas cilíndricas.

Tabla 57*Capacidad de filtración de las probetas de control*

Grupo de control	Diámetro (m)	Altura del agua	Tiempo (s)	Caudal de infiltración (l/s)	Caudal promedio (l/s)
C. patrón-3/8"-01	0.100	0.30	274	0.0087	
C. patrón-3/8"-02	0.099	0.30	297	0.0078	0.0081
C. patrón-3/8"-03	0.101	0.30	307	0.0079	
CP-3/8"(0.05)-01	0.099	0.30	327	0.0070	
CP-3/8"(0.05)-02	0.101	0.30	351	0.0068	0.0068
CP-3/8"(0.05)-03	0.100	0.30	358	0.0066	
CP-3/8"(0.10)-01	0.099	0.30	397	0.0058	
CP-3/8"(0.10)-02	0.102	0.30	387	0.0063	0.0061
CP-3/8"(0.10)-03	0.101	0.30	389	0.0062	
CP-3/8"(0.15)-01	0.103	0.30	409	0.0061	
CP-3/8"(0.15)-02	0.103	0.30	415	0.0060	0.0060
CP-3/8"(0.15)-03	0.102	0.30	408	0.0059	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De acuerdo a la tabla 57 podemos deducir que el coeficiente de permeabilidad y el caudal de filtración se relacionan de forma creciente, es decir a mayor coeficiente de permeabilidad, mayor será el caudal de filtración, cabe resaltar que estos valores de filtración se realizaron para una probeta con un área de 0.007853982 m^2 .

Tabla 58*Capacidad de filtración por m^2 para cada tipo de dosificación de concreto permeable*

Grupos de control	Caudal de filtración promedio de la probeta (l/s)	Caudal de filtración promedio para 1 m^2 (l/s)	Precipitación (l/s/m^2)
Concreto patrón-3/8"	0.0081	1.031	0.176
CP-3/8"(0.05% de fibra)	0.0068	0.867	0.176
CP-3/8"(0.10% de fibra)	0.0061	0.781	0.176
CP-3/8"(0.15% de fibra)	0.0060	0.767	0.176

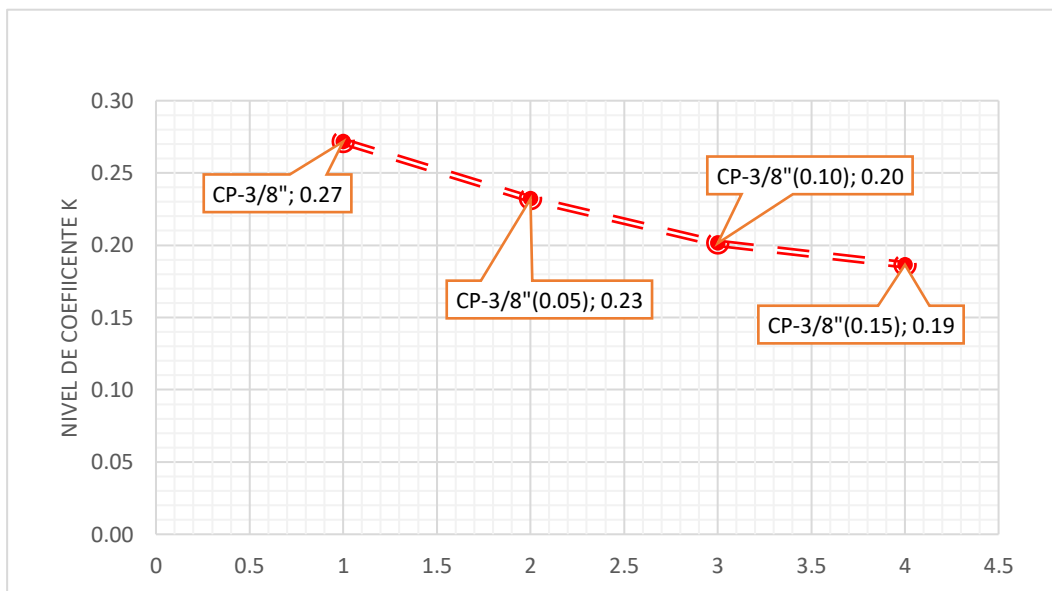
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Según la tabla 58 tanto para el concreto permeable patrón y los concretos con fibras de vidrio en 0.05, 0.10 y 0.15 % presentan un caudal de filtración mayores a los datos de la precipitación para $1m^2$, por lo que, podemos afirmar que estos concretos permeables contrarrestan la precipitación de la ciudad de Juliaca de manera óptima, por lo tanto, cumplen la función de reducir la escorrentía superficial e inundaciones en las zonas empleadas.

4.3.1.1 *Análisis del coeficiente permeabilidad del concreto*

Figura 53

Coefficientes de permeabilidad para los grupos de control.



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En base a la figura 53 se puede precisar que a medida que se adiciona fibra de vidrio el coeficiente de permeabilidad disminuye, para la adición de fibra en el porcentaje de 0.05% la permeabilidad disminuye en 14.81%, cuando se adiciona 0.10 % de fibra su permeabilidad disminuye en 25.90%, así mismo, con la adición 0.15% de fibra su permeabilidad disminuye en 29.70 % con respecto al muestra patrón, es decir que la permeabilidad tiene una tendencia negativa conforme se va adicionando fibras de vidrio en el concreto permeable diseñado con tamaño máximo de agregado de $3/8''$, esto sucede porque la fibra de vidrio presenta un comportamiento similar al del agregado fino



rellenando los poros al mezclarse con el agua y cemento, generando la reducción del contenido de vacíos o poros que presenta el concreto permeable .

Sin embargo, según los resultados mostrados también se puede indicar que los concretos permeables diseñados con la adición de fibras de vidrio en los porcentajes de 0.05%, 0.10% y 0.15% se encuentran dentro del rango de 0.14 a 1.22 cm/s, por lo tanto, aún siguen siendo considerados concretos permeables cumpliendo con los requerimientos mínimos de permeabilidad establecidos en la norma ACI- 522R.

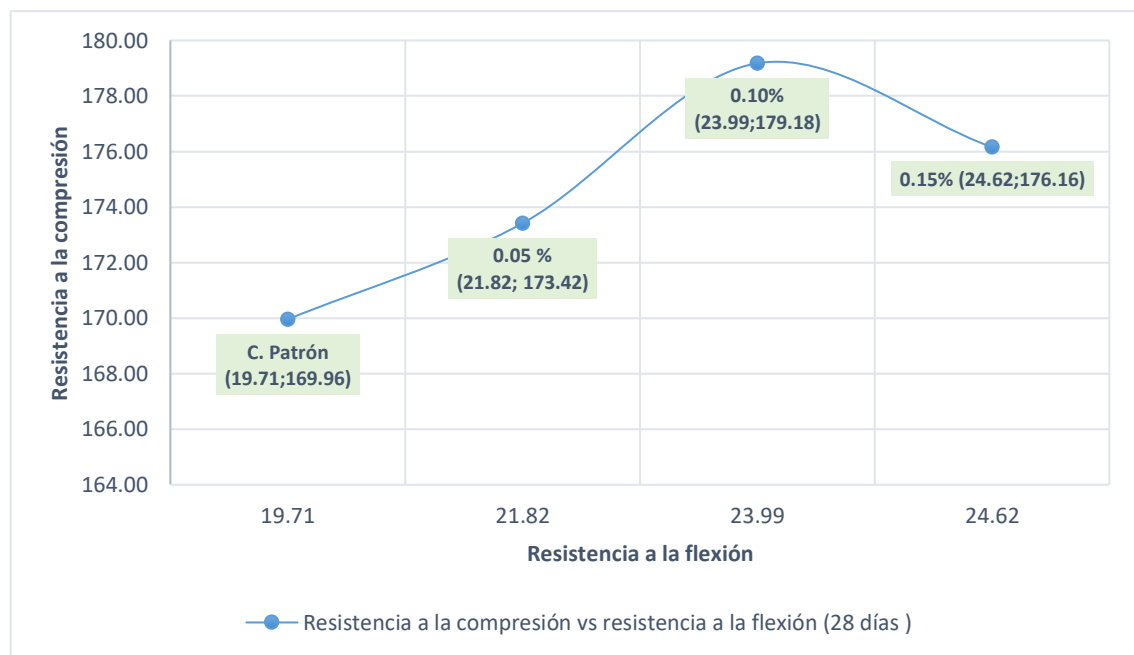
4.4 INTERPRETACIÓN CRUZADA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DEL CONCRETO PERMEABLE

En esta sección se describe la relación cruzada de las propiedades mecánicas e hidráulicas en estudio que son: la resistencia a la compresión simple versus la resistencia a la flexión, la resistencia a la flexión versus la permeabilidad y por último la resistencia a la compresión vs la permeabilidad del concreto.

a) Resistencia a la compresión vs resistencia a la flexión del concreto permeable

Figura 54

Resistencia a la compresión vs resistencia a la flexión (28 días)



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Según la teoría se sabe que la resistencia a la flexión representa del 10% al 15 % la resistencia a la compresión de un mismo concreto a la edad de 28 días de curado, entonces podemos precisar que:



Para un concreto diseñado con adición de fibras de vidrio en 0.05% indica que la resistencia a la flexión es 21.82 kg/cm^2 el cual representa el 12.58% de la resistencia a la compresión, el cual está dentro del rango establecido.

Para un concreto diseñado con adición de fibras de vidrio en 0.10 % indica que la resistencia a la flexión es 23.99 kg/cm^2 el cual representa el 13.39% de la resistencia a la compresión, el cual está dentro del rango establecido.

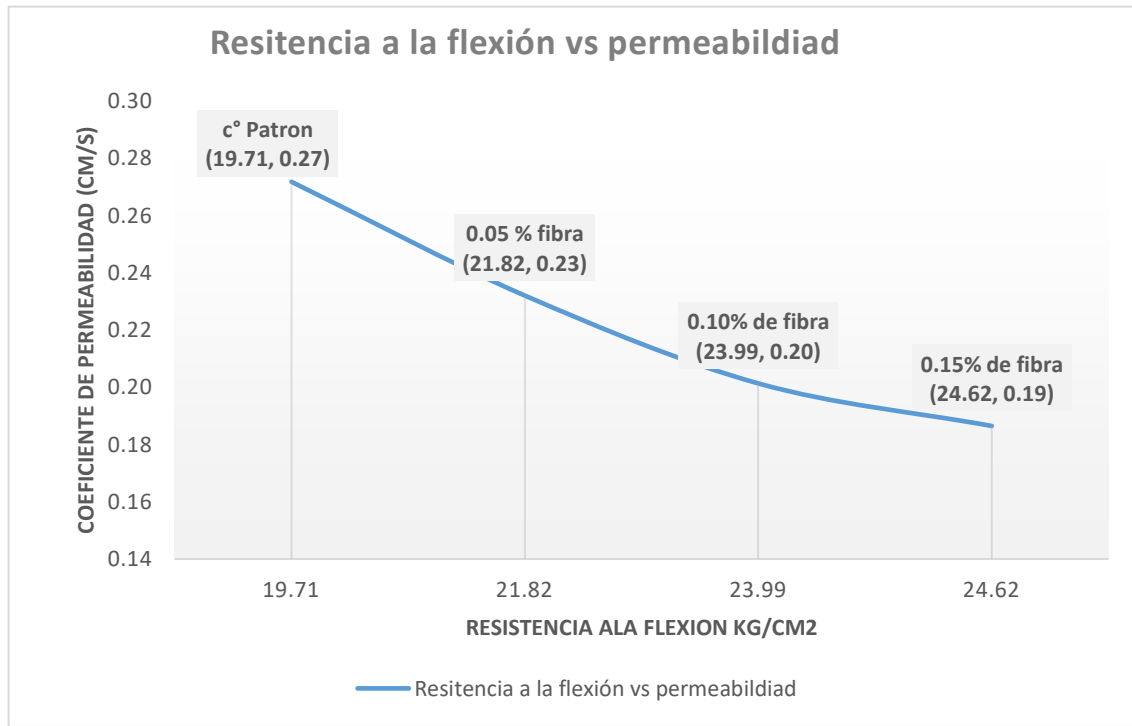
Para un concreto diseñado con adición de fibras de vidrio en 0.15% los resultados nos reportan que la resistencia a la flexión es 24.62 kg/cm^2 el cual representa el 13.98 % de la resistencia a la compresión, el cual está por encima de los rangos que establecen las normas, es decir que el concreto permeable diseñado con un tamaño máximo de agregado de 3/8" con adición de fibras para un porcentaje de 0.15% el concreto permeable tiene un mejor comportamiento a flexión que a compresión.

También podemos deducir que las fibras de vidrio en 0.05%, 0.10% y 0.15% tienen un mejor desempeño a la flexión que a la compresión, ya que se evidencia un mayor incremento en los valores en la resistencia con respecto a la resistencia a la compresión simple, se puede asumir que las fibras de vidrio presentan mejores componentes que aportan en la mejora de la resistencia a la flexión en el concreto permeable.

b) Resistencia a flexión vs permeabilidad (k)

Figura 55

Resistencia a la flexión vs coeficiente de permeabilidad



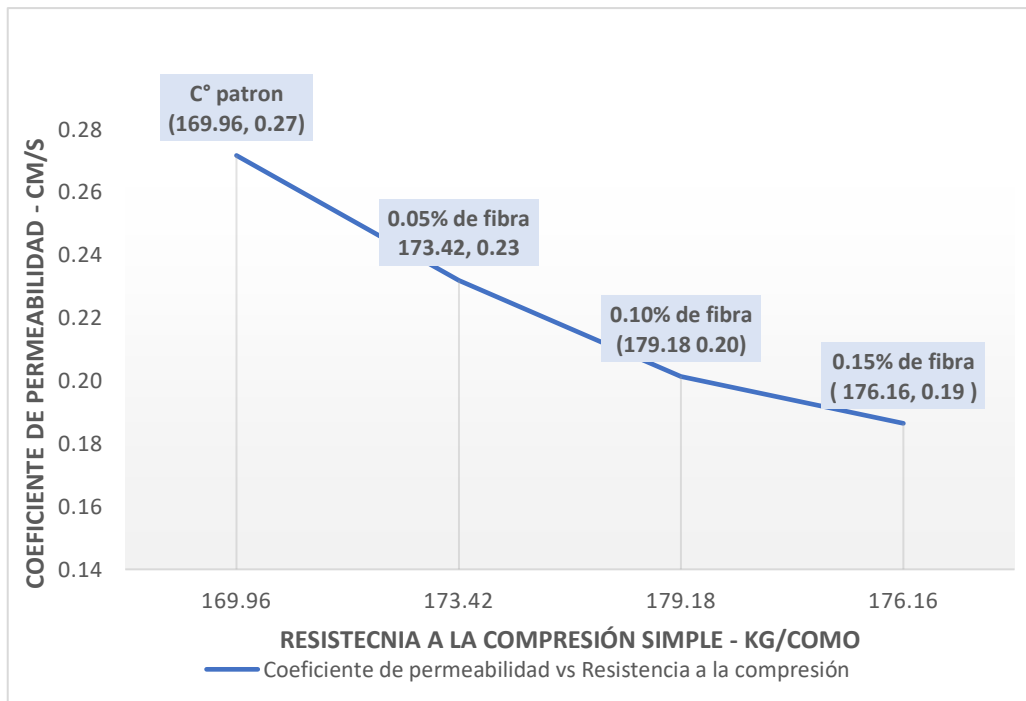
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En cuanto a esta relación no existen bases teorías y por ende no hay parámetros establecidos. Por lo que, en la figura 55 se evidencia que la adición de fibras de vidrio en 0.05%, 0.10% y 0.15% en el concreto permeable mejora la resistencia a la flexión debido a que la fibra rellena los espacios vacíos y por ende incrementan la adherencia entre sus partículas, pero no sucede lo mismo con el coeficiente de permeabilidad debido a que las adiciones de fibras de vidrio obstruyen los vacíos y provocan una reducción en su coeficiente de permeabilidad.

c) Resistencia a la compresión simple vs coeficiente de permeabilidad

Figura 56

Permeabilidad vs resistencia a la compresión simple del concreto permeable



Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

De acuerdo a la figura 56, se puede apreciar que la adición de fibras de vidrio en el concreto permeable en 0.05%, 0.10% y 0.15% por un lado mejora la resistencia a la compresión simple, pero el coeficiente de permeabilidad tiende a disminuir.

Teniendo en cuenta estos aspectos podemos definir el nivel de importancia de estas 3 propiedades del concreto permeable, considerando que el concreto permeable reforzado con fibras de vidrio se aplicará a una carpeta de rodadura de un pavimento, por lo tanto, en un pavimento la propiedad mecánica que más predomina es la resistencia a la compresión producido por las cargas de los vehículos, así mismo podemos indicar que según su aplicabilidad la resistencia a la compresión va en primera instancia, seguido por la permeabilidad y finalmente por la resistencia a la flexión.

4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En esta sección presentamos en análisis estadístico de los resultados obtenidos en los ensayos de compresión simple, flexión y permeabilidad del concreto permeable.

4.5.1 Análisis estadístico de la resistencia a compresión.

En base a los resultados obtenidos del anexo 7, para el caso del ensayo de resistencia a compresión simple, en la tabla 59 se muestra las interpretaciones del coeficiente de variación y la desviación estándar de los diferentes grupos de control.

Tabla 59

Interpretación del coeficiente de variación y desviación estándar para los grupos de control de la resistencia a la compresión para la edad de 28 días de curado.

Descripción del grupo de control	Interpretación
Coefficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable a los 28 días curado.	De acuerdo a los datos obtenidos, para el presente grupo de control se califica la desviación estándar como excelente debido a que 1.10 es inferior a 14.1, y el coeficiente de variación que corresponde a 0.64 se considera excelente, debido a que está por debajo de 2.0. Así mismo, según la Campana de Gauss, se infiere que los resultados se adecúan a una distribución normal con mínima dispersión.
Coefficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable con 0.05% de adición de fibra de vidrio a los 28 días curado.	De acuerdo a los datos obtenidos, para el presente grupo de control se califica la desviación estándar como excelente debido a que 1.14 es inferior a 14.1, y el coeficiente de variación que corresponde a 0.66 se considera excelente, debido a que está por debajo de 2.0. Así mismo, según la Campana de Gauss, se infiere que los resultados se adecúan a una distribución normal con mínima dispersión.
Coefficiente de variación y desviación estándar	De acuerdo a los datos obtenidos, para el presente grupo de control se califica la desviación estándar como excelente

del concreto permeable debido a que 0.84 es inferior a 14.1, y el coeficiente de con 0.10% de adición de fibra de vidrio a los 28 días curado.

debido a que 0.84 es inferior a 14.1, y el coeficiente de variación que corresponde a 0.47 se considera excelente, puesto que está por debajo de 2.0. Así mismo, según la Campana de Gauss, se infiere que los resultados se adecúan a una distribución normal con mínima dispersión.

Coeficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable con 0.15% de adición de fibra de vidrio a los 28 días curado.

De acuerdo a los datos obtenidos, para el presente grupo de control se califica la desviación estándar como excelente debido a que 0.55 es inferior a 14.1, y el coeficiente de variación que corresponde a 0.31 se considera excelente, debido a que está por debajo de 2.0. Así mismo, según la Campana de Gauss, se infiere que los resultados se adecúan a una distribución normal con mínima dispersión.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.5.2 Análisis estadístico de la resistencia a flexión

Tabla 60

Interpretación del coeficiente de variación y desviación estándar para los grupos de control de la resistencia a flexión a los 28 días.

Descripción del grupo de control	Interpretación
Coeficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable patrón a los 28 días curado.	De acuerdo a los datos obtenidos, para el presente grupo de control se califica la desviación estándar como excelente, debido a que 0.53 es inferior a 14.1, y el coeficiente de variación que corresponde a 2.69 se considera muy bueno, debido a que está entre 2.0 a 3.0. Así mismo, según la Campana de Gauss, se infiere que los resultados se adecúan a una distribución normal con mínima dispersión.
Coeficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable con	De acuerdo a los datos obtenidos, para el presente grupo de control se califica la desviación estándar como excelente debido a que 0.62 es inferior a 14.1, y el

0.05% de adición de fibra de vidrio a los 28 días curado. coeficiente de variación que corresponde a 2.84 se considera muy bueno, debido a que está entre 2.0 a 3.0. Así mismo, según la Campana de Gauss, se infiere que los resultados se adecúan a una distribución normal con mínima dispersión.

Coefficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable con 0.10% de adición de fibra de vidrio a los 28 días curado. De acuerdo a los datos obtenidos, para el presente grupo de control se califica la desviación estándar como excelente debido a que 0.60 es inferior a 14.1, y el coeficiente de variación que corresponde a 2.50 se considera muy bueno, debido a que está entre 2.0 a 3.0. Así mismo, según la Campana de Gauss, se infiere que los resultados se adecúan a una distribución normal con mínima dispersión.

Coefficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable con 0.15% de adición de fibra de vidrio a los 28 días curado. De acuerdo a los datos obtenidos, para el presente grupo de control se califica la desviación estándar como excelente debido a que 0.29 es inferior a 14.1, y el coeficiente de variación que corresponde a 1.17 se considera excelente, debido a que está por debajo de 2.0. Así mismo, según la Campana de Gauss, se infiere que los resultados se adecúan a una distribución normal con mínima dispersión.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

4.5.3 Análisis estadístico de la permeabilidad

Tabla 61

Interpretación del coeficiente de variación y desviación estándar para los grupos de control de permeabilidad a los 7 días.

Descripción del grupo de control	Interpretación
Coefficiente de variación y desviación estándar del	De acuerdo a los datos obtenidos, para el presente grupo de control se califica la desviación estándar como

concreto permeable excelente debido a que 0.02 es inferior a 14.1, y el patrón a los 7 días curado coeficiente de variación que corresponde a 8.96 se considera deficiente, debido a que está por encima de 6.0. Así mismo, según la Campana de Gauss, se infiere que los resultados se adecúan a una distribución normal con mínima dispersión.

Coefficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable con 0.05% de adición de fibra de vidrio a los 7 días curado De acuerdo a los datos obtenidos, para el presente grupo de control se califica la desviación estándar como excelente debido a que 0.01 es inferior a 14.1, y el coeficiente de variación que corresponde a 6.44 se considera deficiente, debido a que está por encima de 6.0. Así mismo, según la Campana de Gauss, se infiere que los resultados se adecúan a una distribución normal con mínima dispersión.

Coefficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable con 0.10% de adición de fibra de vidrio a los 7 días curado. De acuerdo a los datos obtenidos, para el presente grupo de control se califica la desviación estándar como excelente debido a que 0.01 es inferior a 14.1, y el coeficiente de variación que corresponde a 4.19 se considera suficiente, debido a que está entre 4.0 y 5.0. Así mismo, según la Campana de Gauss, se infiere que los resultados se adecúan a una distribución normal con mínima dispersión.

Coefficiente de variación y desviación estándar del concreto permeable con 0.15% de adición de fibra de vidrio a los 7 días curado De acuerdo a los datos obtenidos, para el presente grupo de control se califica la desviación estándar como excelente debido a que 0.01 es inferior a 14.1, y el coeficiente de variación que corresponde a 4.57 se considera suficiente, debido a que está entre 4.0 y 5.0. Así mismo, según la Campana de Gauss, se infiere que los resultados se adecúan a una distribución normal con mínima dispersión.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

4.6 PRUEBA DE HIPÓTESIS – CONTRASTACIÓN

En esta sección presentamos la contrastación de la hipótesis para la resistencia a la compresión, flexión y la permeabilidad del concreto.

4.6.1 Resistencia a la compresión

En base a los datos obtenidos en anexo 8, se tiene las interpretaciones de las hipótesis nulas, hipótesis alternas y la conclusión a la que se llegó para cada grupo de control, presentadas en la tabla 62 para el caso del ensayo de resistencia a la compresión.

Tabla 62

Prueba de hipótesis para los diferentes grupos de control de la resistencia a compresión

Muestras	Hipótesis nula (H ₀)	Hipótesis alterna (H _a)	Est. de prueba	Conclusión
Concreto parrón y concreto con 0.05% de fibra de vidrio	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.05 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8”, “no incrementa” la resistencia a la compresión del concreto permeable de 3/8”.	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.05 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8”, “incrementa” la resistencia a la compresión del concreto permeable de 3/8”.	Z ₀ = - 4.88	La adición de fibra de vidrio en un 0.05% del peso de los materiales, “incrementa” la resistencia a la compresión de concreto permeable de 3/8”, que se desarrolló a los 28 días.

Concreto patrón" y 0.10% de fibra de vidrio	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.10 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8", "no incrementa" la resistencia a la compresión con respecto al concreto permeable de 3/8".	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.10 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8", "incrementa" la resistencia a la compresión con respecto al concreto permeable de 3/8".	Zo = - 14.96	La adición de fibra de vidrio en un 0.10% del peso de los materiales, "incrementa" la resistencia a la compresión con respecto al concreto permeable de 3/8", que se desarrolló a los 28 días.
Concreto patrón y 0.15% de fibra de vidrio	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.15 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8", "no incrementa" la resistencia a la compresión del concreto permeable de 3/8".	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.15 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8", "incrementa" la resistencia a la compresión del concreto permeable de 3/8".	Zo = - 11.34	La adición de fibra de vidrio en un 0.15% del peso de los materiales, "incrementa" la resistencia a la compresión de concreto permeable de 3/8", que se desarrolló a los 28 días.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.6.2 Resistencia a la flexión

Del mismo modo en la resistencia a la flexión, las interpretaciones de las hipótesis nulas, hipótesis alternas y la conclusión a la que se llegó para cada grupo de control, son presentadas en la tabla 63.

Tabla 63

Prueba de hipótesis para los diferentes grupos de control de la resistencia a la flexión

Muestras	Hipótesis nula (Ho)	Hipótesis alterna (Ha)	Est. de prueba	Conclusión
Concreto patrón y 0.05% de fibra de vidrio	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.05 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8", "no incrementa" la resistencia a la flexión del concreto permeable de 3/8".	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.05 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8", "incrementa" la resistencia a la flexión del concreto permeable de 3/8".	$Z_0 = -4.52$	La adición de fibra de vidrio en un 0.05% del peso de los materiales, "incrementa" la resistencia a la flexión con respecto al concreto permeable de 3/8", que se desarrolló a los 28 días.
Concreto patrón y 0.10% de fibra de vidrio	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.10 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8", "no incrementa" la resistencia a la flexión con respecto al concreto permeable de 3/8".	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.10 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8", "incrementa" la resistencia a la flexión con respecto al concreto permeable de 3/8".	$Z_0 = -9.27$	La adición de fibra de vidrio en un 0.10% del peso de los materiales, "incrementa" la resistencia a la flexión con respecto al concreto permeable de 3/8", que se desarrolló a los 28 días.

Concreto patrón y 0.15% de fibra de vidrio	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.15 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8”, “no incrementa” la resistencia a la flexión con respecto al concreto permeable de 3/8”.	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.15 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8”, de “incrementa” la resistencia a la flexión con respecto al concreto permeable de 3/8”.	Zo = - 14.20	La adición de fibra de vidrio en un 0.15% del peso de los materiales, “incrementa” la resistencia a la flexión con respecto al concreto permeable de 3/8”, que se desarrolló a los 28 días
--	--	--	--------------	--

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.6.3 Permeabilidad del concreto

Por otro lado, en el ensayo de permeabilidad la tabla 64 muestra las interpretaciones de las hipótesis nulas, hipótesis alternas y la conclusión a la que se llegó para cada grupo de control

Tabla 64

Prueba de hipótesis para los diferentes grupos de control de la permeabilidad

Muestras	Hipótesis nula (Ho)	Hipótesis alterna (Ha)	Est. de prueba	Conclusión
Concreto patrón y 0.05% de fibra de vidrio	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.05 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8”, “no incrementa” el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable de 3/8”.	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.05 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8”, el “incrementa” el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable de 3/8”.	Zo = 2.00	La adición de fibra de vidrio en un 0.05% del peso de los materiales, “no incrementa” el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable de 3/8”, que se desarrolló a los 7 días.



Concreto patrón y 0.10% de fibra de vidrio	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.10 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8”, “no incrementa” el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable de 3/8”.	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.10 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8”, “incrementa” el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable de 3/8”.	$Z_o = 3.45$	La adición de fibra de vidrio en un 0.10% del peso de los materiales, “no incrementa” el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable de 3/8”, que se desarrolló a los 7 días.
Concreto patrón y 0.15% de fibra de vidrio	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.15 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8”, “no incrementa” el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable de 3/8”.	La incorporación de fibra de vidrio en un 0.15 % en proporción al peso de los materiales del concreto permeable de 3/8”, “incrementa” el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable de 3/8”.	$Z_o = 4.28$	La adición de fibra de vidrio en un 0.15% del peso de los materiales, “no incrementa” el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable de 3/8”, que se desarrolló a los 7 días.

4.7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- De la resistencia a la compresión simple

La investigación de Escalante (2019) indica que la resistencia a la compresión a los 28 días de curado y con adiciones de porcentajes de fibra de vidrio en 0.025%, 0.075% y 0.125% resultan 175.01 kg/cm², 178.62 kg/cm² y 180.32 kg/cm² respectivamente, deduciendo que la resistencia a la compresión del concreto permeable es más eficiente al adicionarle 0.125% fibra de vidrio, a pesar que en su diseño de mezclas no adicionaron agregado fino y trabajaron con una relación agua-cemento de 0.35. Respecto a nuestra investigación al adicionarle fibra de vidrio en 0.05% llegó a una resistencia a compresión de 173.42 kg/cm², con 0.10% de adición de fibra de vidrio se obtuvo una resistencia de 179.18 kg/cm² y a 0.15% de adición se tiene como resistencia a compresión 176.16 kg/cm², con lo que se concluyó que el mejor porcentaje de adición de fibra de vidrio es el de 0.10%, dicho diseño de mezclas se realizó con agregado fino y relación agua-cemento de 0.30. En nuestro caso no podemos decir que el porcentaje óptimo es el 0.125% debido a que no se realizaron ensayos con ese porcentaje de adición de fibra de vidrio, además con una adición en un 0.15% disminuye su resistencia compresión con respecto al 0.10% de adición de fibra de vidrio. A su vez la investigación de Garcia (2017) sostiene que la adición de fibras de vidrio en un 0.025% en un concreto convencional mejora la resistencia a compresión con respecto al concreto patrón en un 6.65%, por lo que no coincide con nuestra investigación ya que el porcentaje máximo a mejorar en comparación al concreto patrón es de 5.42% con una adición de 0.10% de fibra de vidrio.

Por otro lado, Guerra (2019) concluye que la resistencia a compresión del concreto patrón de un concreto permeable curado a los 28 días es de 169.39 kg/cm². Para un tamaño uniforme de agregado de 3/8", contenido de pasta de 26.5%, volumen de vacíos de 15% y con una relación de agua-cemento de 0.40. Mientras que, en la presente investigación,



la resistencia de nuestro concreto patrón es de 169.96 kg/cm^2 con tamaño de agregado de $3/8''$, considerando un contenido de pasta a un 26% y un volumen de vacíos de 16%, por lo mencionado, hay una mínima diferencia de resultados en la resistencia de compresión, uno de los factores de esta diferencia es la relación de agua-cemento, por lo que se induce que la relación de agua cemento es muy importante.

- De la resistencia a la flexión

Méndez & Mosqueda (2016) mencionan en su estudio que la resistencia a la flexión del concreto permeable es de 12.16 kg/cm^2 y 25.96 kg/cm^2 con agregado fino al 0% y 20 % respectivamente, para una gradación de $3/8''$ y vacío aparente de 20%. En nuestra investigación, la resistencia a la flexión promedio del concreto permeable patrón es de 19.71 kg/cm^2 , suponiendo un tamaño de agregado uniforme de $3/8''$, 16% de volumen de vacíos y con agregado fino en un 10%. Por tanto, la diferencia de estos resultados se debe a la cantidad incluida de agregado fino, infiriéndose así que cuanto mayor sea la adición de agregado fino, mejor será el resultado de resistencia a la flexión.

- Del coeficiente de permeabilidad del concreto permeable.

En la investigación de Flores & Pacompia (2015) concluyen que el coeficiente de permeabilidad patrón de un concreto permeable es de 0.464 cm/s con un tamaño de agregado uniforme de $3/8''$ y un contenido de pasta de 26.5% y un volumen de vacíos de 15%, algo que no coincide con nuestra investigación debido a que nuestro coeficiente de permeabilidad es de 0.27 cm/s en nuestro concreto patrón de tamaño de agregado de $3/8''$, considerando un contenido de pasta a un 26 % y un volumen de vacíos de 16%, por lo que se infiere que a partir de los que la variación de volumen de vacíos en 1% influye en el coeficiente de permeabilidad.



Con respecto a Perez (2017) precisa que el coeficiente de permeabilidad concreto permeable es de 0.222 cm/s, para una gradación de 3/8” y un volumen de vacíos de 17 %. En nuestra investigación debido a que nuestro coeficiente de permeabilidad es de 0.27 cm/seg en nuestro concreto patrón de tamaño de agregado de 3/8” con un volumen de vacíos de 16%. En función a los resultados contrastados, se infiere que ambas investigaciones concuerdan ya que las diferencias son mínimas.

Con referencia a Espinoza & Raquel (2018) investigaron el coeficiente de permeabilidad concreto permeable para un volumen de vacíos de 18% y 20 % teniendo como resultados 0.655 cm/s, 0.898 respectivamente, para una gradación de 3/8” y relación agua-cemento de 0.32. En nuestra investigación el coeficiente de permeabilidad del concreto patrón es de 0.27 cm/s, considerando un tamaño uniforme de agregado de 3/8” y con un volumen de vacíos de 16%. Por lo mencionado, con esta investigación contrastada se infiere que a mayor volumen de vacíos el coeficiente de permeabilidad incrementa a razón 0.20 cm/s.

- Del Slump del concreto

Finalmente Garcia, (2017) en su investigación la trabajabilidad de un concreto normal es trabajable con un asentamiento o slump de 3.65 pulgadas, pero al adicionarle fibra de vidrio en 0.125% la trabajabilidad se vuelve poco trabajable con un slump de 1.95 pulgadas, teniendo una variación de 1.70 pulgadas. Con respecto a nuestra investigación la trabajabilidad del concreto permeable es poco trabajable de consistencia seca con 0 slump por lo que al adicionarle fibra de vidrio en 0.15% el concreto permeable se vuelve intrabajable. de 0 slump, por lo que no se puede cuantificar la variación del asentamiento, pero sí se puede observar su trabajabilidad, el cual es disminuido por dicha adición al igual que el concreto convencional.



V. CONCLUSIONES

- La adición de fibras de vidrio en el concreto permeable en 0.05%, 0.10% y 0.15% mejoran en sus propiedades mecánicas tanto en compresión simple como en la flexión del concreto permeable, sin embargo, su permeabilidad disminuye con respecto al concreto patrón cada vez que se aumenta a razón de un 0.05% de fibras de vidrio.
- La adición de fibras en las proporciones de 0.05%, 0.10% y 0.15% en el concreto permeable mejora la resistencia a la compresión simple en 3.46 kg/cm², 9.22 kg/cm² y 6.20 kg/cm² respectivamente, con respecto a la muestra de concreto patrón, evidentemente el que mejor desempeño tuvo es la adición de fibra de vidrio en un porcentaje de 0.10 % en el concreto permeable.
- La adición de fibras en las proporciones de 0.05%, 0.10% y 0.15% en el concreto permeable incrementa la resistencia a la flexión en 2.11 kg/cm², 4.28 kg/cm² y 4.91 kg/cm² respectivamente , en relación a la muestra de concreto patrón, evidenciando que presenta un incremento franco desde la muestra patrón hasta el concreto con adición en 0.10% de fibra y desde 0.10% al 0.15% el incremento de resistencia ya no es representativo, aumentando solamente en un 0.63 kg/cm², así mismo la trabajabilidad es inadecuada en este intervalo, por lo tanto, el porcentaje que mejor se adapta es el concreto permeable diseñado con 0.10 % de fibra de vidrio.
- La incorporación de fibras de vidrio en las proporciones de 0.05%, 0.10% y 0.15% alteran negativamente su permeabilidad del concreto obteniendo resultados de 0.23 cm/s, 0.20 cm/s y 0.19 cm/s respectivamente, a comparación del concreto patrón sin fibra que tiene un coeficiente de permeabilidad inicial de 0.27 cm/s,



observando que las adiciones de fibra de vidrio en dichos porcentajes disminuyen su coeficiente de permeabilidad, sin embargo, se encuentran dentro del rango de 0.14 a 1.22 cm/s, cumpliendo con los requerimientos mínimos de permeabilidad establecidos en la norma ACI- 522R, por lo tanto, aún siguen siendo considerados concretos permeables, así mismo, cumplen con la función de disminuir las inundaciones ocasionadas por las precipitaciones de la ciudad de Juliaca.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar proyectos de investigación con el propósito de mejorar la trabajabilidad del concreto permeable reforzado con fibras de vidrio puesto que este reduce la trabajabilidad considerablemente.
- Efectuar investigaciones con la finalidad de mejorar o adaptar la realización del ensayo de resistencia a la compresión para concretos permeables, para que la distribución de la fuerza aplicada en los testigos sea uniforme y no provoque fallas en un solo punto.
- Evaluar la piedra chancada con tamaños menores a 1/2" como agregado grueso para el diseño de concreto permeable, con el fin de observar su comportamiento en términos de resistencia y permeabilidad en el concreto.
- Investigar el efecto de los parámetros iniciales de diseño, esencialmente la relación a/c, % de vacíos y finos, en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable.



VII. REFERENCIAS

- Abanto, Flavio. (2009). *Tecnología del concreto* (San Marcos (ed.); 1 ra edici).
<https://www.udocz.com/apuntes/21543/tecnologia-del-concreto-teoria-y-problemas-ing-flavio-abanto-castillo>
- ACI-522R. (2010). Report on Pervious Concrete. *ACI International*, 42.
<https://cecollection2.files.wordpress.com/2020/05/522r-10-report-on-pervious-concrete.pdf>
- ACI 318SR-14. (2015). Comentario. In *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics* (Vol. 10, Issue SUPPL. 1, p. 169). [https://doi.org/10.1016/0360-3016\(84\)90476-0](https://doi.org/10.1016/0360-3016(84)90476-0)
- Aire, C. (2018). *Concreto considerado como un material de construcción sostenible por el manejo adecuado del agua de las lluvias*. (pp. 1–9).
<https://pysconcreto.com.pe/wp-content/uploads/2020/02/N°6-Concreto-poroso.pdf>
- Alfaro, D., & Mora, F. (2014). Modelo físico Para la medición de la permeabilidad en suelos cohesivos [Unoversidad Catolica de Colombia]. In *Red de repositorios latinoamericanos*.
[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1684/1/PERMEABILIDAD CABEZA VARIABLE.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1684/1/PERMEABILIDAD_CABEZA_VARIABLE.pdf)
- Alvarez, E. (2016). El concreto poroso y sus aplicaiones. In *Procede del Padre y del Hijo* (p. 5). <https://doi.org/10.3726/978-3-0352-0094-2/1>
- Antunez, J. (2019). Resistencia a la compresión y flexión de concreto con 10% y 20% de fibras de caucho reciclado [Universidad San Pedro]. In *Universidad San Pedro*.
http://repositorio.usanpedro.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/14307/Tesis_63816.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arango, S., & Zapata, J. (2013). *Influencia de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas de mezclas de concreto* (Vol. 1).
- Arapa, P., & Mamani, W. (2018). Evaluación de la calidad de los agregados de cuatro canteras aledañas a la ciudad de Juliaca y su influencia en la resistencia del concreto empleado en la construcción de obras civiles [Universidad Nacional del Altiplano]. In *Tesis*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9911>



- Arias, F. (2006). El Proyecto De La Investigación Introducción a la metodología científica. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Editorial, Vol. 5, Issue January 2006).
http://www.formaciondocente.com.mx/06_RinconInvestigacion/01_Documentos/El Proyecto de Investigacion.pdf
- Cárdenas, E., & Rodríguez, Á. (2017). Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua. *CIENCIA Ergo Sum*, 24(2), 173–180.
<https://doi.org/10.30878/ces.v24n2a9>
- Castro, L. (2011). Pavimetos permeables como alternativa de drenaje urbano [Pontificia Universidad Javeriana]. In *Phys. Rev. E*.
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7130/1/LUZARDO-BUIATRIA-2017.pdf>
- Cemex. (2019). *¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto? | CEMEX Peru*. <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->
- Cordova, M. (2003). *Estadística-Descriptiva-e-Inferencial*.
file:///C:/Users/ASUS/Downloads/dokumen.tips_estadistica-descriptiva-e-inferencial-manuel-cordova-zamorapdf.pdf
- Escalante, D. (2019). *Análisis comparativo de resistencia a compresión y permeabilidad de concreto poroso adicionado con fibras de Vidrio con agregados de la cantera de Huancachupa con respecto a un concreto poroso de agregado fino - Huánuco 2018* [Universidad Nacional “Hermilio Valdizán”].
<https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/4922>
- Espinoza, O., & Raquel, L. (2018). *Diseño de mezcla de concreto permeable con agregados del banco de préstamo Veracruz, cemento portland tipo Gu (astm- c1157) y fibras de polipropileno para pavimentos rígidos* [Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://1library.co/document/qm0659wy-diseno-permeable-agregaos-prestamo-veracruz-portland-polipropileno-pavimentos.html>
- Euclid group. (2017). Concreto poroso o concreto permeable. In *Euclid Group Toxement* (Issue 1, pp. 6, 7). https://www.toxement.com.co/media/3812/concreto_poroso.pdf



- Flores, C., & Pacompia, I. (2015). *Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos $f'c$ 175 kg/cm² en la ciudad de Puno* [Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2230>
- Garcia, B. (2017). *Efecto de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto $f'c = 210$ Kg/cm² en la ciudad de Puno* [Universidad Nacional del Altiplano]. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5431/Garcia_Chambilla_Bleger_Freddy.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Garcia, M., & Silva, H. (2019). *Propuesta de diseño de pavimento drenante para la captación de agua de lluvias en zonas urbanas del norte del Perú* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/625617>
- Guerra, P. (2019). *Calidad en el drenaje y diseño de un pavimento rígido permeable con agregados de la cantera Isla, en las vías de la Villa Chullunquiani del sector noroeste de la ciudad de Juliaca* (Vol. 030, Issue 2014) [Universidad Peruana Union]. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/2671>
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (M. I. R. Martínez (ed.); 6 ta edici). <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Jimenez, H. (2019). “Evaluación del concreto permeable como una alternativa sostenible para el control de las aguas pluviales en la ciudad de castilla, provincia Piura y departamento de Piura” [Universidad Nacional de Piura]. In *Ucv*. <file:///C:/Users/ASUS/Downloads/CIV-JIM-PES-2019.pdf>
- Leon, C. (2018). Aplicación de concreto permeable como alternativa para reducir la escorrentía superficial en las vías del distrito El Tambo-Huancayo [Universidad César Vallejo]. In *Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Civil* (Vol. 53, Issue 9). <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/35342>
- Lopez, E. R. (1992). Diseño de Mezclas. In *Arquitectura y ciudad: seminario celebrado en Melilla, los dias 12, 13 y 14 de diciembre de 1989* (1ra edicio). <https://www.udocz.com/apuntes/958/dise-o-de-mezclas-enrique-rivva-lopez>



- Méndez, N., & Mosqueda, M. (2016). Estudio de la resistencia del concreto permeable para pavimentos [Univerdidad de Crabobo]. In *Revista Brasileira de Ergonomia* (Vol. 3, Issue 2). <https://www.infodesign.org.br/infodesign/article/view/355%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/731%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/269%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/106>
- Metha, K., & Monteiro, P. (1998). *Concreto, estructura, propiedades y: Vol. I*. https://www.academia.edu/50834616/concreto_estructura_propiedades_y_material_es_imcyc
- Minvu. (2018). *Manual de elementos urbanos sustentables Tomo Ii Pavimentos Y circulaciones, mobiliario urbano* (D. T. de E. y F. H.- Ditec (ed.); Tomo iii). <http://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/3479>
- Olivares, S., Galán, M., & Roa, F. (2003). Los composites. Características y aplicaciones en la edificación. In *Informes de la Construcción* (Vol. 54, Issue 484, pp. 45–62). <https://doi.org/10.3989/ic.2003.v54.i484.568>
- Pasquel, E. (1998). *Topicos de tecnologia del concreto en el Peru* (Segunda Ed). 1998. <https://issuu.com/jj1989/docs/145311372-topicos-de-tecnologia-de->
- Perez, J. (2017). *Influencia de la granulometría del agregado grueso en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, Trujillo 2017 (Tesis de pregrado)* [Universidad privada del norte]. https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/12351/Perez_Gordillo_Johan_Joe.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Plan director de Juliaca. (2015). *Plan de Desarrollo Urbano - San Róman* (p. 295). http://eudora.vivienda.gob.pe/observatorio/pdu_municipalidades/JULIACA/PDU-JULIACA.pdf
- Polanco, A., & Sanchez, A. (2012). *Diseño hidráulico de losas en pavimento poroso rígido como estructuras complementarias al drenaje pluvial de Bogotá* [Pontificia Unicersidad Javeriana]. <https://core.ac.uk/download/71419258.pdf>
- Pomalaza, A. (2021). *Aplicación de pavimentos de concreto poroso como alternativa de control de la acumulación de precipitaciones pluviales en la provincia de Huancayo*



- en el año 2017* [Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9778/4/IV_FIN_105_TE_Pomalaza_Guillermo_2021.pdf
- Porras, J. (2017). *Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad* [Instituto tecnologico de Costa Rica].
<http://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/7109>
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/7109>
- Quiroz, D., & Trujillo, A. (2013). *Pavimentos Porosos Utilizados como sistemas Alternativos al Drenaje Urbano* (p. 114).
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11174/TrujilloLopezAlejandra2013.pdf?sequence=1>
- Quispe, I., & Ticona, E. (2017). Influencia de la incorporación de fibras de polipropileno en concreto permeable $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ [Universidad Peruana Union]. In *Resolucion*.
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/947>
- Ramos, C. (2019). Mejoramiento al concreto absorbente con inserción de fibra de vidrio para aumentar su resistencia a la compresión en la ciudad de Tarma [Universita Catolica]. In *Universidad Católica Sedes Sapientiae*.
http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/713/Ramos_Carina_tesis_bachelor_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodriguez, K., & Castañeda, P. (2018). Variación de la permeabilidad de pavimentos drenantes, elaborados con gravas de tamaño 1" y ½ [Universidad piloto de Colombia]. In *Universidad Piloto de Colombia* (Vol. 1, Issue Diseño de pavimentos permeables).
<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5688/PROYECTO DE GRADO 2018 PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torre, A. (2004). Curso Basico de tecnología Del concreto. In *Universidad nacional de ingeniería*.
https://www.academia.edu/9191423/curso_basico_de_tecnologia_del_concreto_para_ingenieros_civiles
- UNAM. (2015). *Colocación y construcción del concreto permeable*.
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/559/>



A7 Capitulo 4 Colocación y Control Del Concreto Permeable.pdf?sequence=7&isAllowed=y#:~:text=El procedimiento constructivo del concreto,suelo natural durante la construcción.

Villon, M. (2002). *Hidrologia*.



ANEXOS

ANEXO 1: Ficha técnica de la fibra de vidrio utilizada.

ANEXO 2: Resultado de los ensayos de los agregados.

ANEXO 3: Resultados de las propiedades mecánicas del concreto permeable (Resistencia a la compresión y flexión).

ANEXO 4: Resultados de las propiedades hidráulicas del concreto permeable (Permeabilidad).

ANEXO 5: Comprobación del volumen de vacíos.

ANEXO 6: Cuadros estadísticos.

ANEXO 7: Análisis estadístico.

ANEXO 8: Prueba de hipótesis.

ANEXO 9: Aplicabilidad del concreto permeable.

ANEXO 10: Tipos de suelo según el lugar propuesto.

ANEXO 11: Estructura del pavimento propuesto.

ANEXO 12: Cálculo según el tipo de carga para el concreto permeable.

ANEXO 13: Certificados de calibración.

ANEXO 14: Panel fotográfico.