



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y
AGRIMENSURA



**CONCRETO PERMEABLE COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE
DE LAS AGUAS PLUVIALES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA
CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNA – PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JENNY EDITH MAMANI TIQUE

Bach. HERLIN HUAYNA TOQUE

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO TOPOGRÁFO Y AGRIMENSOR**

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por darme la vida, fortaleza, inteligencia, sabiduría, amor y por confiar siempre en mí y no abandonarme en este camino.

A mis padres, hermanos y mis pequeños hijos: Nathaly y Leonel por ser mi fuerza, motivo, razón de mi vida y por hacer de mí, la madre más feliz de este mundo.

A mi asesor, Ing. Jorge Luis Aroste Villa, por su dedicación en la dirección del presente trabajo que con sus conocimientos y su apoyo constante ha sido el camino que guía esta investigación.

Jenny Edith Mamani Tique



A mi madre y mis hijos; Nelly, Nathaly y Leonel, que con su confianza, amor y apoyo incondicional me han permitido cumplir con mis objetivos: culminar mis estudios universitarios y la realización de esta tesis.

A mi asesor, Ing. Jorge Luis Aroste Villa, que con sus conocimientos y su apoyo constante ha sido el camino que guía esta investigación.

Herlin Huayna Toque



AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud a nuestra Institución, Universidad Nacional del Altiplano, y a la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, por habernos brindado la oportunidad de escalar un peldaño más, en el amplio campo del conocimiento.

A nuestra Escuela Profesional Ingeniería Topográfica y Agrimensura, a la Facultad de Ciencias Agrarias por la formación profesional.

Jenny Edith Mamani Tique

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano por la formación profesional, a los docentes de la Escuela profesional por los conocimientos que me han inculcado.

A la Empresa Municipal Saneamiento Básico de Puno Sociedad Anónima, los que han permitido que este Proyecto se realice, para lograr y alcanzar mi superación profesional.

Herlin Huayna Toque



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN 11

ABSTRACT..... 12

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO GENERAL..... 13

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES 15

2.1.1 Internacionales 15

2.1.2 Nacionales..... 16

2.1.3 Local 17

2.2 MARCO TEÓRICO..... 18

2.2.1 Cemento 18

2.2.2 Agregados 21

2.2.3 Aditivos..... 22

2.2.4 Agua Potable..... 23

2.2.5 Concreto permeable 23

2.2.6 Tamaño Máximo Nominal y Forma del Agregado Grueso 34

2.2.7 Relación Agua - Cemento..... 35

2.2.8 Uso de Agregado Fino 36

2.2.9 Calor de Hidratación del Cemento..... 37



2.2.10	Pavimentos.....	38
2.2.11	Análisis hidrológico-hidráulico en pavimentos rígidos.....	42
2.2.12	Dimensionamiento del Pavimento Permeable.....	53
2.2.13	Análisis estadístico.....	54
2.3	HIPÓTESIS DEL ESTUDIO.....	61
2.3.1	Hipótesis del Proyecto.....	61
2.3.2	Hipótesis Específico.....	61

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	MATERIALES.....	62
3.1.1	Materiales aglomerantes.....	62
3.1.2	Agregados.....	62
3.1.3	Agua.....	62
3.2	METODOS.....	63
3.2.1	Tipo y diseño.....	63
3.2.2	Población y muestra.....	63
3.2.3	Unidad de análisis.....	64
3.2.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	65
3.2.5	Diseño Estadístico.....	65

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	RESULTADOS.....	68
4.1.1	Características Físicas del agregado grueso.....	68
4.1.2	Diseño de mezcla.....	69
4.1.3	Permeabilidad del Concreto.....	76
4.1.4	Prueba de Resistencia del Concreto a la Compresión.....	78
4.1.5	Estudio hidrológico.....	79
4.1.7	Determinación del caudal.....	97



4.1.8	Diseño de cuneta	101
4.1.9	Diseño de Cuneta con Concreto Permeable.....	105
4.1.10	Diseño de Cuneta Mixta	107
4.2	PRUEBA DE HIPOTESIS ESPECIFICOS	110
4.2.1	Prueba de hipótesis específicos 1.....	110
4.2.2	Prueba de hipótesis específicos 2.....	115
4.3	PRUEBA DE HIPOTESIS GENERAL	119
4.4	DISCUSIONES	120
V.	CONCLUSIONES.....	123
VI.	RECOMENDACIONES	124
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125
ANEXOS.....		129

Área: Diseño de pavimentos

Tema: Transportes

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 29 de octubre de 2021.



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los cementos según su composición.....	19
Tabla 2 Empresas de fabricación de cemento en el Perú.....	20
Tabla 3 Requisitos de calificación para gruesos agregados.....	21
Tabla 4 Requisitos mínimos según tipos de pavimentos	40
Tabla 5 Tipos de pavimentos especiales	41
Tabla 6 Coeficientes de escorrentía para ser utilizados en el Método Racional.....	46
Tabla 7 parámetro: Precipitación máxima en 24 horas (mm).....	53
Tabla 8 Resultado del peso específico y absorción del agregado grueso.	68
Tabla 9 Resultado de peso específico del agregado fino.	69
Tabla 10 Resultados de Peso unitario suelto y compactado	69
Tabla 11 Valores efectivos de b / b_o	70
Tabla 12 Volumen de agregado fino y agregado grueso	71
Tabla 13 Volumen de pasta.....	75
Tabla 14 Proporciones de diseño del concreto permeable.....	75
Tabla 15 Resumen de Diseño de mezcla de concreto permeable	76
Tabla 16 Propiedades del agua.....	77
Tabla 17 Permeabilidad del concreto.....	78
Tabla 18 Resistencia del concreto a la Compresión	79
Tabla 19 Estaciones meteorológicas en la Región Puno.....	80
Tabla 20 Precipitaciones acumuladas Estación Puno.	81
Tabla 21 Resumen Estadístico datos SENAHMI	81
Tabla 22 Precipitación Máxima en 24 horas estación Puno.	83
Tabla 23 Años de precipitaciones extremas, estación Puno.	86
Tabla 24 Registro de precipitación Máxima de la estación	90
Tabla 25 Resumen Estadístico	90



Tabla 26 Prueba estadística de shapiro-Wilk.....	91
Tabla 27 Resumen Estadístico	92
Tabla 28 Cálculo de la Intensidad de lluvia.....	94
Tabla 29 Aplicación de la Ley de Gumbel	95
Tabla 30 Lluvias Máximas en (mm) para la estación Puno – Puno.....	96
Tabla 31 Intensidades máximas en mm/hora estación Puno – Puno	96
Tabla 32 Fórmula para el cálculo del caudal de escorrentía.....	98
Tabla 33 Coeficiente de Escorrentía para el Método Racional.....	99
Tabla 34 Resumen de caudales pluviales.....	100
Tabla 35 Dimensiones mínimas.....	101
Tabla 36 Coeficiente de rugosidad de Cunetas de las calles.....	104
Tabla 37 Dimensiones de la cuneta.....	104
Tabla 38 Dimensiones mínimas de la cunetas	105
Tabla 39 Dimensiones del alcantarillado	109
Tabla 40 Resumen de cálculo de dimensiones del alcantarillado.....	110
Tabla 41 Datos para el análisis ANOVA, %AF Vs Coeficiente de permeabilidad	111
Tabla 42 Resumen Estadístico %AF Vs Coeficiente de permeabilidad.....	112
Tabla 43 ANOVA del %AF vs Coeficiente de permeabilidad	112
Tabla 44 Pruebas Tukey HSD para del %AF vs Coeficiente de permeabilidad.....	113
Tabla 45 Datos para el análisis ANOVA del %AF Vs Resistencia del concreto	115
Tabla 46 Resumen Estadístico del %AF Vs Resistencia del concreto	116
Tabla 47 Análisis ANOVA del %AF Vs Resistencia del concreto	117
Tabla 48 Pruebas Tukey HSD del %AF Vs Resistencia del concreto.....	117



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Testigo con 25% de vacíos (huso N° 57).....	24
Figura 2 Las principales aplicaciones del concreto permeable.....	25
Figura 3 Estacionamiento el concreto permeable	26
Figura 4 Relación entre la Resistencia a la compresión y el contenido de vacíos	29
Figura 5 Relación entre la resistencia a la flexión y el contenido de vacíos.....	31
Figura 6 Permeámetro de carga variable (ACI 522R-10, 2010).....	34
Figura 7 Influencia del tamaño del agregado grueso en el tamaño del poro.....	35
Figura 8 Relación entre el contenido de vacíos y la relación a/c.	36
Figura 9 Influencia del uso de agregado fino en la resistencia a la flexión.	37
Figura 10 Relación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión.....	41
Figura 11 Diferentes Distribuciones del Coeficiente de Curtosis.	60
Figura 12 Contenido de vacíos vs filtración requerida	71
Figura 13 Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión ...	73
Figura 14 Histograma de precipitaciones.....	91
Figura 15 Curva de intensidad – duración - frecuencia (IDF)	97
Figura 16 Cuneta urbana de forma rectangular.....	102
Figura 17 Sección triangulo rectángulo	102
Figura 18 Relleno de concreto permeable en la cuneta.....	106
Figura 19 Elementos de diseño de tubería, formula de Manning	108
Figura 20 Cálculos del alcantarillado.....	109
Figura 21 Comparación de medias del %AF vs Coeficiente de permeabilidad.....	114
Figura 22 Comparación de medias del %AF Vs Resistencia del concreto	118



RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado: “CONCRETO PERMEABLE COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE DE LAS AGUAS PLUVIALES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNA – PUNO”, realizado en la Ciudad de Puno, exactamente en el laboratorio de materiales y ensayos de la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, donde se determinó el diseño de mezcla ideal, se evaluó las características de resistencia a la compresión del concreto permeable, y su utilización como alternativa de drenaje de las aguas pluviales en pavimentos rígidos. Para ello se ha utilizado la norma ASTM y NTP en la caracterización física de los agregados gruesos y finos, el ACI 522R-10 y ACI 211.3R-02 en el diseño de mezcla y el RNE-OS.060 en el diseño del alcantarillado del drenaje pluvial. Se han elaborado diseños de mezclas con AG de TMN de 3/8” con porcentajes de 0%, 10%, y 20% de AF, realizándose pruebas de permeabilidad y de resistencia a la compresión en las probetas de concreto. Los resultados mostraron que se puede obtener concretos permeables con coeficientes de 0.290 cm/s, 0.225 cm/s y 0.161 cm/s, de resistencia a la compresión de 92.57 kg/cm², 115.40 kg/cm² y 148.97 kg/cm² respectivamente, habiendo una diferencia estadísticamente significativa un nivel del 95.0% de confianza (ANOVA) con el aumento del %AF, concluyéndose que se puede obtener un concreto permeable con un alto coeficiente de permeabilidad pero con mínima resistencia a la compresión, que puede ser utilizados en un sistema mixto de alcantarillado, y el aumento del %AF aumenta resistencia pero disminuye el coeficiente de permeabilidad.

Palabras clave: Concreto permeable, resistencia del concreto, diseño de mezcla, evacuación de aguas pluviales.



ABSTRACT

The present research work entitled: "PERMEABLE CONCRETE AS AN ALTERNATIVE FOR THE DRAINAGE OF RAINWATER IN RIGID FLOORS IN THE UNIVERSITY CITY OF LA UNA - PUNO", carried out in the City of Puno, exactly in the Laboratory of Materials and Tests of the Professional School of Topographic Engineering and Surveying, where the ideal mix design was determined, the compression resistance characteristics of permeable concrete were evaluated, and its use as an alternative for draining rainwater in rigid pavements. For this, the ASTM and NTP standards have been used in the physical characterization of course and fine aggregates, the ACI 522R-10 and ACI 211.3R-02 in the mixture design and the RNE-OS.060 in the design of the sewer system of the storm drain. Mixture designs have been developed with 3/8" TMN AG with percentages of 0%, 10%, and 20% FA, performing permeability and compressive strength tests on the concrete specimens. The results showed that permeable concretes can be obtained with coefficients of 0.290 cm / s, 0.225 cm / s and 0.161 cm / s, with a compressive strength of 92.57 kg / cm², 115.40 kg / cm² and 148.97 kg / cm² respectively, having a statistically significant difference a 95.0% confidence level (ANOVA) with the increase in% AF, concluding that a permeable concrete with a high permeability coefficient but with minimal resistance to compression can be obtained, which can be used in a mixed system sewer system, and increasing the% AF increases resistance but decreases the coefficient of permeability.

Keywords: Pervious concrete, concrete strength, mix design, storm water evacuation.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Por las excesivas precipitaciones que se presentan en el departamento de Puno, que van de 600 a 700 mm por año, se han desarrollado cunetas de grandes dimensiones, que presentan inconveniencias en el desarrollo normal vehicular, provocando en algunas ocasiones accidentes por el estancamiento de los neumáticos. La ciudad de Puno y la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Altiplano no son ajenas a esta situación.

Una de las acciones para prevenir esta problemática es de no disponer de cunetas de grandes dimensiones, y en vez de ellas utilizar una capa absorbente que pueda conducir las aguas fluviales, proponiéndose para ello un concreto permeable, que cumpla esta función.

Los pavimentos rígidos cuentan con elementos estructurales de protección de la plataforma de rodadura y elementos de evacuación de las aguas pluviales, las que están representadas por cunetas y sistemas de drenajes superficiales y subterráneos, que son calculados y dimensionados según el caudal de diseño obtenido del estudio hidrológico de la zona, dando como resultados las dimensiones de cunetas triangulares, que son más frecuentes en el diseño de vías, por lo que se propone los siguientes objetivos de investigación:

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Utilizar al concreto permeable como alternativa de drenaje de las aguas pluviales en pavimentos rígidos en la Ciudad Universitaria de la UNA Puno.



1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el diseño de mezcla ideal para obtener un concreto permeable elaborados en la Ciudad Universitaria de la UNA Puno.
- Obtener las características de resistencia a la compresión de los concretos elaborados en la Ciudad Universitaria de la UNA Puno.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Internacionales

En la investigación de Salazar (2014), “Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos”, relaciona el concreto poroso tipo I que se puede utilizar para una estructura de concreto como capa de rodadura en tráfico ligero o liviano, implementándose en estacionamientos, ciclo vías, andenes, entre otras, disminuyendo la escorrentía superficial. El agregado grueso de $\frac{1}{2}$ pulgada permite una mejor manejabilidad a la mezcla, la resistencia promedio a la compresión y a la flexión de la mezcla Tipo I con Finos, 7.71% y 3.0% mayor a la sin finos respectivamente, se asegura que la presencia de finos brinda una mayor cohesión a la pasta que llena los espacios vacíos del agregado grueso. El asentamiento de la mezcla tipo I con finos es menor que la mezcla tipo II sin finos, esto se debe a la fluidez de la pasta y a la cohesión entre partículas de la mezcla.

Navas (2008), en su tesis: “Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad”, realizada en la Universidad de Costa Rica, facultad de ingeniería civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica 2008. Concluye con ayuda de los resultados que el concreto permeable es un material cuya resistencia y permeabilidad dependen de la influencia de ciertas variables; por lo general, las variables que afectan de forma positiva la resistencia del material, lo hacen de forma negativa con la permeabilidad, las cuales analizaron sobre 19 mezclas de concreto permeable, la relación agua/cemento, la relación agregado grueso/cemento y el tipo de agregado grueso utilizado (procedencia y tamaño máximo); dando como resultado



obtenido general observar tendencias de comportamiento entre las distintas propiedades y la resistencia y permeabilidad del material.

2.1.2 Nacionales

Los estudios realizados por Guizado & Curi (2017), en su tesis “Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú” trata de encontrar una alternativa de solución que ayude al control de las aguas pluviales provenientes de precipitaciones anormales debido a una alteración del clima por la ocurrencia de El Niño - Oscilación Sur en la costa noroeste del Perú. Para ello se evalúa implementar el concreto permeable en vías locales y pavimentos especiales de dicha región. Se combinan aspectos tanto hidráulicos como estructurales, así el pavimento debe ser capaz de drenar cierto volumen de agua y proporcionar resistencia estructural adecuada para el tipo de vía a evaluar.

En la tesis de Alcande (2016), titulado “evaluación del agregado proveniente de la cantera “rio cajamarquino” para la elaboración de concreto permeable para pavimento rígido, Cajamarca 2015”, se enfoca en analizar un agregado proveniente de la cantera “Río Cajamarquino” con el fin de determinar si sus propiedades físico – mecánicas permiten fabricar un concreto permeable que cumpla con la resistencia mínima para su uso en pavimentos en la ciudad de Cajamarca. Se analizó al agregado por medio de ensayos de laboratorio propuestos según las normas peruanas en vigencia (NTP) y se determinaron sus características para la fabricación de concreto permeable con un porcentaje de vacíos adecuado para la cuenca de Cajamarca. Se realizó el diseño de mezcla según lo establecido por el ACI 211.3 R-02 y se comparó el resultado de resistencia a compresión con la resistencia mínima requerida para su utilización en



pavimentos rígidos ($f'c=210\text{kg/cm}^2$). Los resultados de los ensayos realizados para el agregado y concreto, muestran mediante indicadores, sus propiedades y características.

En la tesis de Pérez Gordillo (2017) titulado “Influencia de la granulometría del agregado grueso en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, trujillo 2017” logro desarrollar un diseño de mezcla para las gradaciones de agregado grueso de 1/2", 3/8" y N° 4, con relación a/c de 0.35, 8% de finos, 15% de vacíos, un 25.20% de volumen de pasta y un factor b/bo de 0.94, llegando a la conclusión que la gradación de agregado N° 4 presentó el mejor comportamiento sobre las otras dos gradaciones con un valor de 209.68 kg/cm² y 33.81 kg/cm² respectivamente. En cuanto a permeabilidad, el agregado con gradación de 3/8" fue el que mayor coeficiente obtuvo, siendo este 0.222 cm/s. Para las resistencias a compresión y flexión, se puede afirmar que a medida que el tamaño de agregado grueso disminuye, la resistencia a la compresión tiende a elevarse. Además, se ha encontrado una relación promedio entre estas de 16.06 %, lo cual indica que los valores encontrados en la presente investigación presentan similar comportamiento que los valores publicados por el ACI 522 R-10.

2.1.3 Local

Flores & Pacompia, (2015) en la tesis “Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos $f'c$ 175 kg/cm² en la ciudad de Puno” incorporaron tiras de polipropileno (3 mm x 30 mm) en el diseño de mezcla de un concreto permeable de resistencia $f'c$ 175 kg/cm² en la ciudad de Puno, concluyendo que mejora parcialmente las propiedades del mismo, específicamente su resistencia a la compresión. Se ha determinado que la adición de dichas tiras en dos porcentajes (de los tres estudiados), incrementa la resistencia a la compresión del concreto permeable. el contenido de vacíos y coeficiente de permeabilidad, se ha determinado que la adición de tiras de polipropileno produce una variación ligera en sus magnitudes, presentando una



tendencia a la reducción de los mismos conforme se incrementa el porcentaje de adición de las Tiras. El contenido de vacíos de diseño del concreto permeable, en todos los casos de estudio es menor comparado con el contenido de vacíos en estado fresco y endurecido. Y la incorporación de tiras de polipropileno hace que los valores obtenidos del contenido de vacíos en estado fresco tiendan a reducir conforme se incrementa el porcentaje de tiras añadidas; se observa el mismo escenario para el estado endurecido. Los coeficientes de permeabilidad se encuentran dentro del rango definido por el reporte ACI 522, el cual es 0.14 a 1.22 cm/s, por lo que podemos concluir que todos los testigos elaborados cumplen con los requisitos de permeabilidad mínimos establecidos.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Cemento

El cemento Portland es usado principalmente como aglomerante en el concreto permeable, pero también se podría adicionar otros materiales, como ceniza volante, escoria granulada o humo de sílice (Bautista Pereda, 2018).

A mayor adición de materiales cementantes, como el cemento portland, generará que el concreto sea más resistente, pero se corre el riesgo de la disminución del porcentaje de vacíos del diseño y como consecuencia, se pierde la capacidad de infiltración de agua, por eso el ACI 522R-10 asegura que: “es recomendable diseñar con cantidades que oscilen entre 270 y 415 kg/m³” (ACI 522R-10, 2010).

Los componentes principales del cemento son la caliza y sílice (arcilla o escoria de alto horno), estos son mezclados en proporciones adecuadas y sometidos a un proceso de fusión en un horno rotatorio, dando creación al Clinker, este posteriormente será sometido a molinos de bola convirtiéndolo en polvo finísimo.

Una vez que el Clinker se encuentra en este estado se le agrega yeso más o menos un 5% del peso. Este porcentaje cumple la función de regular el proceso de fraguado del cemento, el cual si no lo contiene endurecería en forma casi inmediata.

Cemento Portland, es denominado al cemento que sigue el procedimiento descrito anteriormente. También existen los cementos Portland con adiciones especiales, los cuales además de mantener las características del Portland poseen otras propiedades especiales relacionadas principalmente con la durabilidad y la resistencia química. Según la norma NTP y Abanto (2009), los cementos nacionales se clasifican por su composición y su resistencia (tabla 1).

Tabla 1

Clasificación de los cementos según su composición

Denominación	Proporción de los componentes		
	Clinker	Puzolana	Escoria
Portland	100%	—	—
Portland Puzolánico	$\geq 70\%$	$\geq 30\%$	—
Portland Siderúrgico	$\geq 70\%$	—	$\leq 30\%$
Puzolánico	50 — 70%	30 — 50%	—
Siderúrgico	25 — 70%	—	30 — 75%

Nota: *Tecnología del concreto, Abanto (2009).*

2.2.1.1 Tipos de Cementos

El cemento Portland es llamado así puesto que tiene un parecido con una piedra natural que se encuentra en Inglaterra, precisamente en Portland, se le denomina aglomerante hidráulico ya que es capaz de desarrollar todas sus propiedades en presencia del agua como son el Fraguado y Endurecimiento. La definición es la misma que tiene el cemento Actual.

Los Cementos Portland por lo general, se fabrican en cinco tipos, cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de las especificaciones **ASTM** de normas



para Cemento Portland (c 150). Los tipos se distinguen según los requisitos tanto físicos como químicos.

2.2.1.2 Cemento Portland sin Adición

Constituidos por Clinker Portland y la inclusión solamente de un determinado porcentaje de sulfato de calcio (yeso). Aquí tenemos según las Normas Técnicas:

Tipo I: Para usos que no requieran propiedades especiales de cualquier otro tipo.

Tipo II: Para uso general y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.

Tipo III: Para utilizarse cuando se requiere altas resistencias iniciales.

Tipo IV: Para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.

Tipo V: Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfates.

2.2.1.3 Los Cementos en el Perú

En el Perú, actualmente tenemos las siguientes empresas cementeras (Tabla 2).

Tabla 2

Empresas de fabricación de cemento en el Perú

Nombre	ubicación
Cementos Lima S A	Atocongo – Lima
Cementos Pacasmayo S A A	Pacasmayo - La Libertad
Cemento Andino S A	Condorcocha - Tarma (Junín)
Yura SA	Yura - Arequipa
Cemento Sur S A	Caracoto - Juliaca (Puno)
Cemento Rioja	Pucallpa - Ucayali

Nota: *Diseño y control de mezclas de concreto, (PCA, 2004)*

2.2.2 Agregados

El agregado que generalmente se usa en el diseño del concreto permeable es el agregado grueso (Tabla 3), considerando en la mezcla el uso de un solo tamaño o de varios, tomando en cuenta que pase por las mallas de tamiz entre $\frac{3}{4}$ y $\frac{3}{8}$ pulg. (19 y 9.5 mm). La forma del agregado grueso puede ser granulado o redondeado.

El contenido de agregado fino es limitado en la mezcla de concreto permeable, por que compromete a la interconexión de los vacíos dentro del concreto permeable y esto genera la reducción de la infiltración de agua del mismo (Bautista Pereda, 2018).

Tabla 3

Requisitos de calificación para gruesos agregados

Tamaño Numero	Nominal (Tamices con abertura cuadrada)	Cantidades mas finas que cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas) % en peso													
		100 mm (4")	90 mm (3 1/2")	75 mm (3")	63 mm (2 1/2")	50 mm (2")	37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (Nº 4)	2.36 mm (Nº 8)	1.18 mm (Nº 16)	300 µm (Nº 50)
1	90 a 37.5 mm (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 15						
2	63 a 37.5 mm (2 1/2" a 1 1/2")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15						
3	50 a 4.75 mm (2" a 1")				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15					
357	50 a 4.75 mm (2" a Nº 4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 15			
4	37.5 a 19.0 mm (1 1/2" a 3/4")					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 15				
467	37.5 a 4.75 mm (1 1/2" a Nº 4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 15			
5	25.0 a 12.5 mm (1" a 1/2")						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 15				
56	25.0 a 9.5 mm (1" a 3/8")						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	25.0 a 4.75 mm (1" a Nº 4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	19.0 a 9.5 mm (3/4" a 3/8")							100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	19.0 a 4.75 mm (3/4" a Nº 4)							100	95 a 100		20 a 55	5 a 10	0 a 5		
7	12.5 a 4.75 mm (1/2" a Nº 4)								100	95 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	9.5 a 2.36 mm (3/8" a Nº 8)									90 a 100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	9.5 a 1.18 mm (3/8" a Nº 16)									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 a 1.18 mm (Nº 4 a Nº 16)										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Nota: Usos granulométricos para poder realizar los diseños de mezclas (ASTM C 133, 1999)



2.2.3 Aditivos

2.2.3.1 Super plastificante

Es un aditivo que, sin modificar la consistencia, permite reducir fuertemente el contenido en agua de un determinado hormigón, o que, sin modificar el contenido en agua, aumenta considerablemente el asiento, o ambos efectos a la vez.

Son aditivos reductores de agua de alto rango, que se agregan a los concretos de bajo revenimiento y baja relación agua/cemento para producir concretos fluidos de alto revenimiento. La creciente utilización del concreto fluido permitió la elaboración de aditivos para este concreto y dio origen a la especificación ASTM C 1017. La condición esencial que se busca al emplear un aditivo superplastificante consiste en aumentar transitoriamente la fluidez de las mezclas de concreto, sin afectar las propiedades potenciales del concreto endurecido, sin embargo, debe tenerse presente los posibles efectos secundarios que se originan a partir de aditivos reductores de agua a fin de prevenirlos con los ensayos correspondientes.

El concreto fluidificado con aditivos prácticamente no requiere ser compactado en las formas o cimbras y frecuentemente se logra acomodar por simple gravedad. De esta característica derivan sus principales aplicaciones, que son aquellas donde existan dificultades de acceso para la colocación y/o compactación del concreto, donde las formas son muy estrechas o donde hay excesivo acero de refuerzo.

2.2.3.2 Retardante de Fraguado

Son aquellos cuya función principal es retrasar el tiempo de fraguado del cemento (inicio y final).



Los aditivos sirven para mejorar las propiedades de características del concreto permeable y dependiendo de su tipo, influye en el estado fresco o en el endurecido el concreto (Bautista Pereda, 2018).

Disminuyen la velocidad de fraguado del concreto, estos también actúan como reductores de agua, se les denomina frecuentemente retardantes reductores de agua. Se emplean para compensar el efecto acelerante que el clima cálido puede producir al fraguado del concreto o para retrasar el fraguado inicial en colados difícil.

Los aditivos reductores de agua (de alto o mediano rango) se utilizan dependiendo de la relación agua – cemento (a/c) y deben cumplirlos requisitos según la norma ASTM C-494.

2.2.4 Agua Potable

La calidad del agua para el concreto permeable se rige por los mismos requisitos que para el concreto convencional. La relación agua cemento (a/c) de los concretos permeables son relativamente bajos (generalmente entre 0.26 a 0.40) por que una cantidad excesiva de agua conduciría al drenaje de la pasta y la posterior obstrucción del sistema de poros (Bautista Pereda, 2018).

Debido a que el comportamiento del concreto permeable es impredecible, la cantidad de agua que se incluye en la mezcla debe ser controlada con la finalidad de evitar que afecte a la resistencia y trabajabilidad de la misma.

2.2.5 Concreto permeable

El concreto permeable o concreto poroso está compuesto por cemento, agregado grueso, agua, aditivos y poco o nada de agregado fino. Gracias a su composición se obtiene un concreto con vacíos creados por falta de agregado fino y esto le permite que el agua pase a través de sus poros y a la vez funciona como un filtro natural (Figura 1),

ya que ayuda retener los contaminantes sólidos, dando lugar a que estos puedan ser recogidos fácilmente durante su limpieza y mantenimiento (Amoros & Bendezu, 2019).

Figura 1

Testigo con 25% de vacíos (huso N° 57)



Nota: ACCYCSA. S.A. <http://accycsa.com/wp-content/uploads/2019/06/09-Concreto-permeable.png>

2.2.5.1 Aplicaciones

El concreto permeable es utilizado principalmente para pavimentar superficies de uso vehicular y peatonal y en donde se requiera tener áreas permeables permitiendo que el agua de lluvia infiltre libremente al suelo, como resultado obtenemos la reducción o eliminación de escorrentía superficial de las aguas pluviales. Las cuales, según el ACI 522R-10, son las siguientes:

- Pisos, pavimentos y muros en donde se quieran mejorar características de absorción acústica.
- Andadores, banquetas y ciclo vías.
- Vialidades de tráfico ligero.

- Patios y jardines.
- Estacionamientos o zonas de lavado de autos.
- Estructuras de playas y muros marinos.
- Pisos de fondo de piscina.
- Pisos de zoológicos, graneros o establos.
- Terraplenes de puentes.
- Capas de base para las calles urbanas, carreteras municipales, caminos particulares y aeropuertos.
- Capas de superficie de losas deportivas.
- Capas rígidas de drenaje bajo áreas exteriores.

La norma ACI 522R-10. “Reporte en concreto permeable” recomienda la colocación del concreto permeable en áreas de alta permeabilidad, suelo natural con una gran conductividad hidráulica (Figura 2 y 3). Además, las áreas no deberán tener pendientes mayores al 5%. En general, en todas estas aplicaciones se utiliza concreto permeable sin esfuerzo, por el alto riesgo de corrosión del acero de refuerzo debido a la estructura porosa de este material.

Figura 2

Las principales aplicaciones del concreto permeable



Nota: i y ii: Vías pavimentadas. www.google.com/search?q=piso+de+concreto

Figura 3

Estacionamiento el concreto permeable



Nota: www.google.com/search?q=piso+de+concreto

2.2.5.2 Ventajas y Desventajas

a. Ventajas

- Evita encharcamientos y la saturación en los drenajes en épocas de lluvias.
- disminución de inundaciones.
- Disminución de charcos en los caminos y exceso de agua en los drenajes en épocas lluviosas.
- Restauración de mantos acuíferos.
- Reduce el índice de propagación de insectos portadores de enfermedades.
- Control de escurrimiento del agua pluvial.
- Aumenta la calidad de servicios vehiculares y peatonales para usuarios, durante la lluvia.

b. Desventajas

- Tiene una menor resistencia al desgaste comparado con el concreto convencional, por lo que solo debe aplicarse en zonas de tráfico ligero.



- Desgaste de permeabilidad del concreto permeable con el paso del tiempo, al saturarse los vacíos con material fino (material contaminante), debido a esto, es necesario su mantenimiento a base de agua a presión.
- El tránsito vehicular durante la etapa de construcción sea dirigido hacia afuera del área del área del pavimento permeable para evitar la compactación de las capas del suelo subyacente y la pérdida de la capacidad de filtración.
- El mantenimiento debe realizarse en forma periódica del concreto permeable.

2.2.5.3 Propiedades del Concreto Permeable

Las propiedades del concreto permeable dependen de los materiales, diseño de mezcla y el proceso constructivo; generalmente de su contenido de material cementante (c), la relación de agua – cemento (a/c), el nivel de compactación, la gradación del agregado y su calidad (Flores & Pacompia, 2015).

a) Propiedades en Estado Fresco

El estado fresco del concreto permeable se comprende desde el momento del mezclado del concreto hasta el momento del proceso de endurecimiento inicial, manteniendo las características de trabajabilidad, de tal manera que permite realizar las operaciones del mezclado, transporte, colocación, compactación y acabado (Bautista Pereda, 2018).

b) Peso Unitario

El peso unitario (peso volumétrico, densidad o masa unitaria) del concreto permeable en estado en general varía entre el 70% y 85% de una mezcla fresca de concreto convencional, oscilando entre 1600 a 2000 kg/m³, dependiendo del porcentaje de vacíos de diseño del mismo (Flores & Pacompia, 2015).



c) Revenimiento (slump)

El asentamiento generalmente es usado para medir la consistencia de una mezcla de concreto fresco. Cuanto mayor sea este, implica que más húmeda es la mezcla, el procedimiento de la realización de este ensayo esta descrito en la norma ASTM C143. Sin embargo, la mezcla del concreto permeable se caracteriza por ser de “cero slump” y al ser medido generalmente se obtienen valores de 0 a 1 cm (Flores & Pacompia, 2015).

d) Contenido de Vacíos (porosidad)

El cálculo de contenido de vacíos es determinando por el porcentaje de aire del método gravitacional y se rige a la norma ASTM C138. El contenido de vacíos dependerá de varios factores, como pueden ser: la granulometría del agregado, contenido de material cementante, relación agua cemento y energía de compactación.

La energía de compactación aplicada en la elaboración de un concreto permeable influye de sobremanera en el porcentaje de vacíos y por consiguiente en su peso volumétrico. En una serie de pruebas de laboratorio (meininger, 1988), para una sola mezcla de concreto permeable, compactado con ocho niveles diferentes de esfuerzo, los valores de peso de unidades producidas, variaban desde 1680-1920kg/m³ (Flores & Pacompia, 2015).

e) Propiedades en Estado Endurecido

Las principales características del concreto permeable en su estado endurecido:

- Resistencia a la compresión.
- Resistencia a la flexión.
- Módulo de elasticidad.
- Contracción.

- Permeabilidad.

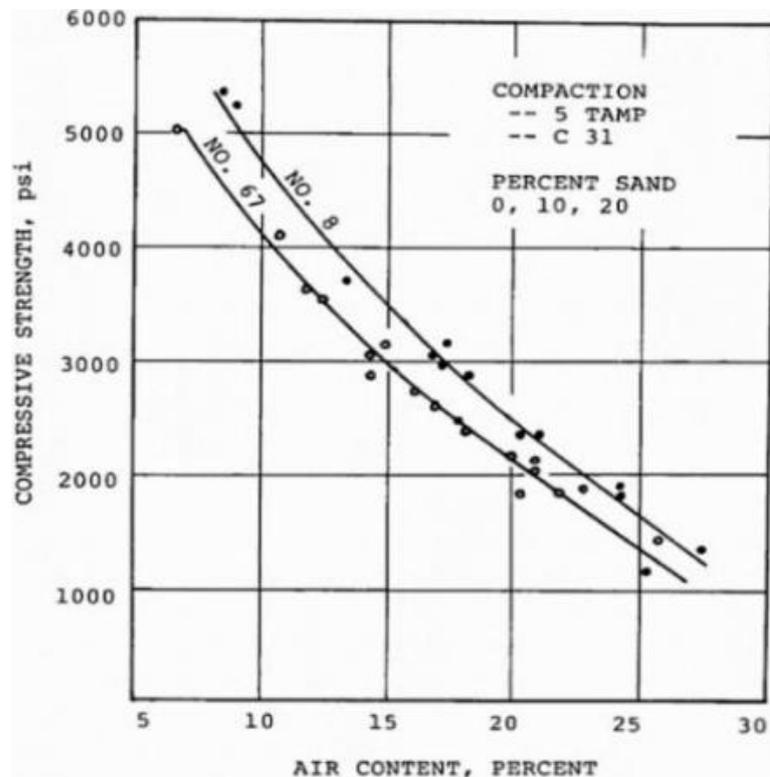
2.2.5.4 Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión es la capacidad que tiene el concreto en soportar un esfuerzo máximo bajo una carga de aplastamiento, la cual es provocada por las estructuras. Generalmente se mide mediante la exposición de un espécimen de concreto expuesto a una carga y se mide su resistencia hasta provocar su falla (Bautista Pereda, 2018).

La resistencia a la compresión puede ser definida como la máxima medida de resistencia que ofrece un espécimen de concreto a una carga axial (Figura 4). Esta se determina de acuerdo a lo estipulado en la norma ASTM C39.

Figura 4

Relación entre la Resistencia a la compresión y el contenido de vacíos



Nota: Meininger (1988)

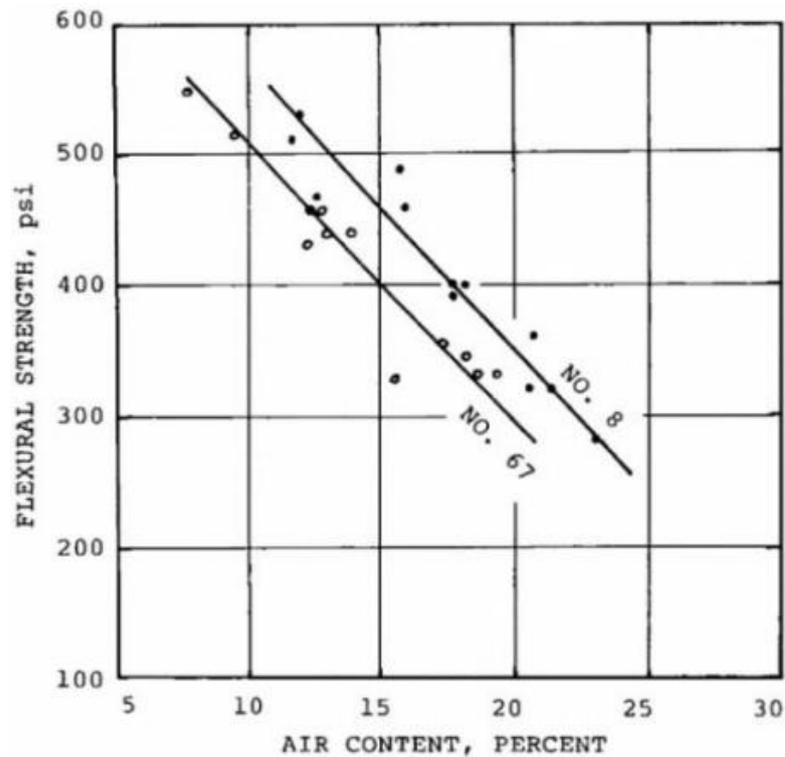


2.2.5.5 Resistencia a la Flexión

La resistencia a la flexión en el concreto permeable radica en medir la resistencia de falla en una viga o losa sin esfuerzo y esta expresada en kg/cm^2 . Se puede determinar por los métodos de ensayo ASTM C78 o ASTM C293. La resistencia a la flexión se ve afectada por el contenido de aire (Figura 5), pues al tener un mayor contenido de aire en el concreto su resistencia a la flexión disminuirá y guarda una relación con la resistencia a la compresión, debido a que si el concreto tiene una mayor resistencia a la flexión también tendrá una buena resistencia a la compresión. Además, según el ACI, si se agrega agregado fino a la mezcla (5 por ciento aproximadamente), se incrementa la resistencia a la flexión. Sin embargo, la ACPA y la PCA puntualizan la utilización de ensayos de resistencia a compresión como lo más conveniente y confiable, además el ACI 363 recomienda una correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión (Amoros & Bendezu, 2019).

Figura 5

Relación entre la resistencia a la flexión y el contenido de vacíos



Nota: Meininger (1988)

2.2.5.6 Permeabilidad

Una de las características principales de este concreto es su permeabilidad y porosidad, gracias a estas dos características se obtiene la propiedad de dejar fluir el agua a través de su estructura. Esta se obtiene por el tamaño de agregado grueso con el que está compuesto. La percolación o infiltración es la capacidad de dejar pasar el agua a través de un material poroso y para que esta tenga un valor significativo se requiere un porcentaje de vacíos de 15 por ciento o más (Amoros & Bendezu, 2019).

2.2.5.7 Durabilidad

La durabilidad del concreto permeable se refiere a la vida de servicio bajo ciertas condiciones ambientales. Los factores que influyen desfavorablemente en la duración del concreto permeable son la exposición a sulfatos y ácidos. Sin embargo, según el ASTM



C666 se mide la durabilidad por la resistencia del concreto a los efectos de hielo y deshielo, además no se han realizado estudios sobre su resistencia ante el agua que contiene estos factores agresivos. Otro factor que puede afectar su durabilidad es la falta de mantenimiento (Amoros & Bendezu, 2019).

2.2.5.8 Absorción acústica

Debido a la presencia de un gran volumen de poros interconectados de tamaños considerables en el material, el concreto permeable es altamente eficaz en la absorción acústica. El material puede ser empleado como un medio para reducir el ruido generado por interacción neumático-pavimento en pavimentos de concreto. La reducción del ruido se produce debido a la combinación de la menor generación de este y una mayor absorción de sonido. Los pavimentos permeables alteran la generación de ruido, minimizando el bombeo del aire entre el neumático y la superficie del pavimento.

Además, los poros absorben el sonido a través de la fricción interna entre el moviendo de las moléculas de aire y las paredes de los poros. El coeficiente de absorción “ α ” es una medida de la capacidad de un material de para absorber el sonido. Un material con un coeficiente de absorción de 1,0 indica un material puramente absorbente, mientras que un material con un coeficiente de absorción de 0 indica que el material es puramente reflectante. El concreto convencional, por ejemplo, tiene típicamente un coeficiente de absorción de 0,03 a 0,05 (Neithalath, Weiss y Olek, 2005). El concreto permeable tiene típicamente un intervalo de absorción de 0,1 (para mezclas con mal desempeño) a casi 1,0 (para mezclas con volumen óptimo de poros). El coeficiente de absorción depende de la frecuencia de las ondas sonoras que inciden, y por lo tanto, es importante seleccionar un espesor de concreto permeable adecuado a fin de minimizar sonidos de la frecuencia deseada (Flores & Pacompia, 2015).



2.2.5.9 Tamaño de Poros

Según el ACI 522R-10 (2010): “el tamaño de los poros en el concreto permeable es también uno de los mayores factores que influye en sus propiedades, tales como la permeabilidad y la absorción acústica” (p. 9).

Si se desea generar poros de mayor tamaño en el concreto, se recomienda usar tamaños de agregados más grandes y como consecuencia, previene y reduce el atasco de los vacíos (Bautista Pereda, 2018).

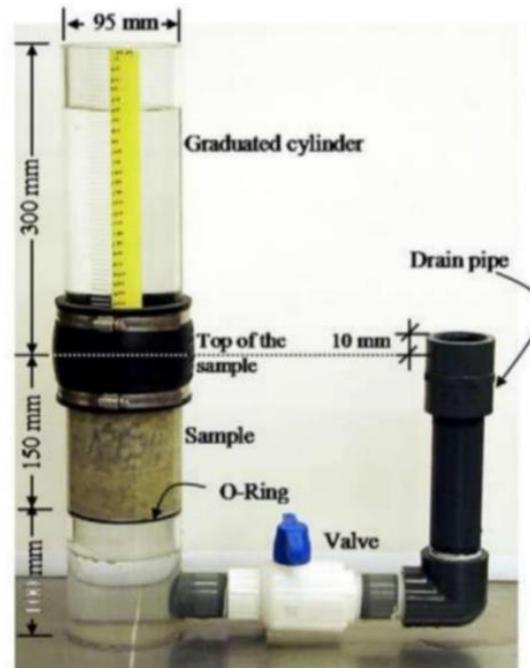
2.2.5.10 Infiltración

Según el ACI 522R-10 (2010) “es una de las propiedades más importantes del concreto permeable es la capacidad de infiltrar agua a través de su estructura. La infiltración está directamente relacionada con la porosidad y el tamaño de los vacíos del concreto permeable” (p. 10).

Algunos ensayos han afirmado que para lograr una percolación significativa tiene que tener como mínimo un porcentaje de vacíos de 15%. La capacidad de infiltración incrementa cuando el contenido de vacíos aumenta, por ende, la resistencia a la compresión disminuye. El reto al diseñar un concreto permeable es lograr el balance entre una aceptable percolación y una aceptable resistencia a la compresión. El coeficiente de permeabilidad del concreto permeable habitualmente se encuentra en el rango de 0.2 a 0.54 cm/s. La permeabilidad del concreto permeable es medible mediante un permeámetro (Figura 6) de carga variable dado por el ACI 522R-10 (Bautista Pereda, 2018).

Figura 6

Permeámetro de carga variable (ACI 522R-10, 2010)



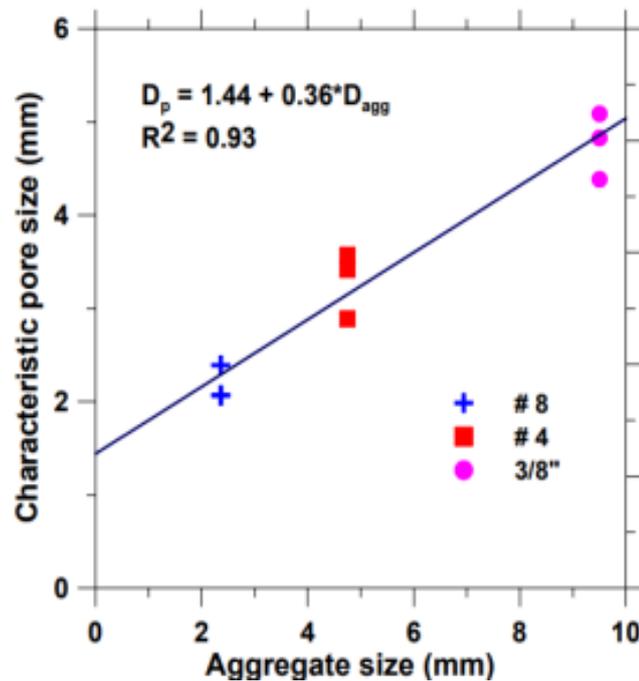
Nota: (ACI 211.3R-02, 2009)

2.2.6 Tamaño Máximo Nominal y Forma del Agregado Grueso

Según diversos estudios, se ha establecido que una granulometría no uniforme con casi la totalidad de su porcentaje de un mismo tamaño de agregado (es decir, una distribución granulométrica estrecha) produce un hormigón de una permeabilidad en un rango entre moderado a alto, sin embargo, este aspecto va en inversamente proporcional a las propiedades de resistencia a la compresión simple y flexión (Figura 7). Una granulometría concebida con gran porcentaje de un agregado mayor y pequeñas cantidades de otro u otros menores, no brindan características buenas ni de permeabilidad ni de resistencia (Crouch, Adam, & Sparkman, 2007). Para asegurar la mínima porosidad en el concreto permeable, la relación del tamaño del diámetro entre el agregado más grande y el agregado más pequeño no supere una ratio de 2.5. De lo contrario, los agregados de menor tamaño llenarán los vacíos dejados por los agregados de gran tamaño disminuyendo la porosidad y la permeabilidad (ACI 522R-10, 2010).

Figura 7

Influencia del tamaño del agregado grueso en el tamaño del poro



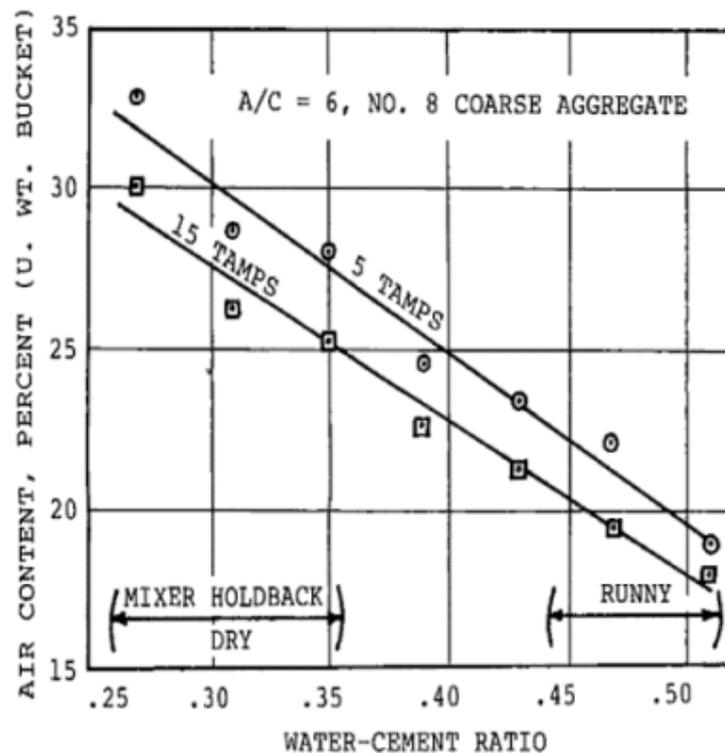
Nota: (Neithenalth, 2004)

2.2.7 Relación Agua - Cemento

La relación agua/cemento (a/c) es importante para lograr una adecuada resistencia a la compresión, sin embargo, no es posible utilizar la relación entre ambas hechas para concreto convencional (ACI 522R-10, 2010). Un alto a/c puede ocasionar que la pasta fluya entre los agregados, obstruyendo los vacíos entre ellos; por otro lado, un bajo a/c puede provocar poca adhesión entre los agregados y generando problemas de trabajabilidad. En figura 8, se muestra la relación entre el contenido de vacíos y la relación a/c (Meininger, 1988). Los contenidos de cemento y agregado se mantienen constantes y está realizado para dos casos de compactación.

Figura 8

Relación entre el contenido de vacíos y la relación a/c.



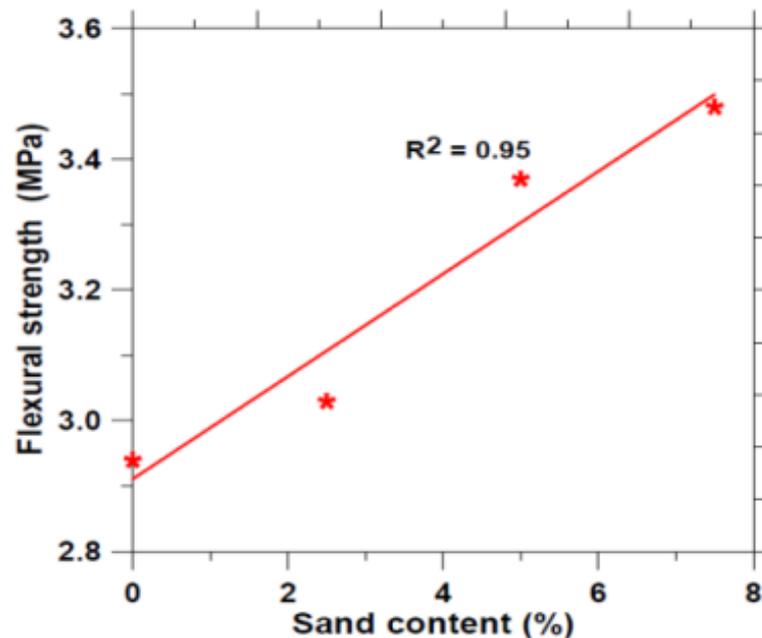
Nota: (Meininger, 1988).

2.2.8 Uso de Agregado Fino

La influencia del uso de agregado fino sobre la resistencia a la flexión en la mezcla para concreto permeable. La arena reemplazó el 2.5, 5 y 7.5% del agregado grueso (N°8). Como se aprecia en la Figura 9, un poco de contenido de arena incrementa la resistencia a la flexión significativamente. En caso de que se requiera incrementar la resistencia a la flexión de nuestras mezclas, se podría utilizar arena para cumplir con los requerimientos mínimos. Se debe tener cuidado al usarse, ya que al llenar los poros y aumentar la resistencia, también afecta la permeabilidad.

Figura 9

Influencia del uso de agregado fino en la resistencia a la flexión.



Nota: (Neithenalth, 2004)

2.2.9 Calor de Hidratación del Cemento

Esta hidratación puede ser analizada como la suma de todas las reacciones de los compuestos individuales del cemento, interactuando simultáneamente. A continuación, se muestran en detalle, a través de un gráfico, las cuatro etapas del proceso de hidratación del cemento.

La hidratación del cemento Portland es un proceso exotérmico por lo que la velocidad de desprendimiento de calor es una medida de la velocidad del proceso.

La acción del superplastificante, compuesto químico policondensado de naftaleno y formaldehído, retrasa las reacciones de hidratación del cemento. Ello genera un calor excedido y prolongado debido a que la adición del aditivo adsorbe en los granos de cemento formando una especie de “piel” alrededor de dichos granos impidiendo el acceso de las moléculas de agua a las partículas de cemento. Por tanto, se mantiene por mayor



tiempo la primera etapa de la hidratación por lo que significa mayor tiempo de calor de hidratación (Puertas & Vazquez, 2001)

2.2.10 Pavimentos

Según reportes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el Perú tiene una red vial total de 150 mil km, donde esta pavimentada solamente el 12.5%. De la red pavimentada, la mayoría está compuesta por pavimentos flexibles. Un pavimento de concreto o pavimento rígido consistente básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o sub base. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

Todo lo contrario, sucede en los pavimentos flexibles, que, al tener menor rigidez, transmiten los esfuerzos hacia las capas inferiores lo cual trae como consecuencia mayores tensiones en la subrasante. (Guizado & Curi, 2017).

2.2.10.1 Pavimento rígido

También llamado pavimento de concreto, son aquellos pavimentos que constan de losa de concreto sobre una base, o en otros casos, directamente a una sub base. Debido a que estos pavimentos poseen una losa de concreto en la superficie, les permite soportar cargas pesadas.

Debido a su poco mantenimiento, son bastante económicos a largo plazo y al ser muy resistente, tiene una vida útil más prolongada que los pavimentos flexibles. Debido a sus ventajas y propiedades, son construidos en ciudades o en fábricas de trabajo industrial, debido a que absorbe la mayoría de los esfuerzos que los vehículos ejercen sobre el pavimento (Amoros & Bendezu, 2019).



2.2.10.2 Vías Urbanas

Las vías urbanas son espacios destinados al tránsito de vehículos y/o personas que se encuentran dentro del límite urbano. Dentro de estas se encuentran las vías expresas, arteriales, colectoras y locales. Las vías locales son aquellas que tienen por objeto el acceso directo a las áreas residenciales, comerciales e industriales y circulación dentro de ellas (Guizado & Curi, Evaluacion del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en via locales y pavimentos especiales de la costa., 2017).

2.2.10.3 Pavimentos Especiales

Los Pavimentos Urbanos, se consideran como pavimentos especiales a aceras o veredas; pasajes peatonales y ciclovías.

2.2.10.4 Requisitos Según los Tipos de Pavimentos

a. Requisitos de Resistencia

En la tabla 4 se presentan los requisitos mínimos de resistencia en un pavimento, Se sabe que las cargas sobre el pavimento producen esfuerzos de compresión y flexión. El diseño del pavimento debe hacerse tomando mayor cuidado en el esfuerzo de flexión utilizando el Módulo de Ruptura (MR) para el diseño del espesor de la capa de rodadura (Figura 10); ya que la resistencia del concreto a tracción por flexión es mucho menor que la de compresión. Se usará el ensayo normalizado ASTM C78/C78M (Guizado & Curi, 2017).

Tabla 4

Requisitos mínimos según tipos de pavimentos

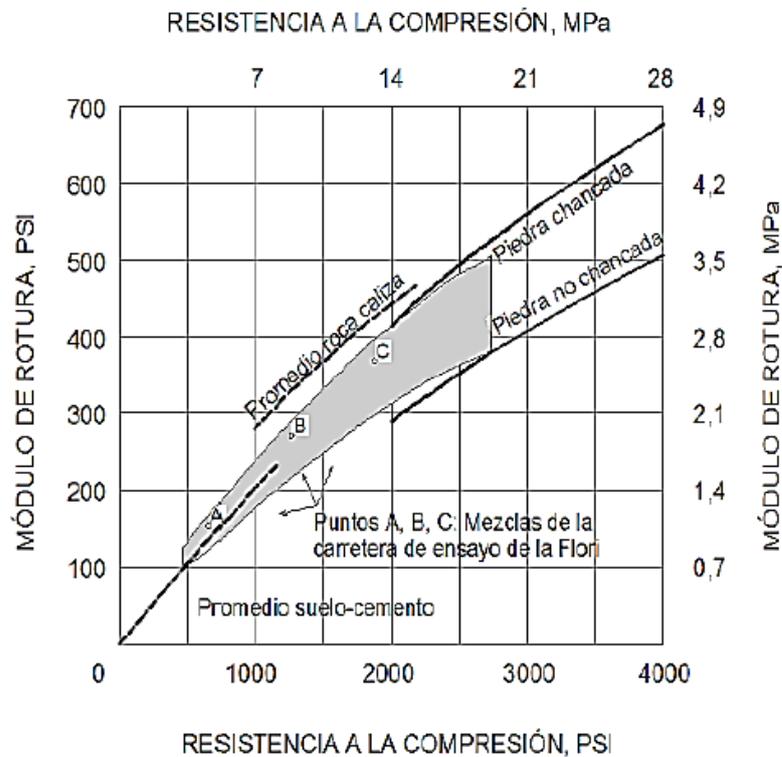
Tipo de Pavimento		Flexible	Rígido	Adoquines
Elemento				
Capa de Subrasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
		Espesor compactado: ≥ 250 mm – Vías locales y colectoras ≥ 300 mm – Vías arteriales y expresas		
Capa de Subbase		CBR ≥ 40 % 100% Compactación Proctor Modificado	CBR ≥ 30 % 100% compactación Proctor Modificado	
Capa de Base		CBR ≥ 80 % 100% Compactación Proctor Modificado	NA	CBR ≥ 80% 100% compactación Proctor Modificado
Riego de Imprimación/ Capa de Apoyo		Penetración de la Imprimación ≥ 5 mm	NA	Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm.
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	CA ≥ 50 mm	CH ≥ 150 mm	≥ 60 mm
	Vías colectoras	CA ≥ 60 mm		≥ 80 mm
	Vías arteriales	CA ≥ 70 mm	CH ≥ 200 mm	NR
	Vías expresas	CA ≥ 80 mm		NR
Resistencia Mínima	Vías locales	NA	MR ≥ 3,4 MPa (34 kg/cm ²)*	f _c ≥ 38 MPa (380 kg/cm ²)
	Vías colectoras			
	Vías arteriales	NA	MR ≥ 4,5 MPa (45 kg/cm ²)*	
	Vías expresas			

Nota: NA: No aplicable; NR: No Recomendable; CA: concreto asfáltico. CH: Concreto Hidráulico.

CE. 010 RNE (2010)

Figura 10

Relación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión



Nota: (PCA, 2004)

Para pavimentos especiales se deberán cumplir con los siguientes requerimientos de la Tabla 5 extraída de la Norma CE.010:

Tabla 5

Tipos de pavimentos especiales

Tipo de Pavimento		Aceras o Veredas	Pasajes Peatonales	Ciclo vías
Subrasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
		Espesor compactado: ≥ 150 mm		
Base		CBR ≥ 30 %	CBR ≥ 60 %	
Espesor de la capa de rodadura	Asfáltico	≥ 30 mm		
	Concreto de cemento Portland	≥ 100 mm		
	Adoquines	≥ 40 mm (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm)		
Material	Asfáltico	Concreto asfáltico*		
	Concreto de cemento Portland	$f_c \geq 17,5$ MPa (175 kg/cm ²)		
	Adoquines	$f_c \geq 32$ MPa (320 kg/cm ²)	NR **	

Nota: (CE.010 RNE, 2010)



b. Requisito de Trabajabilidad

El concreto para los pavimentos requiere una mínima trabajabilidad para que sea colocado. El contenido de agua, la gradación de los agregados y el contenido de vacíos son todos los factores que afectan a la trabajabilidad. El slump requerido para pavimentos con encofrados deslizantes es entre 15 y 40 mm. Para el concreto colocado con la mano, vibradora o con un rodillo debe de tener un slump superior, no menor que 100 mm (NTP 339.035, 2014).

2.2.10.5 Clasificación de los pavimentos permeables

El doctor Jorge Rodríguez (2008) propone una clasificación en donde divide a los pavimentos permeables en dos grupos:

Pavimentos permeables discontinuos.

- Césped o grava con refuerzos.
- Adoquines con ranuras.

Pavimentos permeables continuos.

- Mezcla bituminosa porosa.
- Hormigón poroso.

2.2.11 Análisis hidrológico-hidráulico en pavimentos rígidos

El análisis de desempeño de los pavimentos permeables desde el punto de vista hidrológico e hidráulico es realizado con base en los datos cuantitativos de los fenómenos inmersos en el balance hídrico, los cuales son colectados por los dispositivos de monitoreo. Tales fenómenos son: Precipitación, escorrentía superficial, infiltración y evaporación; y se dividen en variables de entrada, variables de salida y de almacenamiento.



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

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

La capacidad de infiltración de la propia capa de pavimento no suele ser un factor limitante en el diseño de éstos, pues suele ser al menos un orden de magnitud superior a las máximas intensidades de lluvia esperables, sin embargo, esta tasa se reduciría y estabilizaría con el tiempo debido a la colmatación, por lo que se suele recomendar en el diseño adoptar en este valor un factor de seguridad de 10.

La capacidad de almacenamiento en el propio pavimento depende directamente de las características del régimen de precipitación, de la capacidad de filtración al terreno subyacente, de la capacidad de drenaje complementario y del área drenada al propio pavimento y está directamente relacionada con el espesor de cada una de las capas de pavimento y sus respectivos índices de huecos (García, Perales, & Doménech, 2011).



2.2.11.1 Estudio Hidrológico

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

La información hidrológica utilizada fue proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Los datos caracterizados corresponden a los de la estación meteorológica 472DD33A ubicada en la Universidad Nacional del Altiplano de la ciudad de Puno, por lo que se adoptan como representativos para realizar el diseño de concretos permeables que serán utilizados en pavimentos de la ciudad Universitaria Puno (Flores & Pacompia, 2015).

2.2.11.2 Cálculo de Caudales de Escurrimiento

Según (RNE, 2012), Los caudales de escurrimiento serán calculados por lo menos según:

- El Método Racional, aplicable hasta áreas de drenaje no mayores a 13 Km
- Técnicas de hidrogramas unitarios podrán ser empleados para áreas mayores a 0.5 Km², y definitivamente para áreas mayores a 13 Km².
- Metodologías más complejas como las que emplean técnicas de transito del flujo dentro de los ductos y canalizaciones de la red de drenaje, técnicas de simulación u otras, podrán ser empleadas a discreción del diseñador.

2.2.11.3 Método Racional

Según (RNE, 2012), Para áreas urbanas, donde el área de drenaje está compuesta de subáreas o subcuencas de diferentes características, el caudal pico proporcionado por el método racional viene expresado por la siguiente forma:

$$Q = 0.278 \cdot \sum_{i=1}^m c_i \cdot I \cdot A_i$$

Dónde:

Q = es el caudal pico m^3/s ,

I = la intensidad de la lluvia de diseño en mm/hora,

A_i = es el área de drenaje de la i -ésima de las subcuencas en Km^2

c_i = es el coeficiente de escorrentía para la j -ésima subcuencas, y m es el número de subcuencas drenadas por un alcantarillado.

Las subcuencas están definidas por las entradas o sumideros a los ductos y/o canalizaciones del sistema de drenaje.

La cuenca está definida por la entrega final de las aguas a un depósito natural o artificial, de agua (corriente estable de agua, lago, laguna, reservorio, etc.).

2.2.11.4 Coeficiente de Escorrentía

El RNE (2012), define que la selección del valor del coeficiente de escorrentía (Tabla 6), y deberá sustentarse en considerar los efectos de:

- Características de la superficie.
- Tipo de área urbana.
- Intensidad de la lluvia (teniendo en cuenta su tiempo de retomo).
- Pendiente del terreno.

- Condición futura dentro del horizonte de vida del proyecto.

Tabla 6

Coefficientes de escorrentía para ser utilizados en el Método Racional

CARACTERISTICAS DE LA SUPERFICIE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
AREAS URBANAS							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / Techos	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano 0 - 2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio 2 - 7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente Superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto menor del 50% al 75% del área)							
Plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano 0 - 2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio 2 - 7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente Superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
AREAS NO DESARROLLADAS							
Area de Cultivos							
Plano 0 - 2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio 2 - 7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente Superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano 0 - 2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio 2 - 7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente Superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Nota: Reglamento Nacional de Edificaciones RNE (2012)



El diseñador puede tomar en cuenta otros efectos que considere apreciables: proximidad del nivel freático, porosidad del subsuelo, almacenamiento por depresiones del terreno, etc.

El coeficiente de escorrentía para el caso de áreas de drenaje con condiciones heterogéneas será estimado como un promedio ponderado de los diferentes coeficientes correspondientes a cada tipo de cubierta (techos, pavimentos, áreas verdes, etc.), donde el factor de ponderación es la fracción del área de cada tipo al área total.

2.2.11.5 Intensidad de Lluvia

El RNE (2012), establece que la intensidad de la lluvia de diseño para un determinado punto del sistema de drenaje es la intensidad promedio de una lluvia cuya duración es igual al tiempo de concentración del área que se drena hasta ese punto, y cuyo periodo de retorno es igual al del diseño de la obra de drenaje.

Es decir que para determinarla usando la curva intensidad - duración - frecuencia (IDF) aplicable a la zona urbana del estudio, se usa una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, y la frecuencia igual al recíproco del periodo de retorno del diseño de la obra de drenaje.

La ruta de un flujo hasta un punto del sistema de drenaje está constituida por:

- La parte donde el flujo fluye superficialmente desde el punto más remoto del terreno hasta su punto de ingreso al sistema de ductos y/o canalizaciones.
- La parte donde el flujo fluye dentro del sistema de ductos y/o canalizaciones desde la entrada en él hasta el punto de interés.



En correspondencia a las partes en que discurre el flujo, enunciadas en el párrafo anterior, el tiempo de concentración a lo largo de una ruta hasta un punto del sistema de drenaje es la suma de:

El tiempo de ingreso al sistema de ductos y canalizaciones, t_0 .

El tiempo del flujo dentro de alcantarillas y canalizaciones desde la entrada hasta el punto, t_f . Siendo el tiempo de concentración a lo largo de una ruta hasta el punto de interés es la suma de:

$$t_c = t_0 + t_f$$

El tiempo de ingreso, t_0 , puede obtenerse mediante observaciones experimentales de campo o pueden estimarse utilizando.

La selección de la ecuación idónea para evaluar t_0 será determinada según ésta sea pertinente al tipo de escorrentía superficial que se presente en cada subcuenca. Los tipos que pueden presentarse son el predominio de flujos superficiales tipo lámina o el predominio de flujos concentrados en correnteras, o un régimen mixto.

En ningún caso el tiempo de concentración debe ser inferior a 10 minutos.

El tiempo de flujo, t_f , está dado por la ecuación:

$$t_f = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}$$

Dónde:

L_i = Longitud del i -ésimo conducción (ducto o canal) a lo largo de la trayectoria del flujo

V_i = Velocidad del flujo en el ducto o canalización.



En cualquier punto de ingreso al sistema de ductos y canalizaciones, al menos una ruta sólo tiene tiempo de ingreso al sistema de ductos, t_0 . Si hay otras rutas estas tienen los dos tipos de tiempos t .

El tiempo de concentración del área que se drena hasta un punto de interés en el sistema de drenaje es el mayor tiempo de concentración entre todas las diferentes rutas que puedan tomar los diversos flujos que llegan a dicho punto.

2.2.11.6 Área de Drenaje

El RNE (2012), establece que debe determinarse el tamaño y la forma de la cuenca o subcuenca bajo consideración utilizando mapas topográficos actualizados. Los intervalos entre las curvas de nivel deben ser lo suficiente para poder distinguir la dirección del flujo superficial.

Deben medirse el área de drenaje que contribuye al sistema que se está diseñando y las subáreas de drenaje que contribuyen a cada uno de los puntos de ingreso a los ductos y canalizaciones del sistema de drenaje.

El esquema de la divisoria del drenaje debe seguir las fronteras reales de la cuenca, y de ninguna manera las fronteras comerciales de los terrenos que se utilizan en el diseño de los alcantarillados de desagües.

Al trazar la divisoria del drenaje deberán atenderse la influencia de las pendientes de los pavimentos, la localización de conductos subterráneos y parques pavimentados y no pavimentados, la calidad de pastos, céspedes y demás características introducidas por la urbanización.



2.2.11.7 Período de Retorno

El RNE (2012), establece que el sistema menor de drenaje deberá ser diseñado para un periodo de retorno entre 2 y 10 años. El periodo de retorno está en función de la importancia económica de la urbanización, correspondiendo 2 años a pueblos pequeños.

El sistema mayor de drenaje deberá ser diseñado para el periodo de retorno de 25 años.

El diseñador podrá proponer periodos de retorno mayores a los mencionados según su criterio le indique que hay mérito para postular un mayor margen de seguridad debido al valor económico o estratégico de la propiedad a proteger.

2.2.11.8 Información Pluviométrica

El RNE (2012), menciona que cuando el estudio hidrológico requiera la determinación de las curvas intensidad – duración - frecuencia (IDF) representativas del lugar del estudio, se procederá de la siguiente manera:

Si la zona en estudio está en el entorno de alguna estación pluviográfica, se usará directamente la curva IDF perteneciente a esa estación.

Si para la zona en estudio sólo existe información pluviométrica, se encontrará la distribución de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas de dicha estación, y luego junto con la utilización de la información de la estación pluviográfica más cercana se estimarán las precipitaciones para duraciones menores de 24 horas y para el período de retorno que se requieran. La intensidad requerida quedará dada por;

$$I_{(t,T)} = \frac{P_{(t,T)}}{t}$$

Donde;



$I_{(t,T)}$ = Es la intensidad para una duración t y periodo de retorno T requeridos;

$P_{(t,T)}$ = es la precipitación para las mismas condiciones.

Como método alternativo para este último caso pueden utilizarse curvas IDF definidas por un estudio regional. De utilizarse el estudio regional “Hidrología del Perú” IILA - UM – SENAMHI 1983 modificado.

Si el método racional requiere de intensidades de lluvia menores de una hora, debe asegurarse que la curva o relación IDF sea válida para esa condición.

2.2.11.9 Métodos de Hietograma de Diseño

Hietograma de Precipitación de Diseño Utilizando las Relaciones IDF Chow et ál. (1994), definen en los métodos de diseño de hidrología desarrollados hace muchos años, tal como el método racional, solo se utilizaba el caudal pico. No existía consideración alguna sobre el tiempo de distribución del caudal (el hidrograma de caudal) o sobre la distribución temporal de la precipitación (el hietograma de precipitación). Sin embargo, los métodos de diseño desarrollados más recientemente, los cuales utilizan el análisis de flujo no permanente, requieren de predicciones confiables de hietograma de diseño para obtener los hidrogramas de diseño.

En sitios donde no se disponga de información que permita establecer la distribución temporal de la precipitación durante la tormenta (hietograma), el hietograma podrá ser obtenido en base a técnicas simples como la distribución triangular de la precipitación o la técnica de bloques alternantes.

$h = 2P / T$, altura h del pico del hietograma, donde P es la precipitación total.

$r = t_a / T_d$, coeficiente de avance de la tormenta igual al tiempo al pico, t_a , entre la duración total. $t_b = T_d - t_a = (1 - r) T_d$, tiempo de recesión.



Dónde:

r puede estimarse de las tormentas de estaciones pluviográficas cercanas o tomarse igual a 0.6 dentro de un criterio conservador.

2.2.11.10 Descarga de Diseño

Determinado el hietograma de diseño y la precipitación efectiva se pueden seguir los procedimientos generales de hidrología urbana establecidos por las técnicas de hidrogramas unitarios y que son descritas en las referencias de la especialidad, con el fin de determinar las descargas de diseño.

2.2.11.11 Análisis de la Precipitación Máxima

El concreto permeable no se diseña con el valor de precipitación antecedente más alto existente (en 24 horas) ver tabla 7, sino que se selecciona un evento de importante magnitud que se repite cada cierto periodo de tiempo, a este se le llama periodo de retorno. Con este se garantiza que el sistema se vea excedido en su capacidad pocas veces durante su vida útil. A el periodo de retorno se le suma la intensidad de la lluvia y la duración, aspectos que complementan y permiten hacer la mejor selección de la precipitación de diseño, para dimensionar el volumen de almacenamiento (Interpave, 2008).

Tabla 7*parámetro: Precipitación máxima en 24 horas (mm)*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MAX.
2000	167.10	210.00	105.10	40.30	0.40	2.30	4.20	17.90	14.60	95.80	13.90	69.00	210.00
2001	250.80	214.60	224.10	69.80	12.20	2.20	0.00	12.50	27.10	68.40	56.20	81.00	250.80
2002	129.60	180.00	170.60	105.30	15.40	21.10	22.70	30.60	11.60	65.90	43.80	139.20	180.00
2003	174.50	114.40	114.40	46.10	36.70	4.80	0.20	9.60	42.90	25.40	8.60	131.80	174.50
2004	208.90	125.20	115.50	29.20	6.20	0.00	10.20	43.00	34.30	5.60	0.00	59.10	208.90
2005	103.30	157.90	134.60	45.70	0.40	0.00	0.00	0.00	11.80	39.50	80.50	97.40	157.90
2006	291.10	62.30	159.60	44.60	0.90	0.00	0.00	0.60	21.20	37.40	53.80	101.50	291.10
2007	84.80	171.00	236.70	49.70	10.60	0.00	3.30	1.60	61.30	77.00	44.20	74.10	236.70
2008	209.70	85.80	95.40	8.40	6.80	1.40	0.20	0.80	2.40	79.40	27.20	144.20	209.70
2009	154.00	136.10	148.30	83.00	0.40	0.00	2.50	0.00	16.40	56.40	88.90	62.50	154.00
2010	99.30	192.80	56.30	12.30	16.10	0.00	0.00	7.10	2.90	33.40	15.00	146.70	192.80
2011	122.70	202.90	116.50	46.80	4.80	0.00	6.40	0.20	45.80	25.70	48.50	151.30	202.90
2012	135.40	294.80	209.90	60.10	0.00	0.20	0.00	5.60	9.80	7.60	69.50	155.90	294.80
2013	153.00	175.80	100.00	14.30	22.40	12.50	1.50	4.50	11.60	32.90	61.40	117.10	175.80
2014	145.00	107.70	60.50	40.90	0.10	0.00	0.20	28.90	66.90	45.20	29.80	90.60	145.00
2015	96.40	121.00	187.00	114.10	0.20	0.00	1.80	4.00	54.50	41.50	23.20	59.40	187.00
2016	79.70	202.60	9.80	57.50	0.50	2.00	3.40	0.00	0.30	76.00	43.00	49.70	202.60
2017	314.30	119.20	145.70	45.50	21.70	1.00	1.60	0.00	62.30	65.20	23.90	68.50	314.30
2018	171.10	152.10	114.10	33.20	7.80	12.90	32.10	0.00	3.60	45.50	22.70	89.80	171.10
2019	152.00	78.70	43.70	58.60	19.00	2.20	7.60	0.00	12.60	39.90	92.50	81.50	152.00

Nota: SENHAMI.

2.2.12 Dimensionamiento del Pavimento Permeable

El dimensionamiento hidráulico-hidrológico permite determinar el espesor del reservorio necesario para almacenar el volumen de agua que precipita sobre el pavimento para un determinado tiempo de retorno, menos el volumen que infiltra en el suelo, o el volumen drenado, durante ese tiempo. Ese espesor debe ser comparado con el obtenido en el dimensionamiento mecánico, debiendo ser adoptada el mayor de los dos espesores (Flores & Pacompia, 2015).

El dimensionamiento es la determinación del volumen drenado por la superficie o por otra contribuyente de escorrentía para el área del pavimento. Para el dimensionamiento de un sistema de infiltración total, el reservorio (Sub-Base) debe ser lo suficientemente grande para acomodar el volumen de escurrimiento de una lluvia del proyecto, menos el volumen de escurrimiento que es infiltrado durante la lluvia.



2.2.13 Análisis estadístico

El análisis estadístico es de importancia en la evaluación de los resultados obtenidos porque nos permite tener certeza de la confiabilidad de los valores extraídos de las pruebas y en función a los parámetros estadísticos poder evaluar los resultados.

Se presenta la distribución de frecuencias, medidas de tendencia central y de dispersión que se hallaran en los diferentes análisis estadísticos de la presente tesis: Rango de Datos (R), Número de Intervalos de Clase (K), Tamaño de Intervalos de Clase (C), Media Aritmética (u), Mediana (um), Moda (uo), Varianza (σ), Coeficiente de Variación (Cv), 1er Coeficiente de Pearson (As), 2do Coeficiente de Pearson (AS), Coeficiente de Curtosis o Agudeza (K), conjuntamente con la gráfica de histograma de frecuencias y distribución Normal.

2.2.13.1 Distribución de Frecuencia

Un conjunto de observaciones es más comprensible y adquiere un significado concreto cuando es presentado en una tabla de distribución de frecuencias siendo la estadística descriptiva la que se ocupa de la recopilación, presentación y descripción de los datos.

2.2.13.2 Rango de Datos (R)

Llamado también recorrido de los datos, el rango es la diferencia entre el máximo y mínimo valor de un conjunto de datos.

$$R_X = X_{MAX} - X_{MIN}$$

2.2.13.3 Numero de Intervalos de Clase (K).

Este valor está relacionado con la cantidad de datos (N) de la muestra y generalmente se calcula con una regla de Sturges definida por:



$$K = 1 + 3.3 * LOG(N)$$

2.2.13.4 Tamaño de Intervalos de Clase (C).

Para efectos de hallar la longitud o tamaño de los intervalos de clase de igual tamaño utilizamos la siguiente relación:

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

2.2.13.5 Determinación de los Intervalos de Clases.

El valor más bajo de los datos es considerado como el límite inferior del primer intervalo de clase, para luego agregar el ancho de clase y de esta manera obtener el límite superior de la primera clase repitiéndose esta operación K veces, es decir:

$$I_1 = L_1, L_2$$

$$L_1 = X_{MIN}$$

$$L_2 = X_{MIN} + C$$

2.2.13.6 Marcas de Clase

Las marcas de clase son los puntos medios de cada intervalo de clase:

$$X_i = \left[\frac{L_{i-1} + L_i}{2} \right]$$

2.2.13.7 Frecuencia Absoluta de Clase (fi).

Se denomina así al número de observaciones o datos que pertenecen a cada intervalo de clase, lo cual generalmente es determinado mediante la tabulación de los datos.

2.2.13.8 Medidas de Tendencia Central y Posición.

Estas medidas se utilizan para indicar un valor que tiende a tipificar o a ser el más representativo de un conjunto de números. Las tres medidas que más comúnmente se emplean son la media, mediana y moda.

- **Media Aritmética (u).**

La media aritmética es lo que habitualmente se conoce como “promedio”, se obtiene al sumar los valores de un conjunto y al dividir el producto de esta suma entre el número de valores del mismo.

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

Usar la media aritmética nos sirve para:

- Expresar globalmente una información que ofrecen los datos.
- Expresar una medida estable.
- Tener una medida consistente.
- Obtener un dato fundamental para otros estadísticos.

- **Mediana (u_m)**

La segunda medida de tendencia central de un conjunto de números es la mediana. Su característica principal es que divide un conjunto ordenado en dos grupos iguales; la mitad de los números tendrá valores que son menores que la mediana, y la otra mitad alcanzará valores mayores que ésta. Para encontrar la mediana primeramente es necesario ordenar los valores (generalmente de menor a mayor). Posteriormente se deberá separar la mitad de los valores para obtener la mediana.



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

Donde:

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

n : Números total de datos.

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

F_m : Frecuencia absoluto del intervalo de clase de la Mediana.

C_m : Ancho del intervalo de clase de la mediana.

Moda (u_0)

La moda es una mediana de tendencia central que indica cuál es la puntuación, categoría o modalidad que más se repite en el conjunto de medidas.

$$u_0 = L_0 + \left[\frac{F_0 - F_{0-1}}{(F_0 - F_{0-1}) + (F_0 - F_{0+1})} \right] * C_m$$

Donde:

L_0 : Extremo inferior del intervalo modal (intervalo que tiene mayor frecuencia absoluta).

F_0 : Frecuencia absoluta del intervalo modal.

F_{0-1} : Frecuencia absoluta del intervalo anterior al modal.

F_{0+1} : Frecuencia absoluta del intervalo posterior al modal.

C_m : Ancho del intervalo de clase de la mediana

- **Relación Entre la Media, Mediana y Moda**

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.

- **Percentiles (Pr).**

Los percentiles son los 99 valores que dividen en 100 partes iguales a una serie de puntuaciones ordenadas, de forma que el percentil P deja por debajo de sí el m por ciento de las puntuaciones del grupo. A cada una de estas cien partes en las que se dividen las puntuaciones también las podemos llamar centil (Cm).

$$P_r = L_i + \left[\frac{\frac{r * n}{100} - F_{i-1}}{f_i} \right] * C_1$$

Donde:

L_i : Límite inferior de la clase donde se encuentra el percentil.

n : Es la suma de las frecuencias absolutas.

f_i : Es la frecuencia absoluta de la clase del percentil.

F_{i-1} : Es la frecuencia acumulada anterior a la clase del percentil.

C_i : Es la amplitud de la clase.

- **Medidas de Dispersión**

Éstas son necesarias para describir en forma adecuada un conjunto de datos. Además, para obtener información respecto a la parte media de un conjunto de números, es conveniente también tener un método para expresar la cantidad de dispersión que hay entre los mismos. Las medidas de dispersión indican si los valores están relativamente cercanos uno del otro o si se encuentran dispersos.

2.2.13.9 Varianza (σ^2)

La varianza de una muestra se calcula casi en la misma forma que la desviación media, con dos pequeñas diferencias: 1) las desviaciones se elevan al cuadrado antes de ser sumadas y, 2) se obtiene el promedio utilizando $n-1$ en lugar de n . La varianza se puede calcular mediante la fórmula siguiente:

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

2.2.13.10 Desviación Estándar

El desvío estándar es simplemente la raíz cuadrada positiva de la varianza. Para obtener la desviación estándar se puede utilizar la siguiente fórmula:

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

El desvío estándar es una de las medidas de resumen que más se utiliza y desempeña un papel muy importante en la estadística. Es importante observar que las unidades de la desviación estándar son las mismas que las de la media. Por ejemplo, si la media está en unidades de presión (kg/cm²), la desviación estándar también lo estará.

2.2.13.11 Coeficiente de Variación (Cv).

Es una medida de dispersión relativamente adimensional que sirve para determinar el grado de homogeneidad o heterogeneidad de un grupo o serie estadística que se analiza, generalmente su valor es en términos porcentuales y es de gran utilidad sobre todo cuando se comparan distribuciones.

$$C_V = \frac{\sigma}{u} * 100$$

a. 1er Coeficiente de Pearson (As).

Dados los valores de la media aritmética, mediana, moda y desviación estándar, el primer coeficiente de Pearson se determina por la siguiente fórmula:

$$A_s = \frac{u - u_0}{\sigma}$$

b. 2do Coeficiente de Pearson (AS).

Dados los valores de la mediana y los percentiles 10, 25, 75 y 90 el segundo coeficiente de Pearson está definido por:

$$AS = \frac{P_{75} + P_{25} - 2u_m}{P_{75} - P_{25}}$$

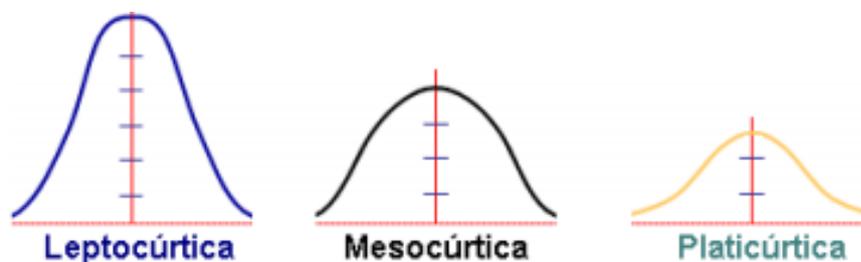
c. Coeficiente de Curtosis o Agudeza (K).

El coeficiente de Curtosis es una medida que calcula la deformación vertical (apuntalamiento) de una distribución de frecuencias correspondiente al conjunto de datos (Figura 11). El coeficiente de Curtosis está definido por:

$$K = \frac{P_{75} - P_{25}}{2 * (P_{90} - P_{10})}$$

Figura 11

Diferentes Distribuciones del Coeficiente de Curtosis.





2.3 HIPÓTESIS DEL ESTUDIO

2.3.1 Hipótesis del Proyecto

- El concreto permeable es buena alternativa de drenaje de las aguas pluviales en pavimentos rígidos en la Ciudad Universitaria de la UNA Puno.

2.3.2 Hipótesis Específico

- Se puede obtener un concreto permeable con el uso de agregados gruesos de 3/8” en la ciudad de Puno.
- El diseño de concreto permeable tiene buenas características de resistencia a la compresión de los concretos elaborados en la Ciudad Universitaria de la UNA Puno.



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Materiales aglomerantes

Se ha utilizado el Cemento Portland tipo IP marca Rumi, por ser esta de uso general para obras sin especificaciones requeridas, y de fácil comercialización en la ciudad de Puno, con un peso específico de 3.15 gr/cm³.

3.1.2 Agregados

Se utilizaron los agregados gruesos y finos provenientes de la cantera Cutimbo, que se están utilizando en las diferentes obras de construcción en la Ciudad Universitaria de la UNA – Puno.

Los agregados finos y gruesos han sido recolectados de la obra que se vienen realizando en la Ciudad Universitaria, que tienen procedencia de la Cantera Cutimbo ubicada en coordenadas geográficas;

- Latitud : 16° 02'09" S
- Longitud : 70° 00' 27" O
- Elevación : 3916 m

3.1.3 Agua

Se usó agua potable de la Ciudad universitaria de la UNA – Puno, en la preparación de las mezclas en el curado de las probetas de concreto.



3.2 METODOS

3.2.1 Tipo y diseño

El tipo de investigación es transversal debido a que solo se tomaron los datos una vez y las variables no han sufrido alteraciones en el transcurso del estudio.

El Nivel de investigación es Descriptiva, porque se describe las cualidades y atributos de la población objetivo (los agregados, resistencia y permeabilidad del concreto).

El método de investigación es Cuantitativo, ya que se obtienen valores numéricos de respuestas a los ensayos realizados.

En la investigación se tomó como variable independiente la variación de agregado y como variable dependiente. El Comportamiento del Concreto Permeable a resistencia a compresión (Kg/cm²) y permeabilidad (cm/s).

3.2.2 Población y muestra

3.2.2.1 Población

La población de referencia en la investigación son las probetas de concretos permeables elaborados con agregado grueso de ¾” y diferentes porcentajes de agregado fino.

3.2.2.2 Muestra

Las muestras de agregado grueso y fino se realizó de acuerdo con la NTP 400.010 (agregados, Extracción y preparación de las muestras), que han sido obtenidas de la obra “Ampliación de los servicios Educativos de la Escuela Profesional de Estadística e Informática” ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Altiplano, tomándose muestras representativas, transportadas al laboratorio de Materiales



y ensayos de la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, donde se evaluó las características físicas de los agregados.

Se elaboró los diseños de mezclas de concreto permeable con AG y 0%, 10% y 20% de AF, fabricándose los especímenes de concreto, que fueron nuestra de población a evaluar.

a. Muestras para la Prueba de Infiltración de las probetas

Para la prueba de infiltración se tomó 9 muestras, 3 por cada diseño de mezcla, evaluándose a los 7 días de edad del concreto, que se sometieron al método de prueba de la Norma ACI 522R; con equipo elaborado por los tesisistas.

b. Muestras para la prueba de compresión de probetas

Se analizaron tres especímenes por cada diseño de mezcla, tomándose 9 muestras en total, sometiéndolos a la prueba de compresión, evaluándose a la edad de 28 días. Antes de la prueba se tomó el peso y medidas de las probetas.

3.2.3 Unidad de análisis

- La unidad de análisis para esta investigación fueron los especímenes de concreto. Se usará como método de diseño de mezcla el utilizado en la ACI 211.3 (para concreto de bajo revenimiento).

Las pruebas que se realizaron son las siguientes:

- Prueba de granulometría para grueso (ASTM C-136)
- Prueba de la resistencia a la compresión de cilindros testigos de concreto (ASTM C-39).
- Prueba de Permeabilidad de especímenes de concreto (ACI 522R).



3.2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos empleada en la presente investigación fue la observación directa, análisis de documentos, ensayos de probetas cilíndricas en el laboratorio de materiales y Ensayos. Las principales técnicas utilizadas se describen en las siguientes normas:

- ASTM C-136, Análisis Granulométrico
- NTP 400.017, peso unitario
- NTP.400.021, peso específico y absorción del agregado grueso
- NTP.400.022, peso específico y absorción del agregado fino
- NTP 339.185, contenido de humedad
- comité 211.1 del ACI, Diseño de mezcla
- NTP 339.035, prueba de sentamiento
- NTP 339.034, prueba de resistencia a la compresión

Los instrumentos utilizados para el acopio de los datos fueron:

- Prensa digital para ensayos de concreto, Marca YF – STYE-200
- Balanza electrónica marca AYA, modelo 120607096
- Horno Eléctrico Digital con termostato, PYS EQUIPOS - SKU: STHX-2A
- Termómetro electrónico digital AMARELL – 438
- Cinta métrica de 7 m.
- Cronometro de tipo aplicativo de celular.

3.2.5 Diseño Estadístico

La recolección de los datos se realizó en forma directa, la primera etapa a través de muestreos, acopio y traslado de los agregados, la segunda etapa a través de los diseños



y ensayos anotándolos en los formatos respectivos de acuerdo al ensayo realizado, la tercera etapa a través de la elaboración del concreto, la cuarta etapa con los análisis de permeabilidad y resistencia a la compresión de las probetas concreto permeable.

Para el procesamiento y análisis de los datos se utilizó equipos de laboratorios, hojas de cálculos elaborados en Microsoft Office Excel, Programas estadístico Statgraphics,

Las variables de respuesta se evaluaron estadísticamente mediante la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), y un intervalo de confianza $(1 - \alpha) = 0.95$ (95%) mediante el paquete de software Statgraphics, utilizándose el siguiente planteamiento de regla de hipótesis;

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$, No hay diferencias entre las medias de las muestras

H_1 : Al menos un par de medias son significativamente distintas la una de la otra.

El estadístico estudiado en el ANOVA, conocido como F_{ratio} , es la ratio entre la varianza de las medias de los grupos y el promedio de la varianza dentro de los grupos conocida como “ F de Fisher-Snedecor”. Si se cumple la hipótesis nula (H_0), el estadístico F adquiere el valor de 1 ya que la intervarianza será igual a la intravarianza. Cuanto más difieran las medias de los grupos mayor será la varianza entre medias en comparación al promedio de la varianza dentro de los grupos, obteniéndose valores de F superiores a 1 y por lo tanto menor la probabilidad de que la distribución adquiera valores tan extremos (menor el P-value).

La regla de decisión se va a utilizar el valor de F de Fisher - Snedecor y la Valor – P (probabilidad) con la siguiente regla;



$F_{\text{ratio}} \geq 1$, o $\text{Valor-}P \leq 0.05 =$ Se acepta la hipótesis nula (H_0)

$F_{\text{ratio}} < 1$, o $\text{Valor-}P > 0.05 =$ Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis
alterna (H_1)



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Características Físicas del agregado grueso

4.1.1.1 Contenido de Humedad

Este ensayo se realizó de acuerdo al EM-MTC (2016), método de ensayo para determinar el contenido de humedad total de los agregados por secado, basado en la norma ASTM D2216.

- Se obtuvo como resultado promedio del porcentaje de humedad de 1.37% del AG.

4.1.1.2 Peso Específico y Absorción de agregado Grueso

El ensayo se realizó de acuerdo a la NTP.400.021, (2002), del peso específico y absorción de los agregados gruesos, el cual está basado en la norma ASTM C127.

En la Tabla 8 y 9 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 8

Resultado del peso específico y absorción del agregado grueso.

Propiedades	Cantidad obtenida
Peso específico	2.372 gr/cm ³
Absorción	1.102%

El peso específico y absorción del AF se obtuvo siguiendo los procedimientos y recomendaciones de la NTP.400.022, (2013), en la tabla 9 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 9

Resultado de peso específico del agregado fino.

Propiedades	Cantidad obtenida
Peso específico	2.343 gr/cm ³
Absorción	5.534%

4.1.1.3 Peso Unitario del Agregado Grueso

Este ensayo nos permitió conocer el peso unitario del agregado en su condición compactada y suelta. Se realizó de acuerdo al MTC E 203 – 2000; peso unitario y vacíos de los agregados, que está basado en la norma ASTM C29. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 10.

Tabla 10

Resultados de Peso unitario suelto y compactado

Descripción	Agregado Grueso
PUSS =	1389.913 kg/m ³
PUSC =	1563.653 kg/m ³

4.1.2 Diseño de mezcla

Para el diseño de mezcla se ha realizado considerando un 10% de agregado fino, 0.4% de supe plastificante y 0.2% de retardante, una relación de a/c de 0.35, y un porcentaje de vacíos del 20%.

Características del Concreto Permeable

Cantidad de vacíos = 20%

Relación agua cemento = 0.35

Características del Agregado



Agregado grueso

$$PVSS = 1389.913 \text{ kg/m}^3$$

$$PUSC = 1363.653 \text{ kg/m}^3$$

$$P.E. = 2.343 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Absorción} = 1.015\%$$

$$\text{Humedad} = 1.37\%$$

Agregado Fino

$$P.E. = 2.343 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Cantidad A.F. } 10\%$$

Peso del Agregado Grueso

$$\text{Cantidad A.F. } 10\%$$

b/b_0 = Relación de peso del agregado grueso/peso unitario seco compactado

$$b/b_0 = 0.93 \text{ (según tabla 11).}$$

Tabla 11

Valores efectivos de b / b_0

Porcentaje de agregado fino	b/b_0	
	ASTM C33/C33M Tamaño N° 8	ASTM C33/C33M Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Nota: tabla obtenida del (ACI 211.3R-02, 2009)

$$\text{Peso Agregado Grueso} = 0.93 * PUSC$$

$$\text{Peso Agregado Grueso} = 0.93 * 1363.653 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{Peso Agregado Grueso} = 1268.1973 \text{ kg}$$

Para obtener el peso húmedo lo multiplicamos por el porcentaje de humedad.

$$\text{Peso agregado Grueso Húmedo} = 1268.1973 \text{ kg} * (1 + 1.37\%/100)$$

Peso agregado Grueso Húmedo = 128.5716 kg/húmedo

vol. agregado Grueso = 0.540 m³/húmedo

Si se Considera A.F. la Mezcla Será:

Si se va a utilizar 10 % de A.F. la mezcla será.

Tabla 12

Volumen de agregado fino y agregado grueso

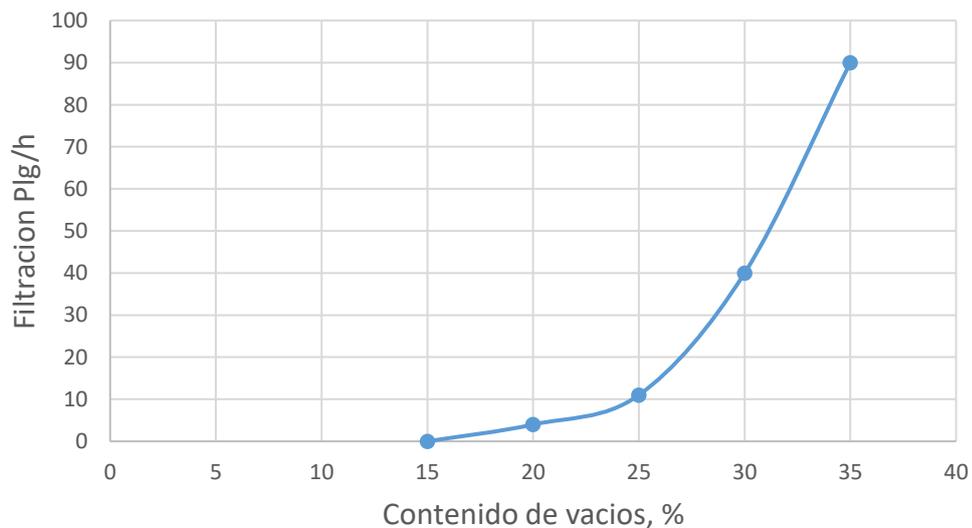
Características	Cantidad
Vol. A.F. =	0.0540 m ³
Vol. A .G. =	0.4860 m ³

4.1.2.1 Elección del Porcentaje de Vacíos

La elección del porcentaje de vacíos se hará de acuerdo a la norma ACI 522R, que varía del 15% al 35%, eligiéndose un 20% (Figura 12) para una mayor resistencia en nuestras probetas.

Figura 12

Contenido de vacíos vs filtración requerida



Nota: adaptado del ACI 522R-10 (2010).



4.1.2.2 Resistencia Referencial Según Contenido de Vacíos, a los 28 días

Luego de haber determinado el porcentaje de vacíos, se puede suponer la resistencia a compresión de acuerdo a la figura 13. En esta figura podemos observar los valores de resistencia a la compresión desarrollados a los 28 días por testigos de concreto permeable elaborados con dos tamaños estándar de agregado gruesos: No 08 y No 67.

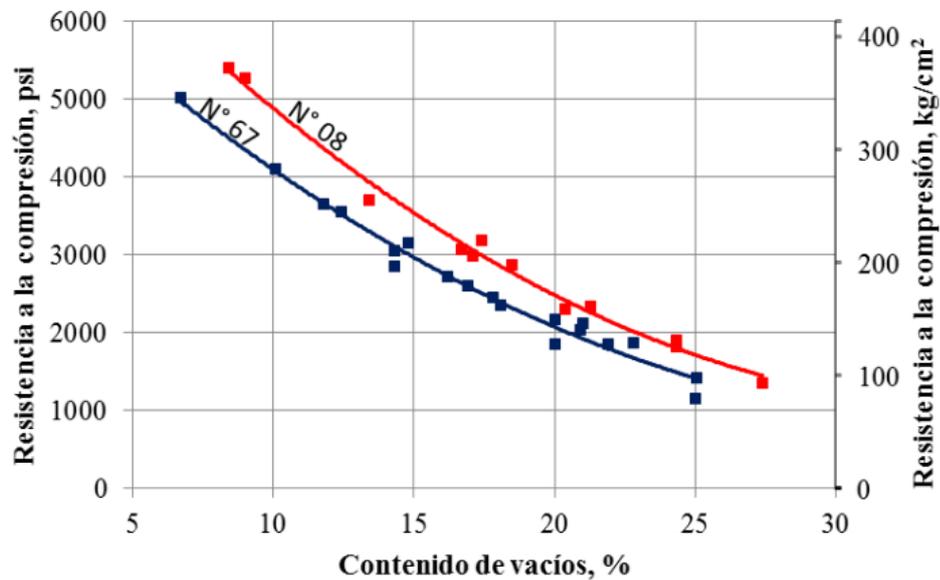
4.1.2.3 Determinación del Volumen de Pasta

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

En la figura 13, se observa que se tiene dos curvas, las cuales definen el tipo de compactación que se tendrá en cuenta durante el vaciado del concreto permeable y durante la elaboración de probetas in situ, estas son: ligeramente compactada, donde se incrementa el volumen de pasta y la bien compactada disminuye el volumen de pasta, esta condición se identifica en un mismo porcentaje de vacíos.

Figura 13

Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión



Nota: (Flores & Pacompia, 2015)

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

$$VP = Vc + Va$$

Donde:

VP = Volumen de pasta

Vc = Volumen de cemento

Va = Volumen de agua

La cual se expresa como:

Cantidad de Aditivos

Superplastificante 0.4%

Retardante de fragua 0.2%

También el volumen de Pasta puede ser

$$VP = 1 - (\text{vol. de agregado} + \% \text{vacíos} + \% \text{aditivos})$$

$$\text{Vol de agregado} = 0.54008 \text{ m}^3$$



$$\text{vol. vacíos} = 0.2 \text{ m}^3$$

$$\text{vol. Aditivos} = 0.006 \text{ m}^3$$

$$\text{Total de volumen} = 0.7460799 \text{ m}^3$$

$$VP = 0.2539201 \text{ m}^3$$

Cantidad de Cemento

Conocemos VP, Pe del cemento, relación a/c, despejando y reemplazando datos encontramos el valor de la cantidad de cemento.

$$VP = \frac{c}{Pe.c} + \frac{a/c}{Pe.a}$$

Donde:

c: Peso del cemento por m³ de mezcla

a: Peso del agua por m³ de mezcla

Pe. c: Peso específico del cemento

Pe. a: Peso específico del agua

Considerando que el peso específico del cemento y agua son 3150 kg/m³ y 1000 kg/m³ respectivamente, se tiene:

$$0.2539 = \frac{c}{3150} + \frac{0.35}{1000}$$

$$c = 380.427 \text{ kg}$$

Según la relación a/c de 0.35, despejamos y encontramos el valor de cantidad de agua de 133.15 litros.

Con fines de verificar los resultados obtenidos encontrando el volumen de pasta (Tabla 13), reemplazando los valores en la siguiente expresión:

$$VP = 1 - (\text{vol. De agregado} + \% \text{ vacíos} + \% \text{ aditivos})$$



Tabla 13

Volumen de pasta

Elementos	cantidades
vol. Agregado	0.540 m ³
vol. Vacíos	0.200 m ³
vol. Aditivos	0.006 m ³
Vol. total	0.746 m ³
VP	0.254 m ³

Comprobación del Volumen de Vacíos de diseño

vol. Cemento = 0.121 m³

vol. Agua = 0.133 m³

vol. A.G. = 0.486 m³

vol. A.F. = 0.054 m³

vol. Aditivo = 0.006 m³

suma = 0.800

vol. Vacío = 20% Ok, coincide con lo propuesto.

Al final del diseño se obtuvo las proporciones para un metro cúbico de concreto permeable (Tabla 14).

Tabla 14

Proporciones de diseño del concreto permeable

materiales	cantidad
cemento	380.43 kg
agua	133.15 kg
Agregado grueso	1152.96 kg
Agregado fino	126.54 kg
Superplastificante	1.52 l
Retardante de fragua	0.76 l

A continuación, se presenta el siguiente cuadro con el resumen de diseño de mezcla para cantidades de A.F. de 0%, 10% y 20%.

Tabla 15*Resumen de Diseño de mezcla de concreto permeable*

COMPONENTE	0% AF	10% AF	20% AF
cemento (kg)	328.22	380.43	450.03
agua (litros)	114.88	133.15	127.51
A.G.	13363.72	1152.96	936.70
A.F.	0.00	126.54	231.31
Superplastificante (litros)	1.31	1.52	1.80
Retardante de frag (litros)	0.66	0.76	0.90

4.1.3 Permeabilidad del Concreto

Para determinar la permeabilidad del concreto se ha tenido que elaborar probetas cilíndricas de diámetro de 15 cm (6") con una longitud de 30 cm.

Para la determinación de la permeabilidad en el concreto permeable se siguió las recomendaciones de la norma ACI 522R-10, que indica que se debe de seguir los procedimientos con un permeámetro de flujo variado.

De un análisis teórico surge que el valor del coeficiente de permeabilidad del concreto es proporcional a la viscosidad cinemática del agua, expresado mediante la relación.

$$v = \frac{n}{\rho} = \frac{n \cdot g \text{ m}^2}{\gamma_w \text{ seg}}$$

Donde:

v : Representa la viscosidad cinemática del agua.

n : la viscosidad del agua.

g : la aceleración de la gravedad.

γ_w : el peso específico del agua.

El valor del coeficiente de permeabilidad obtenido mediante ensayos, y que depende de la temperatura del agua a la que fueron realizados (Tabla 16), y que normalmente se suele referir a una temperatura $T = 20^{\circ}\text{C}$, para los cuales se tiene:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{v_2}{v_1}, \quad k_t = k_{20} \frac{v_{20}}{v_t}$$

Dónde: el subíndice t hace referencia a los resultados de la prueba.

Tabla 16

Propiedades del agua

PROPIEDADES DEL FLUIDO						
TABLA: Propiedades del agua						
temperatura T (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad μ (N * s /m ²)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)	Tensión Superficial σ (N/m)	Presión de vapor P_v (K Pa)	Módulo de masa B (Pa)
0	999.9	1.792×10^{-3}	1.792×10^{-6}	0.0762	0.61	204×10^7
5	1000.0	1.519	1.519	0.0754	0.872	206
10	999.7	1.308	1.308	0.0748	1.13	211
15	999.1	1.140	1.141	0.0741	1.60	214
20	998.2	1.005	1.007	0.0736	2.34	220
30	995.7	0.801	0.804	0.0718	4.24	223
40	992.2	0.656	0.661	0.0701	3.38	227
50	988.1	0.549	0.556	0.0682	12.3	230
60	983.2	0.469	0.477	0.0668	19.9	228
70	977.8	0.406	0.415	0.0650	31.2	225
80	971.8	0.357	0.367	0.0630	47.3	221
90	965.3	0.317	0.328	0.0612	70.1	216
100	958.4	0.284×10^{-3}	0.296×10^{-6}	0.0594	101.3	207×10^7

Nota: *Propiedades del fluido* (Turmero, 2015)

Luego de realizar los ensayos, la tabla 17 se presenta los valores obtenidos.

Tabla 17*Permeabilidad del concreto*

Diseño	L (cm)	Øe (cm)	Øa (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	t (s)	t (°C)	visc. Cinematica	K cm/s	K20 cm/s
M-1	30	15	15	120	10	292	14	1.14E-06	0.255	0.289
M-1	30	15	15	120	10	293	14	1.14E-06	0.254	0.288
M-1	30	15	15	120	10	289	14	1.14E-06	0.258	0.292
M-2	30	15	15	120	10	375	14	1.14E-06	0.199	0.225
M-2	30	15	15	120	10	372	14	1.14E-06	0.200	0.227
M-2	30	15	15	120	10	378	14	1.14E-06	0.197	0.223
M-3	30	15	15	120	10	512	14	1.14E-06	0.146	0.165
M-3	30	15	15	100	10	508	14	1.14E-06	0.136	0.154
M-3	30	15	15	120	10	515	14	1.14E-06	0.145	0.164

4.1.4 Prueba de Resistencia del Concreto 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/cm², MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi).

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión, se emplean fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada ($f'c$) para una estructura determinada.

Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de la elaboración de cilindros, se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras, permitiendo programar las operaciones de construcción, tales como remoción de formaletas (cimbras) o para evaluar la conveniencia de curado y protección suministrada a la estructura.



A continuación, se muestran los resultados de la prueba de resistencia del concreto permeable a la compresión (Tabla 18).

Tabla 18

Resistencia del concreto a la Compresión

N° Prueba	Código	Diámetro	Área cm ²	CARGA KN	Resistencia (kg/cm ²)	Fecha		Edad días
						Moldeo	Rotura	
1	M-1	30.0	174.366	160.8	94.0	16/01/2020	16/02/2020	31
2	M-1	29.9	176.715	164.9	95.1	16/01/2020	16/02/2020	31
3	M-1	29.9	179.079	155.7	88.6	16/01/2020	16/02/2020	31
4	M-2	30.0	176.715	200.9	115.9	16/01/2020	16/02/2020	31
5	M-2	30.1	176.715	202.6	116.9	16/01/2020	16/02/2020	31
6	M-2	30.0	174.366	193.9	113.4	16/01/2020	16/02/2020	31
7	M-3	30.0	179.079	259.7	147.8	16/01/2020	16/02/2020	31
8	M-3	30.0	176.715	262.8	151.6	16/01/2020	16/02/2020	31
9	M-3	30.0	176.715	255.7	147.5	16/01/2020	16/02/2020	31

4.1.5 Estudio hidrológico

4.1.5.1 Material de Información Pluviométrica

La información empleada para el presente estudio son los registros históricos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Los registros de precipitación máxima en 24 horas, presentan periodos carentes de información, por lo que se emplearon los registros disponibles como series continuas. Con excepción de la estación Puno.

En la Tabla 19, se presenta las características de las estaciones meteorológicas y el tamaño de la muestra.

Tabla 19

Estaciones meteorológicas en la Región Puno.

ESTACIÓN	TIPO	UBICACIÓN POLITICA			UBICACIÓN HIDROGRÁFICA	ESTE	NORTE	ALTITUD	PERIODO DE
		Dpto.	Provincia	distrito	Cuenca	[m]	[m]	[m.s.n.m.]	registro
Arapa	CO	Puno	Azángaro	Arapa	Río Ramis	379823	8326267	3892	1964 - 2012
Ayaviri	CO	Puno	Melgar	Ayaviri	Río Ayaviri	328602	8355116	3921	1965 - 2012
Cabanillas	CO	Puno	San Román	Cabanillas	Río Coata	355675	8270502	3877	1964 - 2012
Capachica	CO	Puno	Puno	Capachica	Titicaca	409496	8273379	3827	1965 - 2012
Capazo	CO	Puno	El Collao	Capazo	Río Callacame	421758	8099499	4470	1964 - 2012
Chuquibambilla	CP	Puno	Melgar	Chuquibambilla	Río Ramis	313519	8364727	3899	1970 - 2012
Desaguadero	CO	Puno	Chucuito	Desaguadero	Titicaca	495691	8168147	3813	1965 - 2012
Ilave	CO	Puno	El Collao	Ilave	Río Ilave	430990	8221164	3837	1965 - 2012
Juli	CO	Puno	Chucuito	Juli	Titicaca	450813	8208437	3814	1965 - 2012
Juliaca	CO	Puno	San Román	Juliaca	Río Coata	374843	8289717	3828	2001 - 2012
Lampa	CO	Puno	Lampa	Lampa	Río Coata	352861	8301728	3929	1964 - 2012
Laraqueri	CO	Puno	Puno	Laraqueri	Río Ilave	385938	8213627	3952	1965 - 2012
Llally	CO	Puno	Melgar	Llally	Río Ramis	297126	8347800	4211	1994 - 2012
Mañazo	CO	Puno	Puno	Mañazo	Río Ilpa	357163	8252704	3910	1994 - 2012
Mazocruz	CO	Puno	El Collao	Mazocruz	Río Ilave	424708	8149030	3963	1965 - 2012
Pampahuta	CO	Puno	Lampa	Paratia	Río Coata	320200	8287459	4292	1970 - 2012
Pizacoma	CO	Puno	Chucuito	Pizacoma	Río Ilave	460721	8130662	3913	1965 - 2012
Pucara	CO	Puno	Lampa	Pucara	Río Huancané	353035	8336523	3869	1965 - 2012
Puno	CP	Puno	Puno	Puno	Titicaca	390979	8250334	3831	1965 - 2012
Rincón de la Cruz	CO	Puno	Puno	Acora	Titicaca	413212	8231906	3875	2008 - 2012
Santa Lucía	CO	Puno	San Román	Santa Lucía	Río Coata	327577	8263529	4035	1966 - 2012
Tahuaco Yunguyo	CO	Puno	Yunguyo	Yunguyo	Titicaca	491988	8196981	3864	1965 - 2012
Taraco	CO	Puno	Huancané	Taraco	Titicaca	395292	8307846	3817	1965 - 2012

Leyenda: CO = Climatológica ordinaria. CP = Climatológica principal.

Nota: Díaz Aguilar (2013).

La estación meteorológica que se tomó como referencia para el presente proyecto es la de Puno. En la tabla 20, se muestran las precipitaciones acumuladas por año.

Tabla 20

Precipitaciones acumuladas Estación Puno.

AÑO	PREC. Acum. Año (mm)	AÑO	PREC. Acum. Año (mm)	AÑO	PREC. Acum. Año (mm)
1964	415.6	1981	788.6	1998	613.1
1965	488.4	1982	793.8	1999	1002.1
1966	441.2	1983	434.1	2000	740.6
1967	700.2	1984	1295.8	2001	1018.9
1968	630.3	1985	1072.5	2002	935.8
1969	503.8	1986	923.9	2003	709.4
1970	568.0	1987	630.7	2004	637.2
1971	652.6	1988	848.4	2005	673.1
1972	798.1	1989	684.7	2006	773.0
1973	797.3	1990	646.8	2007	814.3
1974	748.8	1991	596.8	2008	661.7
1975	943.8	1992	373.6	2009	748.5
1976	758	1993	759.2	2010	581.9
1977	742.4	1994	803.6	2011	771.6
1978	829.5	1995	527.5	2012	879.3
1979	527.3	1996	753.5	2013	41
1980	614.2	1997	909.1		

Nota: SENAHMI (2020)

Con fines de determinar la homogeneidad de los datos se ha realizado una estadística descriptiva de los datos, en la tabla 21, se muestra el resumen estadístico.

Tabla 21

Resumen Estadístico datos SENAHMI

Media	725.76735	coeficiente de asimetría	0.5120086
Error típico	25.81973	Rango	922.2
Mediana	742.4	Mínimo	373.6
Moda	#N/A	Máximo	1295.8
Desviación Estándar	180.73811	Suma	35562.6
Varianza de la muestra	32666.264	Cuenta	49
curtosis	1.0136692		

Nota: Elaboración propia.



En conclusión, se puede mencionar que las precipitaciones que se presentan anualmente no son homogéneas, pero con fines de cálculo se va a utilizar dicha información.

4.1.5.2 Estudios Hidrológicos

En el estudio hidrológico tiene por determinar el aporte de las aguas pluviales, para un adecuado diseño del drenaje bajo el criterio del periodo de retorno, coeficiente de escorrentía y área tributaria. El estudio hidrológico consiste en la estimación de las descargas de diseño a partir de la información pluviométrica disponible cercana a la ubicación de la investigación, que en este caso es la estación meteorológica de Puno, cuyas coordenadas de ubicación UTM son; E 390979, N 8250334, y altitud 3831.

En general, puede ser empleado cualquier modelo de lluvias-escorrentía. El RNE, (2020), especifica el uso del Método Racional si el área de la cuenca es igual o menor a 13 km².

4.1.5.3 Análisis de la Precipitación Máxima

El concreto permeable no se diseña con el valor de precipitación antecedente más alto existente en 24 horas (Tabla 22), sino que se selecciona un evento de importante magnitud que se repite cada cierto periodo de tiempo, a este se le llama periodo de retorno. Con este se garantiza que el sistema se vea excedido en su capacidad pocas veces durante su vida útil. Al periodo de retorno se le suma la intensidad de la lluvia y la duración, aspectos que complementan y permiten hacer la mejor selección de la precipitación de diseño, para dimensionar el volumen de almacenamiento (Interpave, 2008).

Tabla 22*Precipitación Máxima en 24 horas estación Puno.*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MAX.
2000	167.10	210.00	105.10	40.30	0.40	2.30	4.20	17.90	14.60	95.80	13.90	69.00	210.00
2001	250.80	214.60	224.10	69.80	12.20	2.20	0.00	12.50	27.10	68.40	56.20	81.00	250.80
2002	129.60	180.00	170.60	105.30	15.40	21.10	22.70	30.60	11.60	65.90	43.80	139.20	180.00
2003	174.50	114.40	114.40	46.10	36.70	4.80	0.20	9.60	42.90	25.40	8.60	131.80	174.50
2004	208.90	125.20	115.50	29.20	6.20	0.00	10.20	43.00	34.30	5.60	0.00	59.10	208.90
2005	103.30	157.90	134.60	45.70	0.40	0.00	0.00	0.00	11.80	39.50	80.50	97.40	157.90
2006	291.10	62.30	159.60	44.60	0.90	0.00	0.00	0.60	21.20	37.40	53.80	101.50	291.10
2007	84.80	171.00	236.70	49.70	10.60	0.00	3.30	1.60	61.30	77.00	44.20	74.10	236.70
2008	209.70	85.80	95.40	8.40	6.80	1.40	0.20	0.80	2.40	79.40	27.20	144.20	209.70
2009	154.00	136.10	148.30	83.00	0.40	0.00	2.50	0.00	16.40	56.40	88.90	62.50	154.00
2010	99.30	192.80	56.30	12.30	16.10	0.00	0.00	7.10	2.90	33.40	15.00	146.70	192.80
2011	122.70	202.90	116.50	46.80	4.80	0.00	6.40	0.20	45.80	25.70	48.50	151.30	202.90
2012	135.40	294.80	209.90	60.10	0.00	0.20	0.00	5.60	9.80	7.60	69.50	155.90	294.80
2013	153.00	175.80	100.00	14.30	22.40	12.50	1.50	4.50	11.60	32.90	61.40	117.10	175.80
2014	145.00	107.70	60.50	40.90	0.10	0.00	0.20	28.90	66.90	45.20	29.80	90.60	145.00
2015	96.40	121.00	187.00	114.10	0.20	0.00	1.80	4.00	54.50	41.50	23.20	59.40	187.00
2016	79.70	202.60	9.80	57.50	0.50	2.00	3.40	0.00	0.30	76.00	43.00	49.70	202.60
2017	314.30	119.20	145.70	45.50	21.70	1.00	1.60	0.00	62.30	65.20	23.90	68.50	314.30
2018	171.10	152.10	114.10	33.20	7.80	12.90	32.10	0.00	3.60	45.50	22.70	89.80	171.10
2019	152.00	78.70	43.70	58.60	19.00	2.20	7.60	0.00	12.60	39.90	92.50	81.50	152.00

Nota: SENHAMI.

4.1.5.4 Análisis Hidrológico

a. Intensidad

Se define que es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo. Lo que interesa particularmente de cada tormenta, es la intensidad máxima que se haya presentado, ella es la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo (Villón, 2002).

Este valor es obtenido a través de un estudio hidrológico de la zona, del cual se obtienen las curvas de intensidad, duración y frecuencia. Es importante recordar que, de acuerdo con estas curvas, la intensidad es inversamente proporcional a la duración y directamente proporcional a la frecuencia de la lluvia.

La intensidad está representada por la siguiente ecuación;

$$I = \frac{P}{T}$$

Dónde:

I = Intensidad en mm/hora.



P = Precipitación en altura de agua, en mm.

T = Tiempo en horas.

b. Frecuencia

Se define que 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, tomando generalmente en años (Villón, 2002).

Una de las expresiones más sencillas y prácticas es la que se muestra en la ecuación 3.2, que corresponde a la ecuación.

$$F = \frac{m}{N}$$

Dónde:

F = Frecuencia.

m = El orden que ocupa el evento en orden decreciente.

N = Número de eventos componentes.

c. Periodo de Retorno

El periodo de retorno es intervalo de tiempo promedio, dentro del cual un evento de magnitud x , puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio (Villón, 2002).

Está expresado matemáticamente como la inversa de la frecuencia, como se muestra en la ecuación.

$$T = \frac{P}{I}$$

Dónde:



T = Tiempo en horas.

I = Intensidad en mm/hora.

P = Precipitación en altura de agua, en mm.

d. Probabilidad

Está dado por la siguiente ecuación;

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Dónde:

P = Probabilidad.

T = Periodo de retorno.

n = Periodo de tiempo de análisis.

4.1.5.5 Cálculos del Periodo de Retorno

La precipitación anual promedio es del orden de 725.77 mm, según la estación meteorológica de Puno.

En el Tabla 23, tenemos un extracto de los datos de precipitaciones extremas en la estación meteorológica.

Tabla 23*Años de precipitaciones extremas, estación Puno.*

Año de excedencias	1997	1999	2001	2002	2012
Precipitación anual (mm)	909.1	1002.1	1018.9	935.8	879.3
Intervalo de recurrencia (años)		2	2	1	10

Nota: SENAMHI

El periodo de retorno se ha calculado utilizando la fórmula de Weibull;

$$P = \frac{(n + 1)}{m}$$

Dónde:

P = Periodo de retorno

n = Número de años de observación (20 años que van desde el periodo 1993 a 2012.)

m = Numero de orden, 3

Consideramos 20 años como años de vida útil de la vía pavimentada. Por lo tanto, el cálculo del periodo de retorno se da con los datos:

$$P = \frac{20 + 1}{3} = 5.25$$

4.1.5.6 Consideraciones del Caudal de Diseño

La normativa peruana OS-60 DRENAJE PLUVIAL URBANO, señala lo siguiente:

Consideraciones hidráulicas en sistemas de drenaje urbanismo menor captación de aguas se pluviales en zonas urbanas.

- a) Los caudales para sistemas de drenaje urbano menor deberán ser calculados:
 - Por el Método Racional si el área de la cuenca es igual o menor a 13 Km².



- Por el Método de Hidrograma Unitario o Modelos de Simulación para área de cuencas mayores de 13 Km².

b) El período de retorno deberá considerarse de 2 a 10 años.

Para el proyecto se ha considerado un periodo de retorno de 10 años, según los cálculos efectuados y las recomendaciones de las normas.

4.1.6.7 Probabilidad del Periodo de Retorno

Es sistema de red de alcantarillado fluvial se ha diseñado para un tiempo de vida útil de 20 años, la siguiente ecuación nos sirve para calcular la Probabilidad del Periodo de Retorno:

$$Prob = 1 - \left(1 - \frac{1}{P}\right)^n$$

Dónde:

Prob. = Probabilidad %

P = Periodo de retorno que es 10 años.

n = Periodo de vida útil del sistema de drenaje, 20 años.

$$Prob = 1 - \left(1 - \frac{1}{10}\right)^{20}$$

$$Prob = 88 \%$$

Se puede mencionar que existe una probabilidad del 88% que una ocurrencia de lluvia extrema se presente durante los 20 años de vida útil del sistema de drenaje.

4.1.6.8 Cálculos del Tiempo de Concentración

Existen varias fórmulas de determinar el tiempo de concentración, ya sea haciendo uso de las características hidráulicas de la cuenca, estimando velocidades, o haciendo uso de fórmulas empíricas. Una de las fórmulas usadas es de Kirpich:



$$T_c = \left(0.871 \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Dónde:

T_c = Tiempo de concentración, en horas.

L = Longitud del curso de agua más largo, en Km.

H = Desnivel máximo del curso de agua más largo, en m.

De los cálculos hechos en nuestra microcuenca se tiene: $L = 0.01$ Km y $H = 0.02$ m.

Reemplazando datos en la ecuación, se obtuvo lo siguiente:

$$T_c = \left(0.871 \frac{0.01^3}{0.02} \right)^{0.385}$$

$$T_c = 0.385 \text{ h}$$

Convirtiendo a minutos se tiene 23 min.

4.1.6.9 Cálculos de Intensidad de Lluvia

La determinación del evento de lluvia que debe emplearse es un paso importante en el diseño del alcantarillado fluvial, para lo cual se ha utilizado un evento extraordinario que involucre una relación entre la intensidad de lluvia, la duración y las frecuencias, y periodos de retorno apropiados para el lugar de investigación mediante el trazo de curvas IDF, en la que fácilmente se puede obtener el dato de intensidad para cualquier periodo de tiempo requerido.

4.1.6.10 El modelo General de Frederick Bell

El Modelo General de Frederick Bell (1969), permite calcular la lluvia máxima asociada a un periodo de retorno y una duración de tormenta, usando como valor el índice de la lluvia de una hora de duración y 10 años de periodo de retorno, la expresión es la siguiente:



$$P_t^T = (0.21 \cdot \ln T + 0.52) \cdot (0.54t^{0.25} - 0.50) \cdot P_{60}^{10}$$

Dónde:

P_t^T = Precipitación caída en t minutos con periodo de retorno de T años.

T = Periodo de retorno en años.

t = Duración en minutos.

P_{60}^{10} = Precipitación de 60 minutos de duración con periodo de retorno de 10 años.

La ecuación es válida para duraciones de lluvia (t) comprendidas entre 5 y 120 minutos de duración y con periodos de retorno comprendidos entre 2 y 100 años.

El investigador chileno Espíldora, obtuvo que la relación entre la lluvia máxima diaria y la lluvia de una hora para un periodo de retorno de 10 años es más o menos constante e igual a 4.04.

4.1.6.11 Precipitación Máxima Horaria

La precipitación Máxima horaria se ha obtenido de la base de datos del SENAHMI Puno de manera virtual desde los años 1963 hasta el 2013 (tabla 24), proveniente de la estación meteorológica Puno – Puno, a continuación, presentamos los 20 últimos datos.

Tabla 24*Registro de precipitación Máxima de la estación*

Año	Prec. Acum. Año (mm)	Año	Prec. Acum. Año (mm)	Año	Prec. Acum. Año (mm)
1964	415.6	1981	788.6	1998	613.1
1965	488.4	1982	793.8	1999	1002.1
1966	441.2	1983	434.1	2000	740.6
1967	700.2	1984	1295.8	2001	1018.9
1968	630.3	1985	1072.5	2002	935.8
1969	503.8	1986	923.9	2003	709.4
1970	568.0	1987	630.7	2004	637.2
1971	652.6	1988	848.4	2005	673.1
1972	798.1	1989	684.7	2006	773.0
1973	797.3	1990	646.8	2007	814.3
1974	748.8	1991	596.8	2008	661.7
1975	943.8	1992	373.6	2009	748.5
1976	758	1993	759.2	2010	581.9
1977	742.4	1994	803.6	2011	771.6
1978	829.5	1995	527.5	2012	879.3
1979	527.3	1996	753.5	2013	41
1980	614.2	1997	909.1		

Nota: (SENAHMI, 2020)**Tabla 25***Resumen Estadístico*

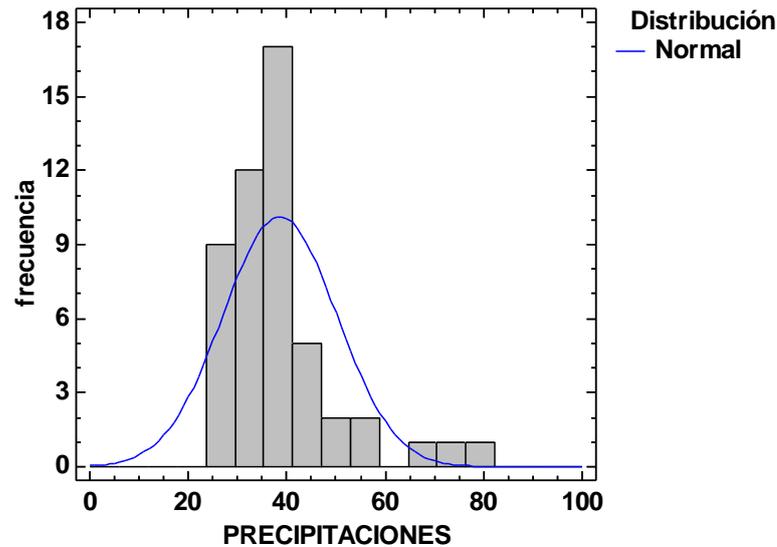
<i>Resumen Estadístico</i>			
Media	38.292	coeficiente de asimetría	1.632
Error típico	1.671	Rango	54.600
Mediana	36.100	Mínimo	23.600
Moda	29.900	Máximo	78.200
Desviación Estándar	11.699	Suma	1876.300
Varianza de la muestra	136.861	Cuenta	49.000
curtosis	3.061		

4.1.6.12 Prueba de Homogeneidad de la Estación Puno

La aplicación de las pruebas de homogeneidad para la estación Puno, se obtiene los siguientes resultados que se presentan a continuación:

Figura 14

Histograma de precipitaciones



- Prueba Estadística de Shapiro – Wilk

Pruebas de normalidad para precipitaciones

Tabla 26

Prueba estadística de shapiro-Wilk

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.867216	0.00000824862

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si las precipitaciones pueden modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el *valor-P* más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que precipitaciones proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Tabla 27
Resumen Estadístico

Parámetro estadístico	Valor obtenido
Recuento	50
Promedio	38.554
Desviación Estándar	11.5988
Coefficiente de Variación	30.0847%
Mínimo	23.6
Máximo	78.2
Rango	54.6
Sesgo Estandarizado	4.54074
Curtosis Estandarizada	4.29981

4.1.6.13 Modelos de Distribución

El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos. En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar la distribución de Gumbel.

4.1.6.14 Distribución de Gumbel

Según (Pizarro, Flores, Sanguesa, & Martínez, 2014) La distribución de Valores Tipo 1 conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:



$$F(x) = E^{-e^{-y}}, -\infty \leq x \leq \infty$$

Resolviendo para y (variable reducida), se tiene la siguiente expresión;

$$y = -\text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{F(x)} \right) \right]$$

Sabiendo que

$$1/T = P(x > xT)$$

$$1/T = 1 - P(x < xT)$$

$$1/T = 1 - F(x)$$

Luego se tiene;

$$F(x) = \frac{T-1}{T}$$

Expresando la variable reducida en función del periodo de retorno T , tenemos:

$$y = -\text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]$$

Adopta la siguiente forma general:

$$X_T = v + \beta \cdot Y_T$$

Dónde:

$\beta = 0.78 D_s$, D_s es la desviación Estándar.

$v = X - 0.5772 * \beta$, X = media Aritmética.

$Y_T = -\text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]$; T = Periodo de retorno.

4.1.6.15 Cálculo de intensidad de lluvia

El cálculo de la intensidad de lluvias (tabla 28), se hizo el análisis solamente con 20 años, correspondientes a los años entre 1993 al año 2013, tomando los datos solo de la Estación de Puno - Puno.

Tabla 28*Cálculo de la Intensidad de lluvia*

AÑO	P. max	F	T	\bar{X}	$(X-\bar{X})^2$
2011	28.2	0.05	20.00	39.29	122.988
1995	29	0.10	10.00	39.29	105.884
1994	29.9	0.15	6.67	39.29	88.172
2005	30.1	0.20	5.00	39.29	84.456
2004	30.4	0.25	4.00	39.29	79.032
2000	31.6	0.30	3.33	39.29	59.136
1997	32.4	0.35	2.86	39.29	47.472
2012	34	0.40	2.50	39.29	27.984
2003	35.6	0.45	2.22	39.29	13.616
2002	36.1	0.50	2.00	39.29	10.176
1996	36.9	0.55	1.82	39.29	5.712
1999	38.2	0.60	1.67	39.29	1.188
2008	38.5	0.65	1.54	39.29	0.624
2001	39.4	0.70	1.43	39.29	0.012
2009	40.2	0.75	1.33	39.29	0.828
2006	40.9	0.80	1.25	39.29	2.592
1998	42.9	0.85	1.18	39.29	13.032
1993	46.1	0.90	1.11	39.29	46.376
2007	67.2	0.95	1.05	39.29	778.968
2010	78.2	1.00	1.00	39.29	1513.988
Sumatoria	785.8			Sumatoria	3002.238
Promedio	39.29				

Cálculo de la Desviación Estándar,

$$Ds = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{N}}$$

$$Ds = \sqrt{\frac{3002.238}{20}}$$

$$Ds = 12.252$$

A continuación, aplicamos la ley de Gumbel (tabla 29) para un periodo de retorno de 2, 5, 10, 15 y 20 años.

Tabla 29*Aplicación de la Ley de Gumbel*

T (Años)	β	u	Y_T	X_T
	$0.78 * D_s$	$X - 0.5772 * \beta$	$-\text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]$	$u + \beta * Y_T$
2	9.55657261	33.77394629	0.36651292	37.2765536
5	9.55657261	33.77394629	1.49993999	48.1082317
10	9.55657261	33.77394629	2.25036733	55.279745
15	9.55657261	33.77394629	2.67375209	59.3258523
20	9.55657261	33.77394629	2.97019525	62.1588328

De la tabla 29, extraemos la precipitación máxima para un periodo de retorno de 10 años y cuyo dato corresponde a 55.28 mm, y de la relación propuesta por Espíldora (factor de 4.04) obtenemos la precipitación de una hora para dicho periodo de retorno, como se muestra a continuación:

$$P_{60}^{10} = \frac{55.28}{4.04}$$

$$P_{60}^{10} = 13.68 \text{ mm}$$

Por la que la precipitación de 60 minutos de duración y 10 años de periodo de retorno es 13.68 mm.

Aplicando la ecuación de Frederich Bell, se desarrolla el siguiente cuadro, donde se muestra las lluvias Máximas en mm (tabla 30) para la estación de Puno - Puno.

Ecuación de Frederich Bell;

$$P_t^T = (0.21 \cdot \text{Ln}T + 0.52) \cdot (0.54t^{0.25} - 0.50) \cdot P_{60}^{10}$$

Tabla 30*Lluvias Máximas en (mm) para la estación Puno – Puno*

T (Años)	Duración t (minutos)					
	5	10	15	20	30	40
2	2.800	4.192	5.125	5.846	6.956	7.814
5	3.610	5.404	6.606	7.537	8.967	10.073
10	4.222	6.320	7.727	8.815	10.488	11.782
15	4.581	6.857	8.383	9.563	11.378	12.782
20	4.835	7.237	8.848	10.094	12.009	13.491

4.1.6.16 Intensidades Máximas

Para el cálculo de las curvas IDF es necesario hallar, además de todo lo anterior, las intensidades máximas en (mm/hora) para la estación de Puno – Puno (tabla 31).

Tabla 31*Intensidades máximas en mm/hora estación Puno – Puno*

T (Años)	Duración t (minutos)					
	5	10	15	20	30	40
2	33.603	25.150	20.498	17.539	13.912	11.721
5	43.318	32.421	26.425	22.610	17.934	15.110
10	50.668	37.921	30.908	26.445	20.976	17.673
15	54.967	41.139	33.530	28.689	22.756	19.173
20	58.017	43.422	35.391	30.281	24.019	20.237

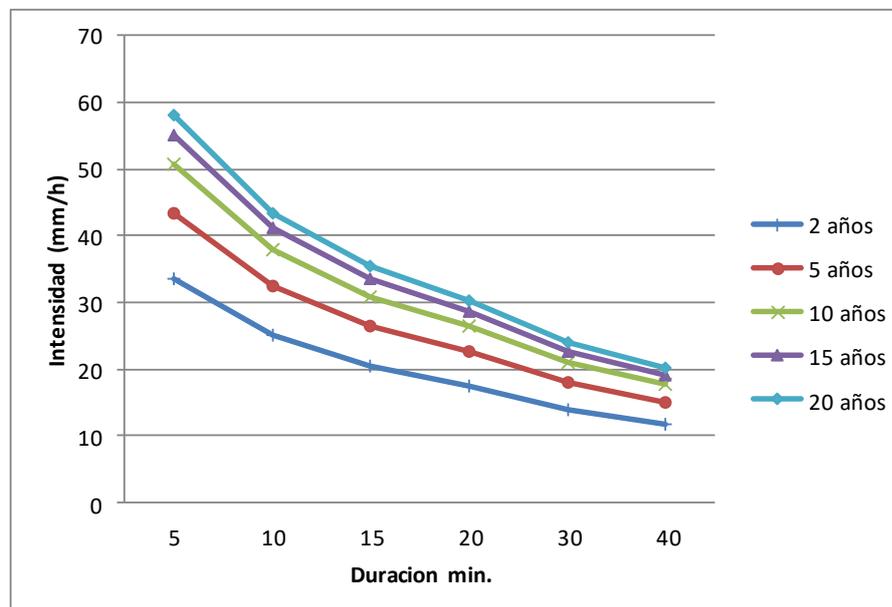
Para la investigación se tiene un tiempo de concentración de 23 min, y un tiempo de retorno de 10 años, por lo que se utilizara una intensidad de 26.445.

4.1.6.17 Curva IDF

La curva IDF (tabla 15), se crea a partir de los datos de intensidades máximas. Las curvas IDF la utilizamos para hallar la intensidad máxima de lluvia para un periodo de duración igual al tiempo de concentración, y para la frecuencia de diseño (mm/h), la misma que nos servirá para los cálculos de los caudales mediante el método racional.

Figura 15

Curva de intensidad – duración - frecuencia (IDF)



4.1.7 Determinación del caudal

Según (RNE, reglamento Nacional de Edificaciones, 2012), Los caudales de escurrimiento serán calculados por lo menos según;

- El método racional, aplicable hasta áreas de drenaje no mayores a 13 km².
- Técnicas de hidrogramas unitarios podrán ser empleados para áreas mayores a 0.5 km², y definitivamente para áreas mayores a 13 km².

Visto que nuestra área de investigación es menor de 13 km² se ha utilizado el método racional para la determinación de los caudales de escurrimiento.

4.1.7.1 Método Racional

El RNE (2012), establece para áreas urbanas, donde el área de drenaje está compuesta de subáreas o subcuencas de diferentes características, el caudal pico proporcionado por el método racional (Tabla 32), viene expresado por la siguiente forma:

Tabla 32

Fórmula para el cálculo del caudal de escorrentía

Caudal	Características
$Q = \frac{CiA}{3600}$	Q = Caudal en litros por segundo C = Coeficiente de escorrentía (adimensional) i = Cantidad de lluvia en milímetros por hora. A = Superficie en metros cuadrados
$Q = 0.278 \cdot CiA$	Q = Caudal en metros cúbicos por segundo C = Coeficiente de escorrentía (adimensional) i = Cantidad de lluvia en milímetros por hora. A = Superficie en kilómetros cuadrados
$Q = 16.667 \cdot CiA$	C = Coeficiente de escorrentía (adimensional) i = Cantidad de lluvia en milímetros por minuto. A = Superficie en metros cuadrados
$Q = \frac{16.667}{1000} \cdot CiA$	Q = Caudal en litros por segundo C = Coeficiente de escorrentía (adimensional) i = Cantidad de lluvia en milímetros por minuto. A = Superficie en metros cuadrados

Nota: (Cabrera, Castro, & Menez, 2011)

Para nuestra investigación se ha utilizado la fórmula propuesta por el RNE (2012):

$$Q = \frac{CiA}{360}$$

Dónde:

Q = Caudal máximo de escorrentía (m^3/seg)

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional)

A = Área de la cuenca (ha.)

i = Intensidad de lluvia máxima para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, y para un tiempo de retorno T igual al exija la obra de alcantarillado. (mm/h)

4.1.7.2 Coeficiente de Escorrentía.

El (RNE, reglamento Nacional de Edificaciones, 2012), establece tablas que se pueden utilizar para la determinación de los coeficientes de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía (tabla 33), para el caso de áreas de drenaje con condiciones heterogéneas será estimado como un promedio ponderado de los diferentes coeficientes correspondientes a cada tipo de cubierta (techos, pavimentos, áreas verdes, etc.), donde el factor de ponderación es la fracción del área de cada tipo al área total.

Tabla 33

Coeficiente de Escorrentía para el Método Racional.

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE		PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
		2	5	10	25	50	100	500
ÁREAS URBANAS	asfalto							
Concreto / techos								
	asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
	Concreto / techos	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)								
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50%, del área)								
	plano 0 - 2%	0.32	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.58
	Promedio 2 - 7%	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
	pendiente Superior a 7%	0.4	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto menor del 50% al 75% del area)								



plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
pendiente Superior a 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
plano 0 - 2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio 2 - 7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
pendiente Superior a 7%	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.51	0.58
ÁREAS NO DESARROLLADAS							
Área de Cultivos							
plano 0 - 2%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.57
Promedio 2 - 7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.6
pendiente Superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
pastizales							
plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
pendiente Superior a 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
Bosques							
plano 0 - 2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio 2 - 7%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.56
pendiente Superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Nota: (RNE, reglamento Nacional de Edificaciones, 2012).

Para la determinación del coeficiente se ha determinado por las áreas tributarias de las viviendas, las calles y avenidas.

En la tabla 34, se presenta el resumen del cálculo de caudales de agua pluviales.

Tabla 34

Resumen de caudales pluviales

Características de la superficie	Factor T = 10 años	Area m ²	Área has	Área %	intensidad (mm/h)	Caudal m ³ /s
Concreto / techos	0.83	7148.8	0.71	38	26.445	0.043
Asfaltados	0.81	2632	0.26	14	26.445	0.015
pastizales	0.38	8845.2	0.88	48	26.445	0.025

Para la investigación se considera que los caudales fuera de la zona urbana son transportados por los riachuelos, ríos y al subsuelo por infiltración, por lo que se considerara para el diseño $0.083 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.1.8 Diseño de cuneta

4.1.8.1 Dimensiones Mínimas

Las dimensiones serán fijadas de acuerdo a las condiciones pluviales.

De elegir la sección triangular, las dimensiones mínimas serán las indicadas en la tabla 35.

Tabla 35

Dimensiones mínimas

Región	Profundidad (D) (M)	Ancho (A) (M)
Seca (<400 mm/año)	0.2	0.5
Lluviosa (De 400 a < 1600 mm/año)	0.3	0.75
Muy lluviosa (De 1600 a < 3000 mm/año)	0.4	1.2
Muy Lluviosa (> 3000 mm/año)	0.3	1.2

Sección Trapezoidal con un ancho mínimo de fondo de 0.30.

Nota: Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo volumen de Transito MTC.

a) Capacidad de las Cunetas

Se rigen por dos límites:

- Caudal que transita con la cuneta llena.
- Caudal que produce la velocidad máxima admisible.

Para el diseño hidráulico de las cunetas utilizaremos el principio del flujo en canales abiertos, usando la ecuación de Manning:

$$Q = A * V = \frac{(A * R_k^{2/3} * S^{1/2})}{n}$$

Las cunetas han sido dimensionadas utilizando la fórmula de Manning, con un coeficiente de rugosidad para concreto de 0.013.

La sección típica de la cuneta urbana es de forma triangular rectangular (figura 16 y 17).

Figura 16

Cuneta urbana de forma rectangular.

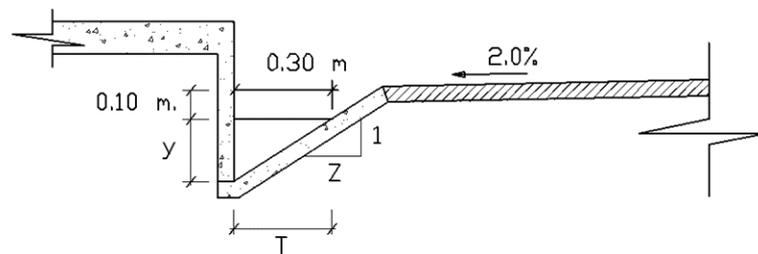
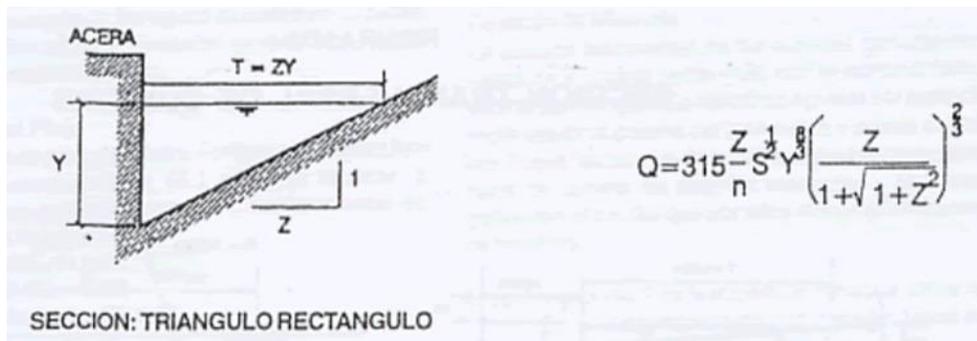


Figura 17

Sección triángulo rectángulo



Nota: (RNE, Reglamento nacional de Edificaciones, 2020).

$$A = \frac{TY}{2}$$

$$P = Y + Y\sqrt{1 + Z^2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$



$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = V \cdot A$$

Donde:

A = área de la sección hidráulica del canal (m^2)

P = perímetro mojado (m)

T = espejo de agua (m)

Y = tirante hidráulica (m)

Z = talud del canal

R = radio hidráulico (m)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

V = Velocidad de fluido (m/s)

Q = Caudal (m^3/s)

Para determinar el coeficiente de rugosidad se ha utilizado los valores propuesto en la norma de OS.060 del RNE (tabla 36).

Tabla 36*Coefficiente de rugosidad de Cunetas de las calles*

Cunetas de las Calles	Coefficiente de Rugosidad (<i>n</i>)
a. Cunetas de concreto con acabado paletado	0.012
b. Pavimento Asfáltico	
1) Textura lisa	0.013
2) Textura Rugosa	0.016
c. Cuneta de concreto con Pavimento Asfáltico	
1) Liso	0.013
2) Rugoso	0.015
d. Pavimento de Concreto	
1) Acabado con llano de Madera	0.014
2) Acabado escobillado	0.016
e. Ladrillo	0.016
f. para cunetas con pendiente pequeña donde el sedimento puede acumularse, se incrementan los valores arriba indicados de <i>n</i> , en:	0.002

Nota: (RNE, Reglamento nacional de Edificaciones, 2020)

Reemplazando valores de en las fórmulas se tienen las siguientes dimensiones de la cuneta (tabla 37).

Tabla 37*Dimensiones de la cuneta*

y	T	n	S	Z	A (m²)	P (m)	R (m)	V (m/s)	Q (m³/s)
0.25	0.3	0.013	0.04	1.2	0.038	0.641	0.059	2.32	0.087

Nota: Elaboración propia

Las recomendaciones del RNE (2020), de las dimensiones mínimas de las cunetas son las que se presentan en la tabla 38.

Tabla 38*Dimensiones mínimas de las cunetas*

Región	Profundidad (d) mts.	Ancho (a) mts.
Seca (<400mm/año)	0.20	0.50
Lluviosa (De 400 a <1600mm/año)	0.30	0.75
Muy lluviosa (De 1600 a <3000mm/año)	0.40	1.20
Muy lluviosa (>3000mm/año)	0.30*	1.20

* Sección Trapezoidal con un ancho mínimo de fondo de 0.30m.

Nota: RNE (2020)

De ella se puede indagar que los ángulos de inclinación de la cuneta están desde 22° a 14° desde zona seca a zonas muy lluviosas. Esta inclinación no tal pronunciada es con el fin de impedir accidentes de tránsito de vehículo menores si por algún motivo ingresaran a la cuneta.

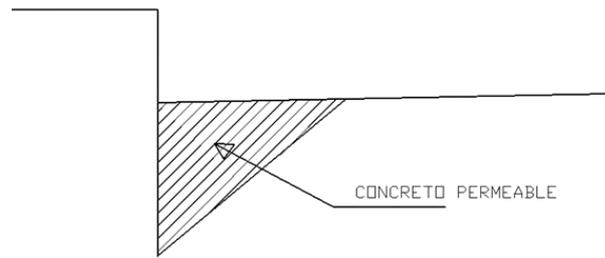
Del diseño de la cuneta en la Universidad Nacional del Altiplano, esta cuenta con una sección única de 30 cm, presentando una inclinación de 40°, casi el doble de las recomendadas por el RNE, por lo que se hace un problema de diseño y ocasionar en el futuro accidentes de tránsito.

4.1.9 Diseño de Cuneta con Concreto Permeable.

En la presente investigación se ha diseñado una cuneta rellena de concreto permeable con un acabado al ras de la vía, tal como se muestra en el gráfico.

Figura 18

Relleno de concreto permeable en la cuneta



Para las dimensiones se ha utilizado las fórmulas de la ley de Darcy.

$$Q = K \cdot i \cdot A$$

$$V = K \cdot i$$

Dónde:

Q = caudal de gasto cm^3/s

K = coeficiente de permeabilidad (cm/s)

i = gradiente hidráulica (adimensional)

A = área de la sección transversal del filtro (cm^2)

Despejando área y reemplazando valores en la primera fórmula se tiene:

$$A = \frac{Q}{K \cdot i}$$

$$Q = 0.083 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$i = 0.04 \text{ m}/\text{m}$$

$$K = 0.29 \text{ cm}/\text{s}$$

El área de la sección del canal con concreto permeable es:

$$A = \frac{0.083 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0029 \text{ m}/\text{s} \cdot 0.04 \text{ m}/\text{m}}$$

$$A = 715.52 \text{ m}^2$$



Como la sección es perpendicular a la dirección de fluido se necesitaría un canal rectangular de: 26.7 m x 26.7 m.

Las dimensiones del canal son demasiado grandes, debido a que está diseñado con el caudal total de la micro cuenca, y además por las características de la velocidad del agua al pasar por los poros del concreto permeable y por la pendiente que presenta la topografía. Si bien es cierto esto inicia con una sección mínima al inicio de la microcuenca, esta aumenta a una sección máxima, como una antena de radio.

4.1.10 Diseño de Cuneta Mixta

La cuneta mixta es la mezcla de una alcantarilla cubierta con concreto permeable, y su comportamiento hidráulico es en dos fases, la que presenta el concreto permeable y la que presenta la alcantarilla.

La alcantarilla es de tubería de PVC con agujeros en todo el perímetro de la tubería, con la finalidad de que el agua ingrese a ella. Dicha alcantarilla será colocada en una zanja cubierto con concreto permeable.

Para determinar las dimensiones de la zanga se calculará el caudal que será evacuado.

Solo se evacuará agua del pavimento de un solo lado, tomándose una sección de 1 m de ancho por 36 m de largo (pavimento y el techo de la piscina de la UNAP).

El caudal a evacuar será de:

$$Q = \frac{K \cdot i \cdot A}{360}$$
$$Q = \frac{26.445 \cdot 0.83 \cdot 0.0036}{360}$$
$$Q = 0.0002195 \text{ m}^3/\text{s}$$

Determinamos el área del concreto permeable:

$$A = \frac{Q}{K \cdot i}$$

$$A = \frac{0.0002195 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0029 \text{ m}/\text{s} \cdot 1}$$

$$A = 0.0756 \text{ m}^2$$

Como se tiene un ancho de 1m, se obtiene una profundidad de 0.0756 m por lo que se redondeara a 0.10 m de profundidad del concreto permeable.

4.1.10.1 Dimensionamiento del Alcantarillado

Para el dimensionamiento del alcantarillado se tomará un caudal total del tramo 01, que tiene un área tributaria de 9433.8 m², y que tiene un caudal total de:

$$Q = \frac{K \cdot i \cdot A}{360}$$

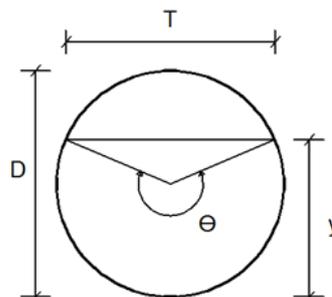
$$Q = \frac{26.445 \cdot 0.83 \cdot 0.94338}{360}$$

$$Q = 0.0575 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para al alcantarillado se trabajará con la fórmula de Manning, con un coeficiente de rugosidad de 0.010, y con las siguientes formulas:

Figura 19

Elementos de diseño de tubería, formula de Manning



De la figura se deducen las siguientes relaciones:

$$A = \frac{1}{8} \cdot (\theta - \text{sen } \theta) \cdot D^2$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \theta \cdot D$$

$$y = \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{\theta - \text{sen } \theta}{\text{sen } \frac{1}{2} \theta} \right) \cdot D$$

$$T = 2\sqrt{y \cdot (D - y)}$$

Donde θ esta en radianes.

Remplazando valores en la formulas se tiene los siguientes datos (tabla 39):

Tabla 39

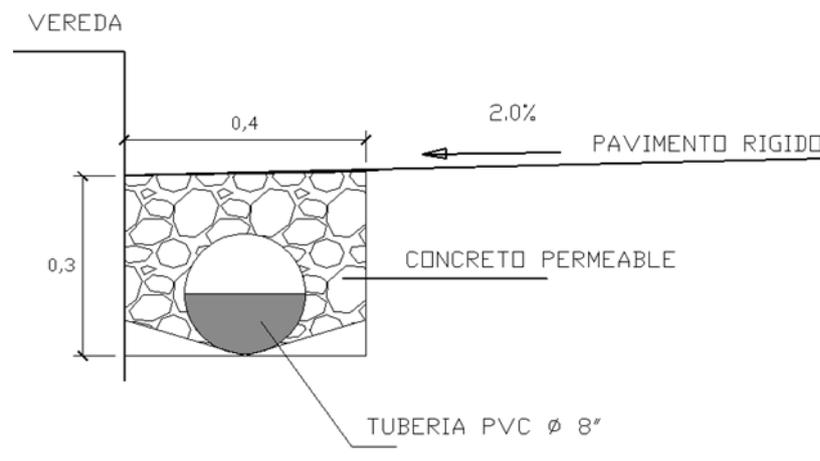
Dimensiones del alcantarillado

D (m)	Ang°	ang rad	Y (m)	A (m ²)	P (m)	S (m/m)	n	R (m)	V (m/s)	Q (m ³ /s)
0.200	205	3.5779	0.102	0.0200	0.358	0.040	0.010	0.056	2.924	0.058

Según los cálculos el alcantarillado constara de una tubería de PVC de diámetro de 0.20 m (8"), con un borde libre de 10 cm (figura 20).

Figura 20

Cálculos del alcantarillado.



Para los demás concretos permeables con diferentes coeficientes de permeabilidad se ha procedido con el mismo procedimiento para determinar las dimensiones del alcantarillado (tabla 40).

Tabla 40

Resumen de cálculo de dimensiones del alcantarillado

K (cm/s)	Área (m²)	H (m)	Ø alcantarilla	H zanja (m)	Ancho (m)
0.290	0.076	0.1	8"	0.3	0.4
0.225	0.098	0.15	8"	0.35	0.4
0.161	0.136	0.2	8"	0.4	0.4

Para el análisis de los resultados de la investigación, iniciaremos con la comprobación de las hipótesis planteadas, las que resolvemos a continuación:

4.2 PRUEBA DE HIPOTESIS ESPECIFICOS

4.2.1 Prueba de hipótesis específicos 1.

Para demostrar que se obtiene un concreto permeable ideal en base a un diseño de mezcla óptimo elaborado en la Ciudad universitaria de la UNA Puno se ha seguido los siguientes procedimientos estadísticos.

4.2.1.1 Prueba Estadística

Para la comparación de las características permeables del concreto versus el diseño de mezcla se utilizó como datos el coeficiente permeabilidad y la cantidad de agregado fino que entra en el diseño de mezcla, para ello se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existe una diferencia significativa entre las variables del sistema.

4.2.1.2 Muestras para comparación

Las muestras para su comparación, son los resultados finales del coeficiente de permeabilidad con diferentes porcentajes de AF.

Tabla 41

Datos para el análisis ANOVA, %AF Vs Coeficiente de permeabilidad

Diseño de mezcla	Contenido de AF	Coeficiente de permeabilidad
M-1	0%	0.289
		0.288
		0.292
M-2	10%	0.225
		0.227
		0.223
M-3	20%	0.165
		0.154
		0.164

4.2.1.3 Planteamiento de Hipótesis

Para el planteamiento de la hipótesis vamos a utilizar un ANOVA de múltiples variables.

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$, No hay diferencias entre las medias del coeficiente de permeabilidad.

H_1 : Al menos un par de medias son significativamente distintas la una de la otra.

El estadístico estudiado en el ANOVA, conocido como F_{ratio} , es la ratio entre la varianza de las medias de los grupos y el promedio de la varianza dentro de los grupos conocida como “ F de Fisher-Snedecor”. Si se cumple la hipótesis nula (H_0), el estadístico F adquiere el valor de 1 ya que la intervarianza será igual a la intravarianza. Cuanto más difieran las medias de los grupos mayor será la varianza entre medias en comparación al promedio de la varianza dentro de los grupos, obteniéndose valores de F superiores a 1 y

por lo tanto menor la probabilidad de que la distribución adquiriera valores tan extremos (menor el P-value).

La regla de decisión.

Si

$F_{\text{ratio}} \geq 1$, o $\text{Valor-P} \leq 0.05$ = Se acepta la hipótesis nula (H_0)

$F_{\text{ratio}} < 1$, o $\text{Valor-P} > 0.05$ = Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna (H_1)

4.2.1.4 Nivel de Significancia

El nivel de significancia que se tomó para esta investigación en la prueba estadística fue de un Alfa = 0.05.

En la tabla 42, se presenta la los resultados obtenidos del análisis estadístico.

Tabla 42

Resumen Estadístico %AF Vs Coeficiente de permeabilidad

muestras	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación	Mínimo	Máximo
M1 (0% A.F.)	3	0.289667	0.002081	0.718642%	0.288	0.292
M2 (10% A.F.)	3	0.225	0.002	0.888889%	0.223	0.227
M3 (20% A.F.)	3	0.161	0.006082	3.77811%	0.154	0.165
Total	9	0.225222	0.055816	24.7827%	0.154	0.292

Tabla 43

ANOVA del %AF vs Coeficiente de permeabilidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0248329	2	0.0124164	821.68	0.0000
Intra grupos	0.0000906667	6	0.0000151111		
Total (Corr.)	0.0249236	8			

La tabla 43, ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 821.676, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, **existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95.0% de confianza.** Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccionaremos Pruebas de Múltiples Rangos.

Tabla 44

Pruebas Tukey HSD para del %AF vs Coeficiente de permeabilidad

	Casos	Media	Grupos Homogéneos	
M3 (20% A.F.)	3	0.161	X	
M2 (10% A.F.)	3	0.225	X	
M1 (0% A.F.)	3	0.289667	X	

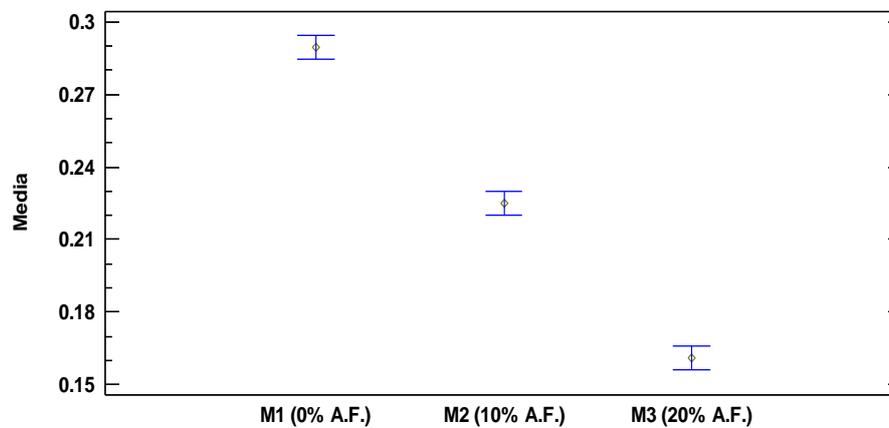
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
M1 (0% A.F.) - M2 (10% A.F.)	*	0.0646667	0.00973868
M1 (0% A.F.) - M3 (20% A.F.)	*	0.128667	0.00973868
M2 (10% A.F.) - M3 (20% A.F.)	*	0.064	0.00973868

** indica una diferencia significativa.*

El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza.

Figura 21

Comparación de medias del %AF vs Coeficiente de permeabilidad



De las tres mezclas de concreto permeables, existen diferencias significativas entre ellas (figura 21).

La mezcla que presenta mayor coeficiente de permeabilidad es la mezcla 1 (con 0% de A.F.), y la que presenta menor coeficiente de permeabilidad es la mezcla 3 (con 20% de A.F.). Se puede mencionar que la agregación de agregado fino a la mezcla trae como consecuencia menos espacios vacíos, y por consiguiente menos permeabilidad.

Resultado que coincide con lo manifestado por (Villanueva Quispe, 2020) en que concluye que la influencia de los porcentajes del agregado fino aumenta las propiedades resistente del concreto, la cual con 15% se obtiene mejores propiedades mecánicas. Igualmente, los resultados coinciden por lo mencionado por Nova (2008) donde menciona que la permeabilidad promedio de una muestra con finos en comparación a una muestra sin finos disminuye en aproximadamente 27%.

4.2.2 Prueba de hipótesis específicos 2.

Para probar que el diseño de concreto permeable tiene buenas características de resistencia a la compresión de los concretos elaborados en la ciudad Universitaria de la Una Puno, se ha seguido los siguientes procedimientos.

4.2.2.1 Prueba Estadística

Para la comparación de las características permeables del concreto versus el diseño de mezcla se utilizaron como datos la resistencia a la compresión del concreto y la cantidad de agregado fino que entra en el diseño de mezcla, para ello se utilizara el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existe una diferencia significativa entre las variables del sistema.

Las muestras para su comparación, son los resultados finales de los análisis de las características físicas obtenidas de los AGR y de los AGN (tabla 45).

Tabla 45

Datos para el análisis ANOVA del %AF Vs Resistencia del concreto

Diseño de mezcla	Contenido de A.F.	Resistencia kg/cm ²
M-1	0%	94.00
		95.10
		88.60
M-2	10%	115.90
		116.90
		113.40
M-3	20%	147.80
		151.60
		147.50

4.2.2.2 Planteamiento de Hipótesis

Para el planteamiento de la hipótesis vamos a utilizar un ANOVA de múltiples variables.

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$, No hay diferencias entre las medias de las resistencias a la compresión.

H_1 : Al menos un μ_i un par de medias son significativamente distintas la una de la otra.

La regla de decisión.

Si $F_{\text{ratio}} \geq 1$, o $\text{Valor-P} \leq 0.05$ = Se acepta la hipótesis nula (H_0)

$F_{\text{ratio}} < 1$, o $\text{Valor-P} > 0.05$ = Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna (H_1)

4.2.2.3 Nivel de Significancia

El nivel de significancia que se tomó para esta investigación en la prueba estadística fue de un Alfa = 0.05.

Tabla 46

Resumen Estadístico del %AF Vs Resistencia del concreto

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación	Mínimo	Máximo
M1 (0% A.F.)	3	92.5667	3.47898	3.75836%	88.6	95.1
M2 (10% A.F.)	3	115.4	1.80278	1.5622%	113.4	116.9
M3 (20% A.F.)	3	148.967	2.28546	1.53421%	147.5	151.6
Total	9	118.978	24.6734	20.7378%	88.6	151.6

Tabla 47

Análisis ANOVA del %AF Vs Resistencia del concreto

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4829.04	2	2414.52	352.03	0.0000
Intra grupos	41.1533	6	6.85889		
Total (Corr.)	4870.2	8			

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 352.028, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, **existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95.0% de confianza**. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos.

Tabla 48

Pruebas Tukey HSD del %AF Vs Resistencia del concreto

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
M1 (0% A.F.)	3	92.5667	X
M2 (10% A.F.)	3	115.4	X
M3 (20% A.F.)	3	148.967	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
M1 (0% A.F.) - M2 (10% A.F.)	*	-22.8333	6.56113
M1 (0% A.F.) - M3 (20% A.F.)	*	-56.4	6.56113
M2 (10% A.F.) - M3 (20% A.F.)	*	-33.5667	6.56113

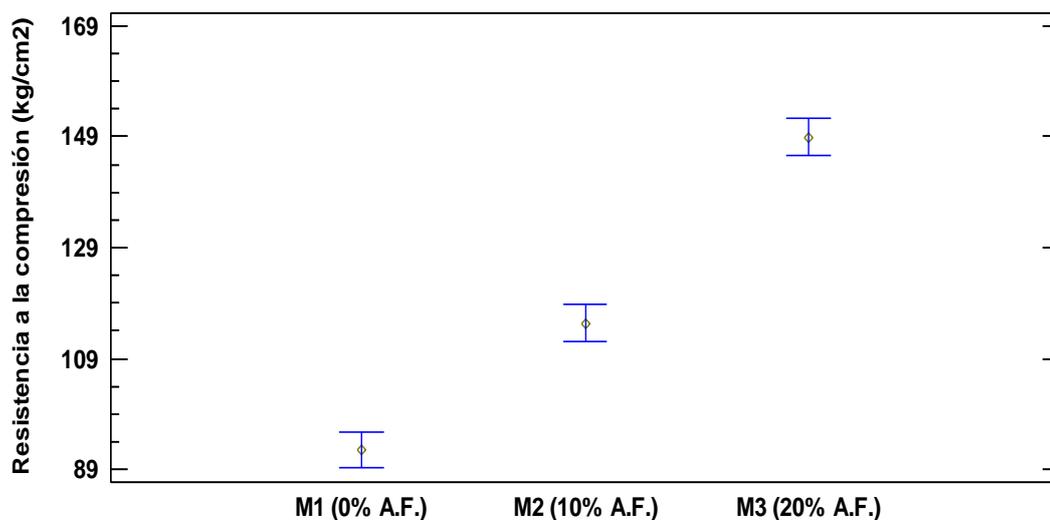
* indica una diferencia significativa.

La tabla 48 aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra

al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

Figura 22

Comparación de medias del %AF Vs Resistencia del concreto



De las tres mezclas de concreto permeables, existen diferencias significativas entre sus resistencias a la compresión.

La mezcla que presenta mayor resistencia a la compresión es la mezcla 3 (con 20% de A.F.), y la que presenta menor resistencia a la compresión es la mezcla 1 (con 0% de A.F.). Se puede mencionar que la adición de agregado fino a la mezcla trae como consecuencia el incremento de la resistencia.



Muestra investigación obtuvo una resistencia del concreto permeable promedio de 115 kg/cm², y resistencia máxima de 151.6 kg/cm². Inferior a la presentada por Richard C. Meininger (1988) que indica obtener un concreto permeable con resistencia de 175 Kg/cm², utilizando agregado grueso de TN 3/8" (9,5 mm) (ASTM C 33, tamaño N° 8), con porcentaje de vacíos de 20%. Igualmente coincide a lo mencionado por Nova (2008) en la que concluye que la presencia de finos brinda una mayor cohesión a la pasta que llena los intersticios del agregado grueso, brindándole a las partículas una mayor superficie específica de contacto, lo que le permite a la mezcla comportarse mejor frente a los esfuerzos de compresión.

4.3 PRUEBA DE HIPOTESIS GENERAL

El concreto permeable es la mejor alternativa de drenaje de las aguas pluviales en pavimentos rígidos en la Ciudad universitaria de la UNA Puno.

Para probar la siguiente hipótesis se realizará de manera descriptiva.

El sistema de drenaje que actualmente presenta la UNA Puno, especialmente el tramo que se tiene a espaldas de la piscina, presenta características de diseño muy dimensionadas, esto debido al caudal que se recolecta de las estructuras de cobertura de la piscina, de la escuela profesional de Sociología y antropología, así como las áreas verdes que las rodean.

Estas estructuras de evacuación de aguas fluviales presentan dimensiones peligrosas para el libre tránsito vehicular, y es que posiblemente las llantas o neumáticos de los vehículos pueden quedar atrapados en ella. Igualmente, el peralte que presentan son profundas y los vehículos menores pueden quedar suspendidos y que sus chasis raspen la superficie del pavimento.



Las superficies libres de las cunetas hacen que los vehículos no se puedan pegar a las veredas, quedando espaciados a las mismas y ocupando en demasía la superficie de libre tránsito, y no dando pase a los vehículos de gran tonelaje.

El sistema de drenaje mixto que se propone sugiere una superficie al ras de la superficie de rodadura, dando la apariencia de continuidad de la superficie, ampliando la zona de estacionamiento y la posibilidad de que el vehículo se pueda pegar lo más posible a la vereda, y ampliando la plataforma de circulación y dejando libre tránsito a los vehículos pesados.

Por lo expresado concluimos que el drenaje mixto con superficie de concreto permeable es una buena alternativa en remplazo de cunetas que tienen dimensiones exageradas.

4.4 DISCUSIONES

La mezcla que presenta mayor resistencia a la compresión es la mezcla 3 (con 20% de A.F.), y la que presenta menor resistencia a la compresión es la mezcla 1 (con 0% de A.F.). Se puede mencionar que la adición de agregado fino a la mezcla trae como consecuencia el incremento de la resistencia.

Resultado que coincide con lo manifestado por (Villanueva Quispe, 2020) en que concluye que la influencia de los porcentajes del agregado fino en la cual con 15% se obtiene mejores propiedades mecánicas, pero disminuye su propiedad Hidráulica de permeabilidad.

En nuestro caso la resistencia del concreto permeable está en promedio en una resistencia de 115 kg/cm², con una resistencia máxima de 151.6 kg/cm². Inferior a la presentada por Richard C. Meininger. Esto posiblemente por la forma y clase del agregado grueso.



Maininger (1988) en su investigación en concreto permeable sin finos para pavimentación indica obtener un concreto permeable con óptimas características utilizamos agregado grueso de TN 3/8" (9,5 mm) (ASTM C 33, tamaño N° 8), y un porcentaje de vacíos de 20%, obtuvieron una resistencia de 175 Kg/cm².

Para realizar el análisis se tomará en cuenta la norma ACI 522 (Pervious Concrete), que toma como referencia las investigaciones de Richard C. Meininger (No-Fines Pervious Concrete for paving, 1988), sus indicaciones para obtener un concreto permeable con óptimas características la cual se siguió para la realización de la presente tesis de investigación.

De esta manera se podrán discutir los resultados obtenidos con las indicaciones de Richard C. Meininger, teniendo los siguientes puntos:

Utilizamos agregado grueso de TN 3/8" (9,5 mm) (ASTM C 33, tamaño N° 8), y un porcentaje de vacíos de 20%, que de acuerdo a los cuadros dados por Meininger (1988) nos debe dar una resistencia de 175 Kg/cm², viendo nuestros resultados se usó una compactación ligera es decir 3 capas con 5 golpes usando Martillo Compactador (Proctor Estándar), la cual me resulta una resistencia de 155.73 Kg/cm² es decir el 88.98 % de la resistencia referencial.

En nuestro caso la resistencia del concreto permeable está en promedio en una resistencia de 115 kg/cm², con una resistencia máxima de 151.6 kg/cm². Inferior a la presentada por Richard C. Meininger. Esto posiblemente por la forma y clase del agregado grueso.

Según Richard C. Meininger, su diseño de mezcla se realizó de acuerdo a el contenido de vacíos (20%) la cual ACI 522 nos referencia valores para el contenido de pasta (0.23) que utilizamos para la realización de nuestro diseño de mezcla final.



Nuestro diseño de mezcla se realizó para un 20% de vacíos, dando como valores de contenido de pasta de 0.253 cercano al obtenido por Richard C. Meininger.

Meininger recomienda una relación a/c de 0.35 a 0.45 para tener una mezcla correcta, sin embargo, se notó que al momento de realizar la mezcla en la máquina mezcladora (trompito) se apelmazó nuestro superplastificante 0.4% y retardante de fraguado 0.2% para el correcto llenado de las probetas.

Se trabajó con una relación de agua/cemento de 0.35, y no se tuvo ningún inconveniente en la utilización de los superplastificante y retardantes.



V. CONCLUSIONES

- Se puede obtener un concreto permeable con un alto coeficiente de permeabilidad. Este coeficiente de permeabilidad está en función a la cantidad de vacíos que genera el diseño de mezcla, y que la adición de agregado fino a la mezcla disminuye la cantidad de vacíos y por consiguiente baja la permeabilidad del concreto.
- Se ha conseguido un concreto permeable de baja resistencia a la compresión en comparación con otras investigaciones, y que la disminución del agregado fino reduce la resistencia.
- Se puede utilizar concretos permeables como un sistema de drenaje para evacuación de aguas fluviales en los pavimentos rígidos presentes en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Altiplano, siempre y cuando se realice conjuntamente un sistema de tuberías, y que este concreto permeable sea como un sistema de filtración que conduce las aguas fluviales al sistema de tuberías.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar concreto permeable con agregados gruesos triturados de $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", $\frac{3}{4}$ " y 1", con fines de evaluar la influencia del TMN y procedencia del AG en la permeabilidad y resistencia del concreto, puesto que con el agregado utilizado en la presente investigación es de $\frac{3}{8}$ " de diámetro extraído de río (canto rodado), no se ha podido definir su influencia en el concreto permeable
- En la investigación se utilizó una relación de a/c de 0.35, por lo que se recomienda realizar investigaciones con otras relaciones y ver su influencia en la permeabilidad y resistencia en los concretos permeables.
- No se ha podido verificar el aporte de los aditivos utilizados en la permeabilidad y resistencia de los concretos, por lo que se recomienda comparar la permeabilidad y resistencia de concretos sin la utilización de aditivos, o el uso de ellos de manera separada.
- En el proceso de confección de las probetas se pudo observar el escurrimiento de la pasta de cemento, debido posiblemente por el corto tiempo utilizado después del batido hasta el colocado del concreto en los moldes de probetas, sin el tiempo suficiente para que la pasta de cemento se consolide en el agregado. Por lo que se recomienda la elaboración de concretos con diferentes tiempos desde el batido hasta el colocado en los moldes.
- Se recomienda tener en cuenta todos los factores al momento de realizar la investigación , ya que el caudal de diseño fue fundamental para determinar las dimensiones, forma y diseño del concreto permeable aplicada en el presente trabajo de investigación.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del Concreto*. Lima: San marcos E.I.R.L. .
- ACI 211.3R-02. (2009). *Guia para la Selección de proporciones para el concreto de Cero Slump*. EE.UU.: American Concrete Institute (ACI).
- ACI 522R-10, N. (2010). *Report on Pervious Concrete*. American Concrete Insitute.
- ACI Committee 522, .. (2010). *ACI 522R-10. Report on Pervious Concrete*. Farmington Hills. USA.: MI.
- ACI-522R.6. (2006). *Pervious Concrete*. American Concrete Institute.
- Alcalde, P. &. (2016). *"Evaluacion del agregado proveniente de la cantera "rio cajamarquino" para la elaboracion de concreto permeable para pavimento rigido, Cajamarca 2015"* . Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Amoros, C. E., & Bendezu, J. C. (2019). *Diseño de mezcla de concreto permeable para la construccion de la superficie de rodadura de un pavimento de resistencia de 210kg/cm2*. Lima.
- Bautista Pereda, A. J. (2018). *Diseño de pavimento rigido permeale para la evaluacion de agua pluviales segun la NORMA ACI*. Lima.
- Cabrera, E., Castro, j., & Menez, R. (2011). *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario, aguas lluvias, y planta de tratamiento de aguas residuales para el area urbana del Municipio de San Matias, Departamento de la mibertad*. Lima, Perú: UNI.
- CE.010 RNE. (2010). *CE.010 pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE*. Lima: MVCS.
- Covarrubias, J. P. (2009). *Pavimentos sustentables Geometria optimizada*. TCPaviments.
- Crouch, L. S., Adam, W. D., & Sparkman, A. (2007). *Determining Pervious PCC Permeability with a Simplr Triaxial Flexible-Wall Constant Head permeamete*. Tenesse: Tennessee Concrete Association & Tennessee Technological University.



- Díaz Aguilar, R. (2013). *Estudio de caracterización climática de la precipitación pluvial y temperatura del aire para las cuencas de los ríos coata e Ilave*. Puno: Senamhi.
- EM-MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima : Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Flores Quispe, C. E., & Pacompia Calcina, I. A. (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*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- 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*. Puno.
- García, H., Perales, M., & Doménech, .. (2011). *Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación en climas mediterráneos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA).
- Guizado, A., & Curi, E. (2017). *Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Guizado, A., & Curi, E. R. (2017). *Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vía locales y pavimentos especiales de la costa*. Lima.
- Interpave. (2008). *Guide to the design, construction and maintenance of concrete block permeable pavements*. The Precast Concrete Paving & Kerb Association.
- Maininger, R. (1988). *Concreto permeable sin finos para pavimentación*. EE.UU.: Concrete International.
- Meininger, R. C. (1988). *No-Fines Pervious Concrete for Pavimen*. Maryland: NRMCA.
- Moujir Salazar, Y. F. (2014). *Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos*. Cali, Colombia: Tesis de título en ingeniería civil.



- Navas Carro, A. &. (2008). *Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Neithenlath, N. (2004). *Development and Characterization of Acoustically Efficient Cementitious Materials*. Indiana. : Purdue.
- NTP 339.035, .. (2014). *Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland*. Norma Técnica.
- PCA. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Chicago, EE.UU.: Portland cement Association.
- Perez Gordillo, J. j. (2017). “*Influencia de la granulometría del agregado grueso en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, Trujillo 2017*”. trujillo: Universidad Privada del Norte.
- Perez Ramos, D. (2009). *Estudio experimental de concretos permeables con agregados andesíticos*.
- Pizarro, R., Flores, J., Sanguesa, C., & Martínez, E. (2014). *Leyes de distribución de procesos hidrológicos. Sociedad Estándares de ingeniería para Aguas y Suelos LTDA*, 6.
- Puertas, F., & Vazquez, T. (2001). *Hidratación inicial del cemento. Efecto de aditivos superplastificantes. España: Instituto de Ciencias de la Construcción EduardoTorroja (CSIC)*.
- RNE. (2012). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú: MVC.
- RNE. (2020). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: MTCV.
- Rodriguez Hernandez, J. (2008). *Estudio, análisis y diseño de secciones permeables de firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con la capacidad portante necesaria para soportar tráfico ligeros*. santander: Universidad de Cantabria.
- SENAHMI. (2020, setiembre 22). *Datos/Descarga de datos Meteorológicos*. Retrieved setiembre 22, 2020, from <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>



- Tennis et., K. S., Kerkhoff, B., & C., P. y. (2004). *Diseño y control de mezcla de concreto*. EE.UU.
- Turmero, P. (2015). *monografias.com*. Retrieved agosto 30, 2021, from <https://www.monografias.com/docs111/propiedades-y-definiciones-mecanica-fluidos/propiedades-y-definiciones-mecanica-fluidos2.shtml>
- Villanueva Quispe, K. (2020). *Influencia de diferentes porcentajes del agregado fino en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, en Trujillo 2020*. Trujillo: Universidad Privada del Norte.
- Villón, M. (2002). *hidrología*. Lima: Editorial Villón.
- Woods-Ballard, R., K., P., M., C., J., R., B., & P., S. (2007). *The SUDS Manual*. London: Ciria C697.

ANEXOS

PANEL FOTOGRÁFICO



FOTO N° 01: Muestra del agregado grueso.



FOTO N° 02: Muestra de la balanza para poder obtener el agregado que se requiere.



FOTO N° 03: Calculando la temperatura del agua.



FOTO N° 04: Calculando la temperatura del agua.



FOTO N° 05: Muestra de agregados para la gravedad específica y absorción.



FOTO N° 06: Muestra de las mallas de tamiz.



FOTO N° 07: Muestra de agregados que sé que queda en la malla correspondiente.



FOTO N° 08: Muestra de agregados seleccionado por las mallas.



FOTO N° 09: Muestra de agregados grueso cuarteado.

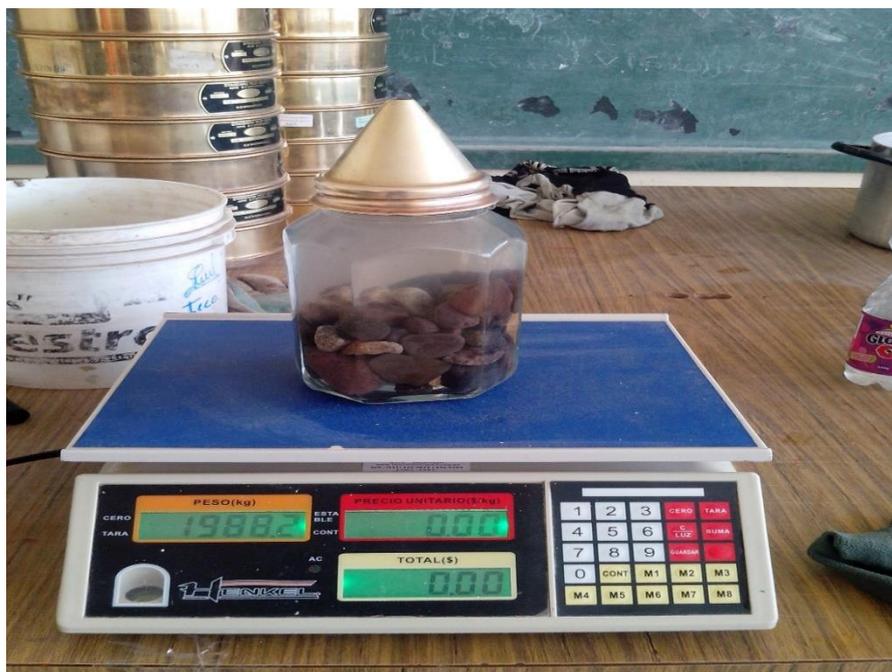


FOTO N° 10: Muestra de pesa de picnómetro con el agregado grueso.



FOTO N° 11: Muestra de agregado grueso con agua en una bandeja.



FOTO N° 12: Probetas desmoldadas y en proceso de curado.



FOTO N° 13: Muestra de horno de laboratorio.



FOTO N° 14: Guantes de laboratorio para sacar del horno las bandejas calientes.



FOTO N° 15: Muestra de microondas para el secado del agregado.



FOTO N° 16: Recipiente para pesar la cantidad de agua correspondiente.



FOTO N° 17: Muestra de trompo manual para mezclar los materiales.



FOTO N° 18: Muestra de trompo manual para obtener la mezcla del concreto permeable.



FOTO N° 19: preparación de muestras y colocado del permeámetro.



FOTO N° 20: prueba de permeabilidad del concreto.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y AGRIMENSURA
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



HUMEDAD EN EL AGREGADO GRUESO

PROYECTO : "CONCRETO PERMEABLE COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE DE LAS AGUAS PLUVIALES
EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNA – PUNO"
Bach. JENNY EDITH MAMANI TIQUE
SOLICITADO POR : Bach. HERLIN HUAYNA TOQUE MUESTRA : AGREGADO GRUESO NATURAL
FECHA : 15 NOVIEMBRE DEL 2019 CANTERA : CU, OBRA REFACCIÓN EDIFICIO ESTADÍSTICA

Ensaye no.	1	2	3
Tara No.	01	2	1173.500
Peso de tara (gr)	209.500	215.500	
Peso de tara + agregado húmedo (gr)	1642.000	1173.500	
Peso de agregado húmedo (gr)	1432.500	958.000	
Peso de tara + agregado seco (gr)	1623.500	1160.000	
Peso de agregado seco (gr)	1414.000	944.500	
Contenido de humedad (%)	1.31	1.430	
Contenido de humedad promedio (%)	1.370		

V^oB^o

 Ing. Yony H. Rojas Ticona
 CIP. N° 195576



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



PESO ESPECIFICO Y ABSORCION EN EL AGREGADO

PROYECTO : "CONCRETO PERMEABLE COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE DE LAS AGUAS PLUVIALES
EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNA – PUNO"
Bach. JENNY EDITH MAMANI TIQUE
SOLICITADO POR : Bach. HERLIN HUAYNA TOQUE MUESTRA : AGREGADO GRUESO NATURAL
FECHA : 15 NOVIEMBRE DEL 2019 CANTERA : CU, OBRA REFACCIÓN EDIFICIO ESTADÍSTICA

AGREGADO GRUESO

METODO DEL CESTO SUMERGIDO

	Numero de ensayo	1	2	3	Und.
A	Peso del cesto + gancho	985.00			g
B	Peso del cesto + gancho + Msss	1881.00			g
C	Peso del cesto sumergido	908.00			g
D	Peso del cesto sumergido + Msss	1430.00			g
E	Peso charola	450.00			g
F	Peso charola + material seco	1337.00			g
G	Peso de la muestra seca (F-E)	887.00			g
H	Peso del material SSS (B-A)	896.00			g
I	Peso en el agua de la muestra SSS (D-C)	522.00			g
J	Peso específico (G/(H-I))	2.372			g/cm ³
	Promedio peso específico (G/(H-I))		2.372		g/cm ³
K	Absorción % ((H-G)/G)	1.015			%
	Promedio absorción % ((H-G)/G)		1.015		%

V° B°

 Ing. Yony H. Rojas Ticona
 CIP. N° 195576
 INGENIERO CIVIL



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



PESO ESPECIFICO Y ABSORCION EN EL AGREGADO

PROYECTO : "CONCRETO PERMEABLE COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE DE LAS AGUAS PLUVIALES"
Bach. JENNY EDITH MAMANI TIQUE
SOLICITADO POR : Bach. HERLIN HUAYNA TOQUE MUESTRA : AGREGADO GRUESO NATURAL
FECHA : 15 NOVIEMBRE DEL 2019 CANTERA : CU, OBRA REFACCIÓN EDIFICIO ESTADÍSTICA

AGREGADO FINO

METODO DEL PIGNOMETRO

	Numero de ensayo	1	2	3	Und.
A	Peso pignometro	306.00			g
B	Peso pignometro + H2O	861.00			g
C	Peso pignometro + Msss	573.00			g
D	Peso pignometro + H2O + Msss	1020.00			g
E	Peso charola	441.00			g
F	Peso charola + M.seco	694.00			g
G	Peso de la muestra seca (F-E)	253.00			g
H	Peso de la muestra saturada SS (C-A)	267.00			g
I	Peso especifico (G/(B+H-D))	2.343			g/cm ³
			2.343		
J	Absorción ((H-G)/G)	5.534			%
	Absorción promedio		5.534		%

✓ 3°

 Ing. Yony H. Rojas Ticona
 CIP. N° 195576
 INGENIERO CIVIL



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS

PROYECTO : "CONCRETO PERMEABLE COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE DE LAS AGUAS PLUVIALES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNA - PUNO"

SOLICITADO POR : Bach. JENNY EDITH MAMANI TIQUE

FECHA : 15 NOVIEMBRE DEL 2019

MUESTRA : AGREGADO GRUESO NATURAL

CANTERA : CU, OBRA REFACCIÓN EDIFICIO ESTADÍSTICA

AGREGADO GRUESO

PESO UNITARIO SUELTO

Ensaye no.	1	2	3
Molde No.	1		
Volumen del molde (cm ³)	8063.347		
Peso del molde (kg)	0.721		
Peso del agregado suelto + molde (kg)	11.922		
Peso del agregado suelto en el molde (kg)	11.201		
Peso volumétrico seco suelto (kg/m ³)	1389.125		
Peso volumétrico promedio seco suelto (kg/m ³)		1389.125	

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensaye no.	1	2	3
Molde No.	1		
Volumen del molde (cm ³)	8063.347		
Peso del molde (kg)	0.722		
Peso del agregado compactado + molde (kg)	13.248		
Peso del agregado compactado en el molde (kg)	12.526		
Peso volumétrico seco compactado (kg/m ³)	1553.449		
Peso volumétrico promedio seco compact. (kg/m ³)		1553.449	

JB^o

Ing. Yony H. Rojas Ticona
CIP. N° 195576
INGENIERO CIVIL



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS

PROYECTO : "CONCRETO PERMEABLE COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE DE LAS AGUAS PLUVIALES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNA – PUNO"

SOLICITADO POR : Bach. JENNY EDITH MAMANI TIQUE
Bach. HERLIN HUAYNA TOQUE
FECHA : 15 NOVIEMBRE DEL 2019
MUESTRA : AGREGADO FINO NATURAL
CANTERA : CU, OBRA REFACCIÓN EDIFICIO ESTADÍSTICA

AGREGADO FINO

PESO UNITARIO SUELTO

Ensaye no.	1	2	3
Molde No.	02		
Volumen del molde (cm ³)	2762.762		
Peso del molde (kg)	0.331		
Peso del agregado suelto + molde (kg)	4.171		
Peso del agregado suelto en el molde (kg)	3.840		
Peso volumétrico seco suelto (kg/m ³)	1389.913		
Peso volumétrico promedio seco suelto (kg/m ³)	1389.913		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensaye no.	1	2	3
Molde No.	02		
Volumen del molde (cm ³)	2762.762		
Peso del molde (kg)	0.331		
Peso del agregado compactado + molde (kg)	4.651		
Peso del agregado compactado en el molde (kg)	4.320		
Peso volumétrico seco compactado (kg/m ³)	1563.653		
Peso volumétrico promedio seco compact. (kg/m ³)	1563.653		

V B
Ing. Yony A. Rojas Ticona
CIP. N° 195576
INGENIERO CIVIL



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MATERIALES



ENSAYO DE COMPRESION DE PROBETAS CILINDRICAS

PROYECTO

“CONCRETO PERMEABLE COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE DE LAS AGUAS PLUVIALES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNA – PUNO”

Bach. JENNY EDITH MAMAMI TIQUE

SOLICITADO POR :

Bach. HERLIN HUAYNA TOQUE

MUESTRA : CONCRETO POROSO

FECHA

16 FEBRERO DEL 2020

CANTERA : CU, OBRA REFACCIÓN EDIFICIO ESTADÍSTICA

Prueb Nº	CODIGO	MEDIDAS		AREA cm ²	VOLUMEN cm ³	CARGA KN	RESISTENCIA (kg/cm ²)		FECHA		EDAD dias	%	
		Alt.	Diam.				Diseño	Rotura	Moldeo	Rotura			
1	M-1	30.0	14.9	174.366	5230.987	160.8		94.0		16/01/2020	16/02/2020	31	-----
2	M-1	29.9	15.0	176.715	5283.766	164.9		95.1		16/01/2020	16/02/2020	31	-----
3	M-1	29.9	15.1	179.079	5354.451	155.7		88.6		16/01/2020	16/02/2020	31	-----
4	M-2	30.0	15.0	176.715	5301.438	200.9		115.9		16/01/2020	16/02/2020	31	-----
5	M-2	30.1	15.0	176.715	5319.109	202.6		116.9		16/01/2020	16/02/2020	31	-----
6	M-2	30.0	14.9	174.366	5230.987	193.9		113.4		16/01/2020	16/02/2020	31	-----
7	M-3	30.0	15.1	179.079	5372.359	259.7		147.8		16/01/2020	16/02/2020	31	-----
8	M-3	30.0	15.0	176.715	5301.438	262.8		151.6		16/01/2020	16/02/2020	31	-----
9	M-3	30.0	15.0	176.715	5301.438	255.7		147.5		16/01/2020	16/02/2020	31	-----

Promedio = 119.0 kg/cm²

V^oB
Ing. Yony H. Rojas Mirona
CP. N.º 19559
INGENIERO CIVIL