



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



**EFICIENCIA DEL PAVIMENTO DE CONCRETO POROSO
COMO ALTERNATIVA EN EL DRENAJE VIAL URBANO DEL
BARRIO LA CAPILLA – JULIACA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. WILFREDO LOPEZ MONRROY

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

EFICIENCIA DEL PAVIMENTO DE CONCRETO POROSO COMO ALTERNATIVA EN EL DRENAJE VIAL URBANO DEL BARRIO LA

AUTOR

WILFREDO LOPEZ MONRROY

RECuento DE PALABRAS

25858 Words

RECuento DE CARACTERES

134431 Characters

RECuento DE PÁGINAS

156 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.8MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 6, 2023 4:45 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 6, 2023 4:47 PM GMT-5

● 13% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

Dr. Sc. Edgar Vidal Hurtado Chavez
Director de Tesis

VºBº Ing. Emilio Castillo Aroni
Subdirector Investigaciones EPIC

Resumen



DEDICATORIA

Dedico al Altísimo, que impulso mi carrera profesional hasta su culminación, guiándome hasta el final.

A mi papá Hilario y a mi mamá Adriana por estar constantemente en toda mi formación para cumplir mis metas.

A mi hija Alizee, quien me da fuerzas para seguir adelante y terminar mi proyecto de investigación así mismo a mi pareja Edilberta, quien siempre me apoyó.

Wilfredo Lopez Monrroy



AGRADECIMIENTOS

Al Altísimo, por guiarme, dado fuerza y valor para poder terminar mis estudios profesionales hasta mi titulación.

Agradezco a mi Alma Mater, en particular a mi Escuela de Ingeniería Civil, por haberme proporcionado la información y formación necesarias para desenvolverme en el mercado laboral.

A mis jurados, M.Sc. Mariano Roberto García Loayza, Ing. José Luis Cutipa Arapa y D.Sc. Cesar Edwin Guerra Ramos por apoyarme en la elaboración de mi tesis.

A mi asesor de tesis, D.Sc. Edgar Vidal Hurtado Chávez por el apoyarme constantemente en el proceso de elaboración de mi investigación.

Gracias también al Laboratorio de Mecánica de Suelos y Construcción de la EPIC y a los ingenieros Ivach y Deywis por su constante cooperación durante el procedimiento de pruebas de laboratorio.

Wilfredo Lopez Monrroy



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCION	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA	18
1.2.1 Problema general.....	18
1.2.2 Problema específico	18
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.3.1 Hipótesis general.....	18
1.3.2 Hipótesis específicas	19
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	19
1.5 OBJETIVOS	20
1.5.1 Objetivo general.....	20
1.5.2 Objetivo específico	20
CAPITULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 ANTECEDENTES.....	21
2.1.1 Antecedentes internacionales	21



2.1.2 Antecedentes nacionales	23
2.1.3 Antecedentes locales	25
2.2 MARCO TEORICO	26
2.2.1 Concreto Permeable	26
2.2.2 Aplicaciones en el pavimento	26
2.2.3 Pavimento poroso: Ventajas y desventajas	28
2.2.4 Componentes.....	29
2.2.5 Propiedades: concreto poroso	30
2.2.6 Diseño estructura del pavimento poroso	34
2.2.7 Permeabilidad del concreto poroso	35
2.2.8 Aspecto hidrológico	37
2.2.9 Método AASHTO 93	39
2.2.10 Estudio de Topografía.....	40
2.2.11 Estudio Geotécnico	41
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y METODOS	
3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO.....	42
3.2 DURACIÓN DEL ESTUDIO REALIZADO.....	42
3.3 PROCEDENCIA DEL MATERIAL A UTILIZAR	42
3.4 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	43
3.4.1 El enfoque de la investigación	43
3.4.2 Nivel de investigación.....	43
3.4.3 Tipo de diseño	44
3.4.4 Población y muestra	45
3.5 METODOLOGÍA CUASI EXPERIMENTAL	47
3.5.1 Extracción de agregados	47
3.5.2 Ensayo de contenido de humedad.....	48
3.5.3 Ensayo: absorción y peso específico del agregado fino.....	51



3.5.4 Ensayo de absorción y peso específico del agregado grueso.....	56
3.5.5 Ensayo: peso unitario y % vacíos de los agregados.....	60
3.5.6 Ensayo: análisis granulométrico	64
3.5.7 Ensayo: abrasión	68
3.5.8 Diseño de mezclas para el concreto poroso.....	70
3.5.9 Resumen de diseño de las dosificaciones	85
3.5.10 Procedimiento para elaboración del concreto poroso: moldes cilíndricos	86
3.5.11 Ensayo: del concreto poroso en estado fresco	88
3.6 ESTUDIO GEOTÉCNICO	97
3.6.1 Ensayo de calicata.....	97
3.6.2 Contenido de humedad.....	99
3.6.3 Granulometría	102
3.6.4 Proctor modificado.....	103
3.6.5 CBR.....	108
3.7 ESTUDIO TOPOGRÁFICO	111
3.7.1 Levantamiento topográfico	111
3.7.2 Nivelación	113
3.8 ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	113
3.9 DISEÑO ESTADÍSTICO Y HIPOTESIS DE PRUEBA	114
3.9.1 Análisis estadístico.....	114

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONCRETO POROSO EN ESTADO FRESCO	117
4.1.1 Trabajabilidad y Asentamiento del concreto poroso.....	117
4.2 RESULTADO DE LA PROPIEDAD MECÁNICA DEL CONCRETO POROSO	118



4.2.1 Resistencia a la compresión simple	118
4.3 RESULTADOS PARA LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS	126
4.3.1 Permeabilidad en el concreto poroso	126
4.4 INTERPRETACIÓN DEL CONCRETO POROSO: PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRÁULICAS	131
4.5 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO PERMEABLE	132
4.5.1 Diseño del pavimento: método AASHTO 93	132
4.5.1 secciones de pavimento poroso.....	137
4.5.2 Análisis de costo	138
4.6 ANÁLISIS A NIVEL ESTADÍSTICO	140
4.6.1 Resistencia a la compresión simple	140
4.5.2 Análisis estadístico; permeabilidad del concreto poroso	143
4.7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	146
V. CONCLUSIONES.....	148
VI. RECOMENDACIONES	149
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
ANEXOS.....	153

ÁREA: Transportes

TEMA: Concreto poroso para pavimentos

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: transportes

FECHA DE SUSTENTACION: 08 de noviembre del 2023



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Pavimentos permeables en zonas residenciales	27
Figura 2 Pavimento permeable en caminos y aceras.....	28
Figura 3 Tipos de fallas de pruebas cilíndricas estándar.....	32
Figura 4 Compactación con rodillo	33
Figura 5 Para realizar el ensayo de permeabilidad.....	36
Figura 6 Ubicación geográfica: cantera Cabanillas.....	43
Figura 7 Extracción de los agregados.....	47
Figura 8 Separación de los agregados por la malla N°4.....	48
Figura 9 Ensayo: contenido de humedad	50
Figura 10 Secado de agregado fino	52
Figura 11 Desmoronamiento S.S.S. del material fino	53
Figura 12 Pesado del material S.S.S.: agregado fino	54
Figura 13 Tratamiento de burbujas de aire.....	54
Figura 14 Secado de agregado: grueso para S.S.S.	57
Figura 15 Pesado para S.S.S.....	58
Figura 16 Pesado de material sumergido S.S.S.....	58
Figura 17 Varillado: agregado fino	63
Figura 18 Pesado de material compactado: agregado grueso.....	63
Figura 19 Curva granulométrica: agregado fino	65
Figura 20 Curva granulométrica: agregado grueso	66
Figura 21 Ensayo: granulometría urva granulométrica: agregado grueso	67
Figura 22 Gradación: agregado grueso	67
Figura 23 Ensayo: abrasión de los ángeles.....	70
Figura 24 Concordancia de la resistencia a la compresión y % vacíos del concreto poroso	72
Figura 25 Relación: % de vacíos y contenido de pasta	73
Figura 26 Concordancia entre la resistencia a la compresión y % vacíos del concreto poroso.....	77
Figura 27 Contenido de vacíos y volumen de pasta del concreto poroso	78
Figura 28 Cargado de materiales a la mezcladora.....	87



Figura 29 Mezclado de concreto poroso	87
Figura 30 Compactado de especímenes	88
Figura 31 Varillado en el ensayo: cono de Abrams	90
Figura 32 Medición del asentamiento: concreto poroso (Slump)	90
Figura 33 Curado: concreto poroso	91
Figura 34 Medición de diámetro de especímenes	93
Figura 35 Compresión simple: especímenes	93
Figura 36 Falla de especímenes: concreto poroso H-8 + 5% de agregado fino	94
Figura 37 Permeámetro	95
Figura 38 Ensayo: permeabilidad.....	96
Figura 39 Nivel freático	98
Figura 40 Muestreo de material.....	98
Figura 41 Medición del Nivel freático	99
Figura 42 Pesado de material húmedo: contenido de humedad	101
Figura 43 Ensayo de granulometría por lavado.....	103
Figura 44 Curva: humedad optimo y densidad seca.....	106
Figura 45 Saturado y dividido del materialy	106
Figura 46 Compactación con el martillo Proctor modificado	107
Figura 47 Pesado del molde + material compactado.....	107
Figura 48 Extracción del material del molde	108
Figura 49 Mezclado de material de suelo.....	110
Figura 50 Medidas realizadas con el microcomparador.....	110
Figura 51 Configuración de la estación total.....	112
Figura 52 Lectura de puntos: con estacion total.....	112
Figura 53 Evolución: concreto poroso con adición de agregado fino en 5%.....	120
Figura 54 Evolución del concreto poroso: con adición de agregado fino en 10%.....	122
Figura 55 Evolución del concreto poroso: con adición de agregado fino en 15%.....	124
Figura 56 Evolución del concreto poroso: en cada diseño	125
Figura 57 Resistencia a la compresión simple vs permeabilidad del concreto poroso	131
Figura 58 Sección del pavimento poroso	138



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Tamaño de muestra: Ensayo de compresión simple	46
Tabla 2 Tamaño de muestra: Ensayo de permeabilidad	46
Tabla 3 Contenido de humedad: agregado fino	49
Tabla 4 Contenido de humedad: agregado grueso	50
Tabla 5 Datos para la gravedad específica: agregado fino	55
Tabla 6 Resultados: absorción y peso específico del agregado fino.....	56
Tabla 7 Datos para la gravedad específica: agregado grueso	59
Tabla 8 Resultados de la absorción y peso específico: agregado grueso.....	60
Tabla 9 Peso unitario suelto: agregado fino.....	61
Tabla 10 Peso unitario compactado: agregado fino	61
Tabla 11 Peso unitario suelto: agregado grueso	62
Tabla 12 Peso unitario compactado: agregado grueso.....	62
Tabla 13 Granulometría: agregado fino	65
Tabla 13 Granulometría: agregado grueso.....	66
Tabla 15 Resultados de abrasión los ángeles: agregado grueso	69
Tabla 16 Nominación: número de diseño de mezclas.....	71
Tabla 17 Resumen de datos obtenidos en el laboratorio: agregados finos y grueso.....	76
Tabla 18 Cálculo de volúmenes absolutos: diseño de mezclas para agregados grueso	80
Tabla 19 Cálculo de volúmenes absolutos: diseño de mezclas para agregado grueso + adición de agregado fino en 5%	80
Tabla 20 Cálculo de volúmenes absolutos: diseño de mezclas para agregado grueso + adición de agregado fino en 10%	81
Tabla 21 Cálculo de volúmenes absolutos: diseño de mezclas para agregado grueso + adición de agregado fino en 15%	81
Tabla 22 Cálculo del peso: agregado grueso con 5% de A. fino	82
Tabla 23 Cálculo del peso: agregado grueso con 10% de A. fino.	82
Tabla 24 Cálculo del peso: agregado grueso con 15% de A. fino	82
Tabla 25 Datos corregidos: por humedad para el diseño de agregados gruesos.....	83
Tabla 26 Datos corregidos: por humedad para el diseño + adición de agregado fino en 5%	83



Tabla 27	Datos corregidos: por humedad para el diseño + adición de agregado fino en 10%	83
Tabla 28	Datos corregidos: por humedad para el diseño + adición de agregado fino en 15%	84
Tabla 29	Datos corregidos: para el diseño por humedad de agregado grueso.....	84
Tabla 30	Datos corregidos: de diseño por humedad agregado grueso + adición de agregado fino en 5%	84
Tabla 31	Datos corregidos: para el diseño por humedad agregado grueso + adición de agregado fino en 10%	85
Tabla 32	Datos corregidos para el diseño por humedad: agregado grueso + adición de agregado fino en 15%	85
Tabla 33	Resumen: diseño de mezclas	86
Tabla 34	Resultado de ensayo: contenido de humedad	101
Tabla 35	Resultados del ensayo: Proctor modificado.....	105
Tabla 36	Precipitación pluvial de los 20 años últimos en Juliaca.....	113
Tabla 37	Calificación del coeficiente de permeabilidad.....	114
Tabla 38	Trabajabilidad y asentamiento del concreto poroso.....	117
Tabla 39	Resistencia de la compresión simple: concreto poroso huso -8.....	118
Tabla 40	Resistencia a la compresión: concreto poroso huso - 8 +adición en 5% fino	119
Tabla 41	Evolución: concreto poroso con adición de agregado fino en 5%.....	120
Tabla 42	Resistencia a la compresión: concreto poroso huso -8 +adición en 10% fino	121
Tabla 43	Resistencia a la compresión: concreto poroso huso -8 +adición en 15% fino	123
Tabla 44	Coeficiente de permeabilidad del concreto poroso de la muestra patrón H-8	126
Tabla 45	Coeficiente de permeabilidad del concreto poroso de la muestra patrón H-8 + 5% A. fino.....	127
Tabla 46	Coeficiente de permeabilidad del concreto poroso de la muestra patrón H-8+10% A. fino.....	128
Tabla 47	Coeficiente de permeabilidad del concreto poroso de la muestra patrón H-8+15% A. fino.....	128
Tabla 48	Capacidad de filtración de probetas de diseño.....	129



Tabla 49	Capacidad de filtración: por m2 para cada diseño del concreto poroso	130
Tabla 50	Índice de serviciabilidad	133
Tabla 51	Periodo de diseño.....	134
Tabla 52	Módulo de elasticidad.....	134
Tabla 53	Confiabilidad de periodo de diseño	135
Tabla 54	Desviación estándar	136
Tabla 55	Coefficiente de drenaje	136
Tabla 56	Costo de un pavimento de concreto poroso	139
Tabla 57	Costo de un pavimento convencional	139
Tabla 58	Prueba de normalidad: resistencia a la compresión	140
Tabla 59	Prueba de homogeneidad de varianzas: resistencia a la compresión	141
Tabla 60	Prueba de ANOVA de un factor: resistencia a la compresión.....	141
Tabla 61	Prueba post hoc: resistencia a la compresión.....	142
Tabla 62	Prueba de normalidad: permeabilidad	143
Tabla 63	Prueba de homogeneidad de varianzas: permeabilidad	144
Tabla 64	Prueba de análisis de varianza ANOVA de un factor: permeabilidad.....	144
Tabla 65	Prueba de post hoc: permeabilidad	145



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

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

k: coeficiente de permeabilidad

H₀: Hipótesis nula

H_a: Hipótesis alternativa

W%: Contenido de humedad.

TMN: Tamaño máximo nominal del agregado

CBR: California Bearing Ratio.

a/c: Agua/cemento.

ACI: American Concrete Institute.

ACI-522R: Norma para concreto permeable

ANOVA: Análisis de la varianza.

SP: Arena mal graduada.

A-3: Arena fina.

h-8: huso 8 (pasante al tamiz 3/8" y retenido en la malla N° 4.)

C.E. 010: Norma técnica de pavimentos urbano.

ASTM: American Society of Testing Materials.

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

NTP: Norma técnica peruana.



RESUMEN

El presente capítulo I, tiene como contenido el problema del estudio, por sus características topográficas, por ser de poca pendiente provoca el estancamiento de agua en las vías urbanas, plazas y estacionamientos, siendo una alternativa viable para aplicar el concreto poroso como una solución, que se ha logrado con la presente tesis al determinar la eficiencia del pavimento de concreto poroso como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio La Capilla – Juliaca. Capítulo II, se muestra la revisión de los antecedentes, que define la teoría para la presente investigación. Capítulo III, el diseño metodológico, es de enfoque cuantitativo, nivel aplicativo y diseño cuasi-experimental, se desarrollaron pruebas de permeabilidad y resistencia a la compresión, mediante testigos para diseños de mezcla con el huso-8; se añadió agregado fino en cantidades de 5%, 10% y 15% con respecto al peso de los materiales. Capítulo IV, el resultado de la adición de agregado fino, el 10% es el óptimo, mejora la resistencia a la compresión simple en 45.79 kg/cm², teniendo en cuenta que el coeficiente de permeabilidad que disminuye en 0.337 cm/s; sin embargo, está dentro de la categoría permitido por ACI 522R, el diseño del pavimento de concreto poroso calculado es de un espesor de 15 cm, se tiene una precipitación de 0.176 cm/s por m² y según laboratorio se obtuvo 0.824 cm/s por m², se concluye que el concreto poroso es eficiente referido a la resistencia a compresión y evacua eficientemente el agua.

Palabra clave: Concreto poroso, Drenaje urbano, Resistencia a compresión, Permeabilidad.



ABSTRACT

The present chapter I, has as content the problem of the study, due to its topographic characteristics, for being of little slope causes the stagnation of water in urban roads, squares and parking lots, being a viable alternative to apply the porous concrete as a solution, which has been achieved with the present thesis to determine the efficiency of the porous concrete pavement as an alternative in the urban road drainage of the neighborhood La Capilla - Juliaca. Chapter II, shows the review of the background, which defines the theory for this research. Chapter III, the methodological design is of quantitative approach, applicative level and quasi-experimental design, permeability and compressive strength tests were developed, using cores for mix designs with the spindle-8; fine aggregate was added in quantities of 5%, 10% and 15% with respect to the weight of the materials. Chapter IV, the result of the addition of fine aggregate, 10% is the optimum, improves the simple compressive strength by 45.79 kg/cm², taking into account that the permeability coefficient that decreases by 0.337 cm/s; however, it is within the category allowed by ACI 522R, the design of the calculated porous concrete pavement is 15 cm thick, there is a precipitation of 0.176 cm/s per m² and according to the laboratory it was obtained 0.824 cm/s per m², it is concluded that the porous concrete is efficient in terms of compressive strength and efficiently evacuates water.

Keywords: Porous concrete, Urban drainage, Compressive strength, Permeability.



CAPÍTULO I

INTRODUCCION

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento poblacional y desarrollo urbanístico que hay un cambio muy considerable en los últimos años, como lo menciona Vela & Cruz, (2019, pág. 20), que ocasiona que las ciudades cambien por pavimentos flexibles y rígidos, en donde habían sido terrenos agrícolas y foresta, modificando el ciclo hidrológico, y reduciendo así, de manera considerable, el volumen de agua infiltrada al suelo, lo que incrementa el escurrimiento superficial y a su vez, las amenazas por inundación en las ciudades. Vela & Cruz, (2019), concluye que esta modificación incrementa riesgos poblacionales y presión en fuentes receptoras, que se traducen en inundaciones y pérdidas económicas.

Juliaca, como ciudad de alto tránsito por las actividades económicas que desarrolla, tiene como vías urbanas, calles pavimentadas y no pavimentadas sin un adecuado sistema drenaje pluvial, que, como lo menciona Esquerre & Héctor, (2019), ocasiona el desgaste y fallas en los pavimentos, por lo que hay que considerar como prioridad urbana, vías urbanas con drenaje eficientes. Al respecto, Esquerre & Héctor, (2019), propone como innovación en la gestión de la precipitación y pavimentación vial urbana, los pavimentos porosos o drenantes, cuyo objetivo es reducir los efectos negativos de la escorrentía superficial en las carreteras.

Una solución eficaz a este problema, los lugares urbanos estarán afectados por inundaciones y estancamientos, el desgaste en los pavimentos, afectara el tránsito vehicular y peatonal (Esquerre & Héctor, 2019). La necesidad de plantear una evaluación de los pavimentos porosos como sistema alternativo para el drenaje urbano para el manejo de escorrentías, y de esa manera plantear la implementación de pavimentación.



Esquerre & Héctor (2019), en su investigación indica que su propuesta servirá a las entidades vinculadas al transporte y a la comunidad científica para tener conocimiento de los pavimentos porosos, como una solución en el drenaje vial urbano para el control eficiente del escurrimiento.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

- ¿Cuál es la eficiencia del pavimento de concreto poroso como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio La Capilla – Juliaca?

1.2.2 Problema específico

- ¿Cuál es el diseño de concreto poroso según las propiedades mecánicas de los materiales que conforman las vías, como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio La Capilla – Juliaca?
- ¿Cuáles son las propiedades mecánicas y físicas del concreto poroso como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio La Capilla – Juliaca?
- ¿Cuánto es la cantidad de agua pluvial que evacuará el concreto poroso como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio La Capilla – Juliaca?

1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Hipótesis general

- La eficiencia del pavimento de concreto poroso como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio La Capilla – Juliaca, mejora la evacuación de aguas pluviales.



1.3.2 Hipótesis específicas

- El diseño de concreto poroso según las propiedades mecánicas de los materiales que conforman las vías, como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio La Capilla – Juliaca, es de un espesor de 15 cm.
- Las propiedades mecánicas y físicas del concreto poroso como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio La Capilla – Juliaca, presentan buena resistencia de diseño.
- La cantidad de agua pluvial que evacuará el concreto poroso como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio La Capilla – Juliaca, es favorable.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

En el presente estudio, la ciudad de Juliaca por su ubicación en zona llana de poca pendiente es susceptible a un flujo superficial lento cuyas consecuencias son el encharcamiento anegamiento que perjudica al tránsito peatonal y vehicular; a pesar de tener vías pavimentadas se siguen ocasionando perjuicios a los vecinos, de ahí nace el interés de obtener pavimento de concreto poroso, siendo importante efectuar la presente investigación para determinar la eficiencia del pavimento de concreto poroso como alternativa en el drenaje vial urbano, considerando las principales características de adicionar agregado fino. La información recolectada será para lograr un pavimento de concreto poroso cuya resistencia no supere 175 kg/cm² y a la vez de capacidad de infiltración; para su aplicación y ejecución de pavimentos en los jirones donde no se tiene mucho tráfico vehicular en el barrio La Capilla de la ciudad de Juliaca.



1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

- Determinar la eficiencia del pavimento de concreto poroso como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio La Capilla – Juliaca.

1.5.2 Objetivo específico

- Establecer el diseño de concreto poroso según las propiedades mecánicas de los materiales que conforman las vías, como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio La Capilla – Juliaca.
- Determinar las propiedades mecánicas y físicas del concreto poroso como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio La Capilla – Juliaca.
- Determinar la cantidad de agua pluvial que evacuará el concreto poroso como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio La Capilla – Juliaca.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes internacionales

Según Del Valle Monetti (2018), en su investigación titulada “Hormigón poroso con materiales locales, una contribución para la gestión de las aguas de lluvia”, su objetivo consistió en contribuir en controlar las escorrentías pluviales en zonas urbanas a partir de la elaboración y diseño de concreto poroso utilizando los materiales locales estudiando la capacidad de infiltración, en su metodología se definió de diseño teórico experimental proponiendo adquirir más conocimiento para una pavimentación permeable con concreto poroso para dar alternativas al sistema urbano de drenaje sostenible y la ventaja que lleva en medioambiental. Está incluida su revisión de bases teóricas de los estados de arte en los pavimentos permeables a nivel internacional y local. Cuyos resultados del total de su serie se observaron que no hay valor alguno que está bajo el límite inferior que es 15% y existe 5 series realizadas de las 15 sobrepaso el 25% de porosidad, de esta forma la mayor parte de series resultaron adecuadas porosidades, y es más las series como B, C, K, L y N la porosidad se detectó en valores intermedios o los valores bajos de toda su totalidad. Es posible que sea la utilización de agregado fino al momento de mezclado. Se concluyó que la permeabilidad y la porosidad se puede decir que cuanto más mayor es la porosidad su permeabilidad es mucho mejor. Por otra parte, para determinar la permeabilidad se debería realizar un estudio muy aparte usando otros métodos de algunas cargas constantes y variables para realizar su comparación de resultados esto se debe a que los resultados de antecedentes son diferentes alcanzando a un 1.5 esto va dependiendo a modelos utilizados.



García (2011), en su grado de investigación “Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación a climas mediterráneos”, menciona acerca de grandes descargas de escorrentía pluvial en cortos periodos, estas suscitan en estaciones de otoño donde se registraron los picos más altos de descarga torrencial de lluvias. Este fenómeno en su magnitud tiene relación a la progresiva impermeabilizada del suelo también al anticuado infraestructural de los sistemas de drenaje en lugares urbanos que están consolidados, son las causantes de ocasionar algún impacto negativo en cuanto a la hidrología, medioambiente e hidráulica por el mismo sistema de drenaje y los receptores terminales. el objetivo de su estudio está referida a amortiguar los impactos negativos de los sistemas de drenaje urbanos, manifiestan una elección importante, debido a que permitan mantener control en la calidad y cantidad de las escorrentías pluviales. Como principal objetivo es enfocada al origen fomentando de retención e infiltración de aguas pluviales. En sus resultados se generalizan en la obtención de los rendimientos infraestructurales en relación del parámetro de diseño, para el análisis se llevó a cabo simulando continuamente de las series históricos de las precipitaciones utilizando el software SWMM. Se concluye que desde los resultados que se obtuvieron en escenas que están definidas, donde se obtuvieron ábacos de interpretación sencilla para todos los índices de eficientes estables para que puedan permitir al final el parámetro óptimo de diseño.

Porras (2017), en su investigación indica que la “Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad”, propone en relación al concreto permeable, una metodología que favorece las características de sus componentes (cemento y agregados) a utilizar, y un porcentaje de vacíos como dato de entrada para el producto final. Con una metodología de tipo básica – y de nivel de investigación aplicativo de diseño experimental. La metodología a utilizar recomienda la



norma NRMCA y ACI 522R. el objetivo de su estudio es proponer metodología de diseño, obtener gráficos relacionadas con sus características del concreto y encontrar el óptimo diseño. Se realizaron dos tipos de diseño con diferentes índices de compactación para obtener diferentes porcentajes de vacíos. La resistencia a la compresión uniaxial, del diseño A, a los 28 días, que varía de 14,50 MPa a 19,45 MPa, y el diseño B está entre 12,99 MPa a 13,70 MPa. El ensayo de infiltración, obtenido para una tasa de infiltración promedio es de 108,44 mm/min a 114,87 mm/min. Se concluye que el diseño B es el óptimo y cumple la permeabilidad.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Castromonte et al. (2020), cómo menciona en su artículo “Propuesta de diseño de un pavimento permeable como un sistema innovador ecológico de drenaje en la ciudad de Huaraz-Huaraz-Ancash-2020”, donde nos informa detalladamente al sector público de la construcción de la infraestructura de vías que existen muchas referencias de pavimentos en la actualidad, cabe mencionar el pavimento de concreto poroso que se podría insertar al mercado de la construcción y que aporte beneficiosamente a la ciudadanía. El objetivo principal de la investigación da énfasis en plasmar los puntos de diseño de un pavimento de concreto poroso de distintos autores teniendo en cuenta primordialmente referencias de revistas de artículos científicos de guía como antecedentes que aporte para dicha investigación, como modalidad ecológica de drenaje pluvial en la región de Huaraz, Ancash. La metodología consistió en la recolección de 40 revistas artículos científicos para dar solución a los objetivos específicos que fueron planteados en dicha investigación por otro lado consultando diferentes autores que sean sinónimos referentes al tema. Es importante destacar los resultados referentes a la resistencia, permeabilidad, normativas, diseño de pavimentos de concreto rugoso. Finalmente se concluye en pavimento las alternativas son positivos en el impacto ambiental, social por lo que es recomendable a



considerar el pavimento poroso en jirones de menor transitabilidad de vehículos en la región de Huaraz.

Según Navarro & Leon (2018), en su tesis “Estudio y diseño de pavimentos permeables para estacionamientos de la facultad de ingeniería civil y arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín”, el objetivo principal es evaluar y diseñar el pavimento poroso para la transitabilidad de los diferentes tipos de vehículos. La metodología es de tipo básica-aplicada y el nivel de investigación es aplicativo - explicativo y el diseño es experimental, donde se analiza concretos permeables con componentes de agregado de 3/4” y 3/8” y por otro lado con porcentajes de 10%, 12% y 15% de infiltración. Para tener una buena dosificación y acorde a lo establecido y optima de las cuales se realizaron 36 dosificaciones: 9 testigos con material de 3/4" y con arena, 9 testigos con material de 3/4”, 9 testigos con material de 3/8” y con arena, 9 testigos con material de 3/8”; por otro lado, con distintos % vacíos. Además, se tuvo que realizar una encuesta a los estudiantes, para comprobar y mejorar el estacionamiento de la UNSM. Desde la perspectiva asimismo se hizo un estudio de suelo para el diseño de pavimento rugoso. El Esal del tráfico vehicular y el diseño de pavimento rugoso obteniendo un espesor del pavimento, según el tráfico vehicular el estacionamiento tendrá un espesor de 100 mm, el espesor mínimo según la norma es de 200mm. Al momento de los resultados se determinó un espesor de 20cm de la capa superior del pavimento y un coeficiente de permeabilidad 1.00 carga de transmisión de 3. Finalmente se concluyó y determinó diferentes diseños, hasta descubrir el diseño adecuado, de tal manera ser resistente y permeable o rugoso.



2.1.3 Antecedentes locales

Guerra & Guerra (2020), en su investigación “Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible tiene como finalidad de analizar cómo se desempeña el pavimento poroso frente al drenaje en cuatro tramos de la carretera se está estudiando”. En su metodología el tipo es aplicada su diseño pre-experimental. en el que se realizó el diseño del pavimento poroso siguiendo algunas recomendaciones del AASHTO 93, en el que se añadió tiras de polipropileno en los resultados con respecto al esfuerzo a la compresión se obtuvo 196.95 kg/cm², alcanzando una permeabilidad de 0.463 cm/s. por otro lado los espesores resultantes de la base granular filtrante fue de 30 y 40 cm y de la losa del concreto fue de 20 cm, en los colectores principales la tubería tubo una perforación fue de 15 a 17.5 cm de radio. Llegando a la conclusión de que la aplicación del pavimento poroso es viable y su aplicación para drenar el agua es eficiente, así también cumple con las solicitudes estructurales.

Flores & Pacompia (2015), realizó su tesis con el propósito de “evaluar la incidencia que tiene la incorporación de tiras de plástico en las propiedades del concreto permeable $f'c$ 175 kg/cm² en la ciudad de Puno, la investigación fue de tipo aplicativo con un enfoque explicativo – de diseño cuasi experimental, donde se consideraron dos diseños de mezclas (los cuales difieren en el tamaño del agregado grueso empleado en su diseño), en busca de las mejores características, como mayores valores de resistencia a la compresión y permeabilidades adecuadas”. Realizo su diseño utilizando agregado N° 57 y N° 8 con un T.M. de 1" procedente de la cantera de Cutimbo, sugerido por la norma ACI para el hormigón permeable para tener una mayor resistencia a la compresión. Se muestran los datos que la inclusión porcentual de tiras de polipropileno de 0.3cm x 3 cm en el hormigón permeable producido con granulometría convencional (tamaño N° 8) es apropiada. de (0,05%, 0,10% y 0,15%), concluye que añadiendo fibras incrementa la



resistencia a la compresión en 16.7% y 4.2%. Sin embargo, al añadir 0.15% de fibras baja su resistencia a la compresión en un 4.2%.

2.2 MARCO TEORICO

2.2.1 Concreto Permeable

Concreto poroso (permeable), escaso o nada de agregado fino, aditivos y agua son los principales ingredientes del concreto poroso, que se define como un material de grano abierto con un asentamiento casi mínimo. Estos componentes se unen para crear un material endurecido y con poros entre 2 y 8 mm (0,08 y 0,32 pulgadas) que permiten que el agua se filtre a través de ellos. Con una resistencia media de 2.8 a 28 MPa (400 a 4000 psi), su contenido en huecos puede variar entre el 15% y el 35%. “El flujo del drenaje variará con el tamaño del agregado y la resistencia del agregado para pavimentos permeables, generalmente varia el rango en 2 a 18 gal/min/p²”. (ACI-522R-10, 2015)

2.2.2 Aplicaciones en el pavimento

Según Tennis, Leming (2019), indica que “un pavimento de concreto permeable y su subbase pueden proporcionar suficiente capacidad de almacenamiento de agua para eliminar la necesidad de estanques de retención”, zanjas y otras estrategias de contención de escorrentía de precipitaciones. Este proporciona un uso más eficiente de la tierra y es un factor que ha llevado a un nuevo interés en el concreto permeable. Otras aplicaciones que aprovechan la alta tasa de flujo a través del concreto permeable incluyen medios de drenaje para estructuras hidráulicas, estacionamientos, canchas de tenis, invernaderos y capas base permeables debajo de pavimentos de alta resistencia. Su alta porosidad también le confiere otras características útiles: es aislante térmico (por ejemplo, en paredes de edificios) y tiene buenas propiedades acústicas (para paredes de barrera de sonido).

Aunque los pavimentos son la aplicación dominante del hormigón permeable en los Estados Unidos, también se ha utilizado como material estructural durante muchos años en Europa. Las aplicaciones incluyen muros para casas de 2 pisos, muros de carga para edificios de gran altura (hasta 10 pisos), paneles de relleno para edificios de gran altura, espigones marinos, carreteras y estacionamientos.

Todas estas aplicaciones aprovechan los beneficios de las características del hormigón permeable. Sin embargo, para lograr estos resultados, el diseño de la mezcla y los detalles de construcción deben planificarse y ejecutarse con cuidado.

- Pavimento poco transitado.
- Carreteras residenciales
- Callejones y jirones
- Aceras y caminos
- Estacionamientos

Figura 1

Pavimentos permeables en zonas residenciales



Fuente: obtenido de (Tennis, Leming, 2019) pág. 3

Figura 2

Pavimento permeable en caminos y aceras



Fuente: obtenido de (Tennis, Leming, 2019) pág. 3

2.2.3 Pavimento poroso: Ventajas y desventajas

a) Ventajas

- Evita que los pavimentos se inunden y encharquen durante la temporada de lluvias.
- Durante la precipitación mejorará la calidad de servicios, vehiculares y peatonales.
- Controla las escorrentías de aguas pluviales.
- Reducir en zonas la retención de agua para aumentar las opciones de aparcamiento.

b) Desventajas

- Se recomienda no realizar en lugares donde hay hielo y deshielo.
- Cuando hay bastante arrastre de sedimentos o con alta contaminación no es aplicable.



- Cuando no se realiza el mantenimiento adecuado, las malas hierbas empezaran a tapar y disminuirá el drenaje.
- El concreto poroso es bastante sensible a la segregación, será importante efectuar un buen curado, en la fase de fabricación del concreto poroso.

2.2.4 Componentes

a) Materiales

El concreto poroso es conocido también como concreto hidráulico; tiene muchas propiedades con el hormigón básico y se compone de cemento, agua, aire y árido grueso, pero se excluye el árido fino. Esta combinación forma un agregado de pasta de cemento con partículas gruesas donde entran en contacto. Esta estructura crea grandes poros.

b) Cemento

ACI-522R-10 (2015), considera que el “cemento portland que debe cumplir las normas ASTM C150, C595 y C1157. Los materiales suplementarios como la ceniza volante, el cemento de escoria y el humo de sílice, así mismo deben satisfacer los requisitos según las normas ASTM C618, C989 y C1240”.

Tennis, Leming (2019), indica en su investigación que al “añadir más cemento hará que el concreto sea más resistente, pero también hará que el porcentaje de vacíos del concreto poroso disminuya, reduciendo su capacidad de infiltración, recomienda utilizar valores que estén de 270 a 415 kg/m³”.

c) Agregados

Según la norma ACI-522R-10 (2015), recomienda “que las granulometría del agregado, deben de cumplir la exigencia con respecto al tamaño y gradaciones según la



norma ASTM C33 o ASTM D448; estas son No. 67 (3/4 a No. 4), No. 7 (1/2 a No. 4) y No 8 (3/8 a No. 4)".

Según el manual (MTC E-204-2000), indica que los "agregados se tamizan en N°4 (4,75 mm), para separar agregados finos y gruesos. Para este proyecto de investigación se usó el tamiz número N°4 para dividir los agregados gruesos y finos posteriormente realizar los ensayos para cada uno".

d) Propiedades físicas

Los datos obtenidos de las pruebas realizadas en laboratorio permiten conocer sus características físicas de los agregados, efectuar un diseño aceptable de concreto poroso, según el informe, los resultados pronostican su comportamiento tanto durante el mezclado del concreto como en el producto final. Los ensayos se ejecutaron basados a la norma (MTC E204-2000, 2016).

e) Agua

Para producir concreto poroso, el agua a utilizar debe tener las mismas características que se utilizan en la producción del concreto convencional, cumpliendo las exigencias de la ASTM C 109M. Debería cumplir los requisitos mínimos del agua potable.

2.2.5 Propiedades: concreto poroso

2.2.5.1 Propiedades: estado fresco

a) Trabajabilidad

La trabajabilidad del concreto poroso recién mezclado, según el comité ACI 309R, es aquella cualidad que rige la facilidad y uniformidad con que puede mezclarse, transportarse, colocarse, compactarse y completarse.

b) Consistencia

La consistencia es el grado en que el concreto recién mezclado adopta fácilmente una forma, requiere de:

- Agua de amasado
- Tamaño del agregado
- El método de compactación depende mucho de la forma que pueda tener los agregados, como indica (Porras, 2017).

2.2.5.2 Propiedades: estado endurecido

a) Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del concreto se refiere a su capacidad para soportar los esfuerzos, por las cargas que soportan las construcciones. Para el concreto poroso, “las propiedades son principalmente afectadas por el diseño de la mezcla y el método de compactación”, indica la norma (ACI-522R-10, 2015).

ACI-522R-10 (2015), señala que “los principales factores que afectan a la resistencia a la compresión del concreto poroso”. Estas pueden variar los resultados, aditivos, tamaño de agregados, módulo de finura, polimeros y grado de compactación. También el (a/c) como el volumen total de cemento afectan a la resistencia y al % vacíos.

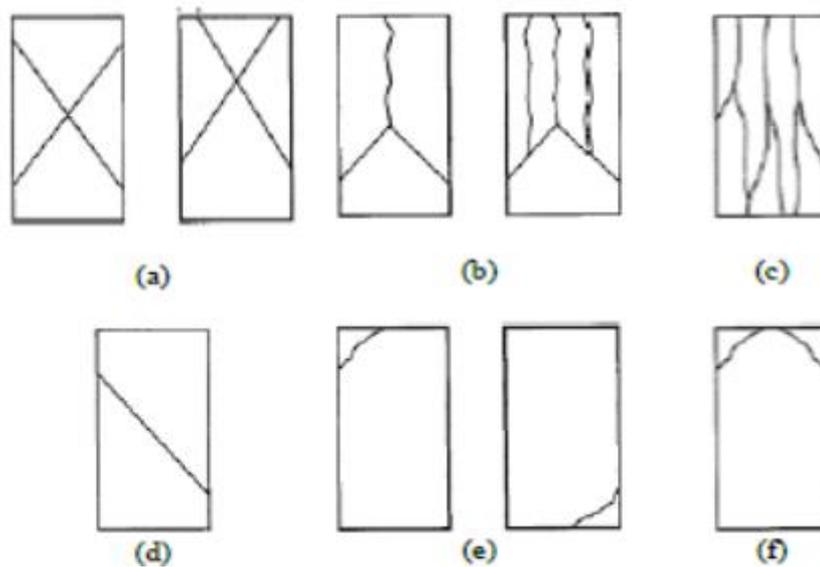
La resistencia a la compresión de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, se plantea para lugares de bajo tránsito vehicular, para ello en esta investigación se propone para zonas residenciales y para parques en donde no se tiene mucho tráfico vehicular.

Según la norma C.E. 0.10 indica que los pavimentos especiales deben cumplir con la resistencia de $f'c = 175 \text{ (kg/cm}^2)$ mayor o igual para un tipo de concreto de cemento portland.

Se basará en la norma ASTM C39, ya que no existe ninguna otra específicamente para las pruebas de compresión para el concreto poroso.

Figura 3

Tipos de fallas de pruebas cilíndricas estándar



Fuente: ASTM C-39

- (A) Cono con aristas vivas
- (b) Grietas verticales en un extremo y cono bien formado
- (c) Conos mal formados y fracturas columnares.
- (d) Quiebre diagonal sin fisura
- (e) En la parte superior o inferior presenta quiebres laterales
- (f) En la parte superior presenta quiebres laterales

Para efectuar la resistencia a la compresión el molde será, con una altura al doble de su diámetro. La definición de (f'_c) es la resistencia promedio de al menos dos probetas capturadas del mismo espécimen y evaluadas a los 28 días. La norma ASTM detalla este procedimiento C-192-90 a y C-39-93.

2.2.5.3 Compactación del concreto poroso

El concreto poroso se compacta con un rodillo para crear una superficie adecuada y una unión sólida de la pasta de cemento entre los agregados.

Figura 4

Compactación con rodillo



Fuente: obtenido de (Tennis, Leming, 2019) pág. 19

La energía de compactación deberá ser de 0.7 kg/cm^2 indicada por (ACI-522R-10, 2015). El rodillo debe de ser con un área capaz de cubrir un ancho de 3.70 m el peso debe ser de 270 a 320 kg.

A los 15 minutos después de la vibración de impacto debería ser el tiempo máximo para la pasada del rodillo. La textura abierta de la mezcla provoca un alto índice de pérdida de humedad y un rápido inicio del fraguado. El rodillo no compactará el concreto al nivel deseado si ya se ha endurecido. Además, pasar el rodillo tarde provoca grietas en la superficie del mortero y aumenta el riesgo de fallos posteriores. Tras la compactación, normalmente no se requieren actividades de acabado, aunque no se aconsejan las operaciones de pulido, ya que podrían obstruir o sellar la superficie porosa del concreto poroso, reduciendo su permeabilidad.



2.2.6 Diseño estructura del pavimento poroso

2.2.6.1 Sub base

Mata (2010), señala que “está conformada por material granular o material estabilizado. Forma parte de la estructura de los pavimentos, los materiales de sub-base son más económicos, por tener una calidad inferior a la base, comúnmente consta de una capa compactada de material granular, o una capa de suelo tratada con un estabilizante adecuado”. Los materiales para la capa de base se diferencian frecuentemente entre sí por especificaciones más suaves, como resistencia, plasticidad, tipos de aditivos y gradación, además de su ubicación en el pavimento.

2.2.6.2 Geomembrana de HDPE (impermeabilizante)

Para la retención del agua de lluvia, se debe colocar una geomembrana impermeable, para proteger la sub base. Para determinar el tamaño en función de la carga aplicada y la resistencia a la perforación, el fabricante debe facilitar estos datos. Los revestimientos de geomembrana incluyen cualidades mecánicas y de resistencia a la tracción elevadas. La Geomembrana Liner HDPE anti filtración tiene unas propiedades mecánicas de alta resistencia a la tracción. Su excelente elasticidad y deformabilidad lo hacen muy adecuado para la expansión o contracción de la superficie de la base. Supera el asentamiento desigual de la superficie de la base (Castro, 2011).

2.2.6.3 Subrasante

La sección de una carretera que soporta las capas del pavimento se denomina subrasante; como tal, debe poseer cualidades estructurales para garantizar que los materiales elegidos, deberá ser consistente y que su resistencia sea homogénea para evitar que el pavimento no tenga fallas. En algunos casos, la superficie del suelo crea por sí sola



esta capa. En otras situaciones, cuando el suelo del emplazamiento es de muy mala calidad en su estado natural, será esencial mejorarlo y estabilizarlo con la finalidad de tener una subrasante buena indica (Mata, 2010).

2.2.7 Permeabilidad del concreto poroso

ACI-522R-10 (2015), recomienda que las pruebas se realicen en probetas cilíndricas de 30cm por 15cm. La prueba de permeabilidad, por lote, se realizó en una cantidad de 19 cilindros de 10.16 cm de diámetro por 11.64 cm de altura. Los cilindros se envolvieron en plástico antes de comenzar el ensayo para que quedaran más ajustados dentro del permeámetro, garantizar que no hubiera fugas laterales y evitar que se filtrara agua entre el tubo y la probeta durante todo el ensayo.

Se decidió utilizar un cilindro más pequeño ya que es posible obtener los datos. La ACI también aconseja realizar las mismas pruebas en cilindros de 10 por 20 cm, ya que es probable que proporcionalmente se obtengan características de compactación y densidad comparables. Un total de 19 cilindros de 10.16 cm de diámetro y 11.64 cm de altura constituyeron cada prueba de permeabilidad. Los cilindros se envolvieron en plástico antes de comenzar la prueba para que encajaran mejor dentro del permeámetro, garantizar que no hubiera fugas laterales y evitar que se filtrara agua entre el tubo y la probeta durante toda la prueba.

Prueba de carga variable

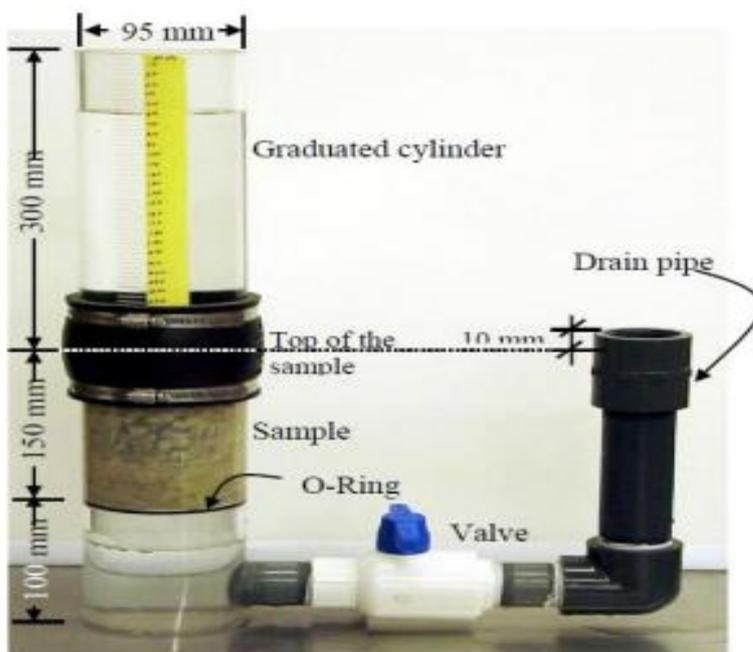
La prueba de permeabilidad de carga variable establece para suelos, arenosos, arcillas y limos. “En estos suelos el flujo de agua es tan pequeño que el permeámetro de carga constante no es lo suficientemente preciso, y el coeficiente de permeabilidad varia 10^{-3} a 10^{-7} cm/s”, es lo indica (Yelo Díaz, 2015, pág. 6).

Prueba de carga constante

Braja M. Das (2013), indica que la “prueba de permeabilidad de carga constante es cuando el suministro de agua a la entrada se ajusta de tal manera que la diferencia de la carga entre la entrada y la salida se mantiene constante durante el periodo de prueba” y el coeficiente de permeabilidad varía 10^2 a 10^{-3} cm/s.

Figura 5

Para realizar el ensayo de permeabilidad



Fuente: ACI 522R

El permeámetro que fue construido en su investigación estaba formado por un tubo transparente de 50 cm de longitud con un diámetro interior de 5.6 cm y un diámetro de 10.16 cm donde se encuentra la probeta que se va a ensayar. La válvula de diámetro de 1.27 cm acoplada en el espacio de la probeta que conduce a un tubo vertical por el que puede salir el agua. “La parte superior de este tubo está colocado 1 cm por encima de la parte superior de la muestra de modo que no se produce flujo no saturado durante la prueba” como indica la norma (ACI-522R-10, 2015).



ACI-522R-10 (2015), indica que “el concreto poroso suele tener un coeficiente de permeabilidad de entre 0,14 y 1,22 cm/s. La prueba del permeámetro de carga constante puede utilizarse para medir la permeabilidad del concreto poroso”. La prueba sugerida es por la norma (ACI-522R-10, 2015), que permite aplicar la ley de Darcy para obtener su permeabilidad en (mm/s):

$$k = \frac{L}{A} * \frac{a}{A} * Ln \frac{h1}{h2}$$

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

2.2.8 Aspecto hidrológico

Es el estudio de qué manera se comporta el agua en los entornos urbanos y cómo interactúa con la ciudad. Al haber tantas superficies impermeables, como los pavimentos, han surgido problemas de drenaje, y esta ciencia pretende identificar y resolver estos problemas, lo que indica (Bateman, 2007, pág. 10).

a) Precipitación

Es la fase del ciclo hidrológico, es el proceso por el que el agua desciende de la atmósfera a la superficie; se presentan de la siguiente forma:

- Lluvias
- Granizadas



- Nevadas
- Garuas

“La precipitación es la principal fuente de agua en la superficie terrestre, y su medición y análisis constituyen el punto de partida de los estudios relativos al uso y control del agua” indica (Villon, 2002, pág. 30).

b) Pluviómetro

Las precipitaciones se miden mediante pluviómetros, para que funcionen correctamente, hay que tener en cuenta varios factores que se enumeran:

- El diámetro del orificio no debe ser menor a 3 cm del dispositivo de captación.
- Pueden estar enterrados o colocados a 1 m del suelo los pluviómetros. El protector contra viento nunca mejora la precisión de la medición.
- Los pluviómetros deben fijarse en espacios abiertos y sin obstáculos en el interior de la sección cónica ficticia creada inclinando el vértice del pluviómetro y las proyecciones de las generatrices en un ángulo de 45 grados con respecto al suelo. (Breña & Jacobo, 2006, pág. 65)

SENAMHI proporcionó los datos, la precipitación será evaluado, con la finalidad de que el concreto poroso será capaz de evacuar las aguas pluviales, se demostrará en los datos obtenidos de la permeabilidad del concreto poroso. La información es coherente los datos para este estudio en la estación meteorológica de Juliaca.

2.2.8.1 Drenaje subterráneo

Asenjo & Davila (2020), indica que los “subdrénes eliminan el agua de lluvias, de riego y de otros que se puedan originarse. Reduciendo la presión de poros e impide que aumente y en consecuencia de esta disminución la resistencia del suelo se incrementa.



Según la norma N-CTR-CAR-1-03-009/00, indica que los subdrenes consisten evacuar en tuberías perforadas, con la finalidad de recolectar las aguas de lluvia y evacuar”.

- Subdrenes longitudinales: es aquel que se instala paralelo al eje de la vía.
- Subdrenes transversales: se construyen perpendicular al eje de la vía.

2.2.9 Método AASHTO 93

AASHTO(1993), indica que en “una losa de concreto simple o armado apoyada directamente sobre una base o subbase constituye un pavimento de hormigón o pavimento rígido en su forma básica”. La losa absorbe la mayor parte de las tensiones ejercidas sobre el pavimento debido a su rigidez y a su elevado módulo de elasticidad, como consecuencia, las cargas de las ruedas se distribuyen uniformemente y la subrasante experimenta relativamente poca tensión”.

2.2.9.1 Factores de diseño del pavimento

Los factores o parámetros para determinar el espesor del pavimento rígido deben analizarse numerosos aspectos, como el drenaje, tráfico, el clima y las características del suelo, para el diseño de la carretera. Todos estos elementos son necesarios para prever una estructura del pavimento.

AASHTO, indica el siguiente procedimiento para calcular el espesor:



$$\log(W18) = Z_r * S_0 + 7.35 * \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{\frac{1.624 * 10^7}{(D + 1)^{8.46}}}$$

$$+ (4.22 - 0.23Pt) * \log\left[\frac{S_c * C_d * (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 * \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{EC}{K}\right]^{0.25}}\right]}\right]$$

- W18 = Número de cargas 18 kips (80 kN).
- ZR = Valor de Z para una confiabilidad R (área debajo de la curva de distribución).
- S0 = Desviación estándar de variables.
- D = Grosor del pavimento en pulg.
- ΔPSI = En el diseño se prevé la pérdida de serviciabilidad.
- Pt = La final de serviciabilidad que tendrá.
- S'c = Módulo de rotura del concreto (psi).
- J = Coeficiente de transferencia de carga.
- Cd = Coeficiente de drenaje
- EC = Módulo de elasticidad del concreto (psi).
- K = Módulo de reacción de la subrasante, (psi/pulg).

2.2.10 Estudio de Topografía

El estudio topográfico Según (Gamez, 2015), la topografía se encarga de calcular las longitudes del terreno y recopilar información para su representación gráfica, así como sus características que presenta relieve y formas. Recordemos también que la topografía mide ángulos y establece puntos a partir de ángulos y distancias previamente establecidos



(replanteo) para estimar las distancias verticales y horizontales entre objetos y puntos de la superficie.

2.2.11 Estudio Geotécnico

Estudia las características físicas del suelo y las masas del suelo, responden a diversos tipos de tensiones es el tema de la mecánica del suelo, una aplicación de la ciencia física. La aplicación de la mecánica del suelo a problemas del mundo real se conoce como ingeniería del suelo. El campo de la ingeniería civil conocido como “ingeniería geotécnica se centra en las características mecánicas e hidráulicas de los suelos y las rocas, tanto en la superficie como en el subsuelo” (Braja M. Das, 2013).

Dado que la mayoría de los proyectos de carreteras emplean la geología para para efectuar estudios de suelos que se utilizarán para los proyectos, el análisis geotécnico es crucial para el éxito de estos proyectos. “Conocer las características físicas y mecánicas del suelo es importante para el diseño de pavimento, ya que nos ayudará a comprender el comportamiento del suelo”, indica en su investigación (Guerra & Guerra, 2020, pág. 6).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

Se efectuó con probetas cilíndricas de (6" x 12") y (4"x8") de concreto poroso, se le adicionó agregado fino en diferentes porciones de 5%, 10% y 15% en relación con el peso del material, a diferencia de un concreto poroso típico fabricado sin agregado fino.

Se efectuaron los siguientes ensayos: separación de agregados, granulometría, contenido de humedad, absorción, abrasión de los ángeles, peso unitario, peso específico, fabricación de especímenes, capping de especímenes, resistencia a la compresión simple y permeabilidad, así mismo se efectuaron diferentes pruebas en el laboratorio de suelos: granulometría, proctor modificado, contenido de humedad y CBR, las cuales fueron realizados en la EPIC.

3.2 DURACIÓN DEL ESTUDIO REALIZADO

El estudio de esta tesis fue realizado durante los meses de enero del 2023 a julio del 2023.

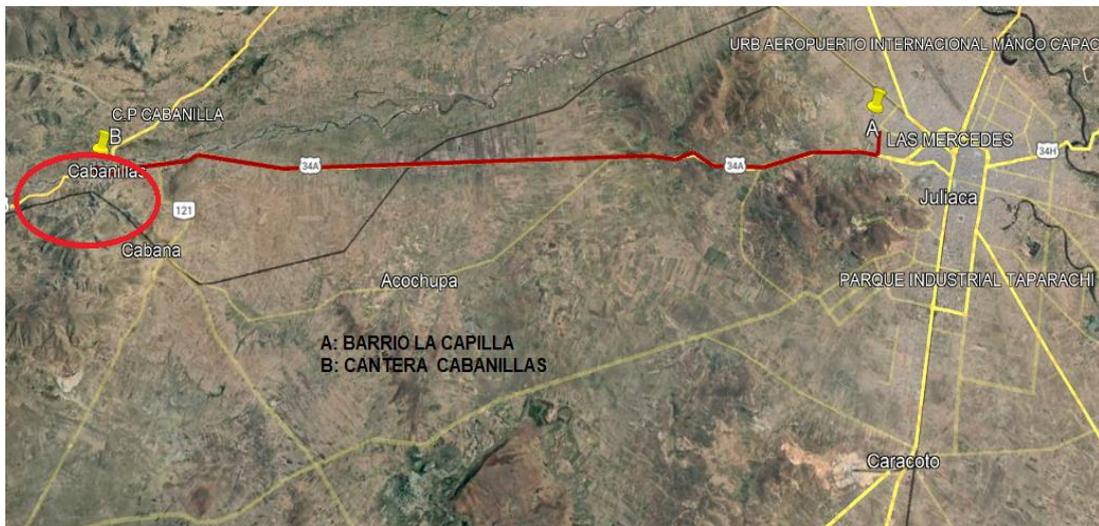
3.3 PROCEDENCIA DEL MATERIAL A UTILIZAR

La carretera Juliaca - Cabanillas da acceso a la cantera de Cabanillas, que se encuentra en una distancia de 38 kilómetros de Juliaca, ciudad de donde se extrajeron los agregados finos y gruesos.

- Coordenada Este 354895.00m E
- Coordenada Norte 8270266.0m S.

Figura 6

Ubicación geográfica: cantera Cabanillas



Nota: Se muestra en la imagen la ubicación de la cantera, lugar donde se plantea el estudio, fue obtenido de Google Earth consultado en abril 2023

3.4 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.4.1 El enfoque de la investigación

Hernández et al. (2014), indica el “enfoque cuantitativo está centrado en obras de Auguste Comte y Émile Durkheim. Según la investigación cuantitativa, el conjunto de conocimientos debe ser objetivo y se produce mediante un proceso deductivo en el que se examinan hipótesis previamente articuladas a través de mediciones numéricas y análisis estadísticos inferenciales”.

La presente propuesta de investigación corresponde a una investigación de enfoque cuantitativo.

3.4.2 Nivel de investigación

Tamayo (2010), afirma en su investigación que los estudios de nivel aplicativo, se emplea fundamentalmente materiales que generan cambios en donde se implementa, es



decir hay una mejora en su uso, teniéndose diversificaciones favorables, así mismo se hará una descripción detallada de los procedimientos empleados conseguir todos los objetivos planificados.

La presente investigación corresponde a una investigación Aplicativo.

3.4.3 Tipo de diseño

Hernández et al. (2014), detalla que la investigación “cuasi-experimental, se manipula deliberadamente, al menos, una variable independiente para observar su efecto de una o más variables dependientes, sólo que difieren de los experimentos puros en el grado de seguridad que pueda tenerse sobre la similitud inicial de los grupos. En los diseños cuasi-experimentales”, los grupos de individuos se crean de antemano en lugar de emparejarse o asignarse a ellos aleatoriamente.

Para conseguir los objetivos de la tesis, se desarrollará el diseño de investigación cuasi-experimental, en donde se experimentará el concreto poroso para ver la eficiencia del pavimento poroso.



3.4.4 Población y muestra

3.4.4.1 Población

Cantidades de probetas cilíndricas de concreto poroso sin agregarle agregado fino; se añadieron agregado fino en cantidades de 5%, 10% y 15% respecto al peso de los componentes constituyen la población del presente estudio. Para la prueba de resistencia a la compresión, se emplearon probetas cilíndricas de 6" x 12" y 4" x 8" de especímenes para determinar su permeabilidad.

3.4.4.2 Muestra

Según (ACI-522R-10, 2015), indica utilizar la misma muestra de concreto y curada a 28 días, para calcular f'_c , el ensayo de resistencia a la compresión será la media de las resistencias por lo menos 2 testigos de concreto con magnitudes de 15 por 30 cm por lo menos tres especímenes de dimensiones 10 por 20 cm.

La cantidad de muestra determinada es de 36 probetas cilíndricas de concreto poroso con dimensiones de 6" x 12" para la prueba de resistencia, y 12 testigos de concreto con dimensiones de 4" x 8" adecuadas para el ensayo de permeabilidad.



Tabla 1

Tamaño de muestra: Ensayo de compresión simple

Resistencia a la compresión simple			
Tipo de concreto poroso	Periodo de curado		
	7 días	14 días	28 días
Concreto poroso H-8	3	3	3
Concreto poroso H-8 + 5% fino	3	3	3
Concreto poroso H-8 + 10% fino	3	3	3
Concreto poroso H-8 + 15% fino	3	3	3
Sub total	12	12	12
TOTAL		36	

Nota: Se muestra en la tabla cantidad de testigos a elaborarse para determinar su compresión axial.

Tabla 2

Tamaño de muestra: Ensayo de permeabilidad

Prueba de permeabilidad	
Tipo de concreto poroso	Tiempo de curado
	7 días
Concreto poroso H-8	3
Concreto poroso H-8 + 5% fino	3
Concreto poroso H-8 + 10% fino	3
Concreto poroso H-8 + 15% fino	3
Sub total	12
TOTAL	12

Nota: En la tabla se puede apreciar cantidad de especímenes a elaborarse para realizar el ensayo de permeabilidad.

3.5 METODOLOGÍA CUASI EXPERIMENTAL

3.5.1 Extracción de agregados

Los agregados para este proyecto se extrajeron de la cantera de Cabanillas se realizó manualmente, el material se trasladó en una camioneta hasta el laboratorio.

Figura 7

Extracción de los agregados



Nota: En la figura se puede apreciar la extracción de agregados de la cantera de Cabanillas manualmente.

Una vez obtenido los agregados se procedió a secarlos, después se zarandó, para obtener agregado fino y grueso para posteriormente realizar todos los ensayos para caracterizar.

Figura 8

Separación de los agregados por la malla N°4



Nota: Se aprecia en la figura, separación de agregado fino y grueso utilizando el tamiz N° 4.

3.5.2 Ensayo de contenido de humedad

La prueba fue realizada teniendo en cuenta la MTC E 108-2000, contenido de humedad de agregados finos y grueso.

Equipos utilizados

- Balanza
- Horno
- Envase para la muestra (debidamente codificadas)



Procedimiento

Para elegir una muestra representativa, primero se procedió a dividir el material en 4 partes iguales, posterior es colocado en un envase. Se pesó junto con el material húmedo y luego se introdujo en el horno durante 24 horas. A continuación, se pesa el material seco después de enfriarlo durante 30 minutos aproximadamente.

Para tener un promedio se tomaron 3 muestras para que el ensayo sea más confiable, con la siguiente fórmula se obtuvo el resultado:

$$w\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

W%: porcentaje de contenido de humedad

Ww: peso del agua en la muestra

Ws: peso de la muestra seca

Tabla 3

Contenido de humedad: agregado fino

AGREGADO FINO			
Numero de Tara	E-1	E-2	E-3
Peso de tara	61.44	60.18	54.06
Peso de Tara +M. Humedad	550.62	560.4	570.71
Peso de Tara +M. Seca	539.46	548.14	558.61
Peso de Agua	11.16	12.26	12.1
Peso de muestra seca	478.02	487.96	504.55
W%	2.33	2.51	2.40
Promedio de W%	2.42		

Nota: Se muestra en la tabla datos de la prueba de contenido de humedad del agregado fino.

Tabla 4

Contenido de humedad: agregado grueso

AGREGADO GRUESO			
Nro. De Tara	E-1	E-2	E-3
Peso de tara	132.14	113.8	117.54
Peso de Tara +M. Humedad	2123.48	2121.45	2118.72
Peso de Tara +M. Seca	2095.18	2090.46	2090.84
Peso de Agua	28.3	30.99	27.88
Peso de muestra seca	1963.04	1976.66	1973.3
W%	1.44	1.57	1.41
Promedio de W%	1.47		

Nota: En la tabla se puede apreciar el resultado de la prueba de contenido de humedad de agregado grueso.

Figura 9

Ensayo: contenido de humedad



Nota: En la imagen se puede apreciar puesto al horno para determinar su contenido de humedad para los agregados.



3.5.3 Ensayo: absorción y peso específico del agregado fino

Para esta prueba se efectuó siguiendo la MTC E 205–2000; para obtener su absorción del agregado fino y la densidad relativa (peso específico).

Equipo utilizado

- Balanza
- Picnómetro
- Envase
- Barra compactadora y molde
- Horno
- Cucharon
- Embudo

procedimiento

Para saturar completamente el material, se sumergió en agua una muestra de unos 2 kg de agregado fino durante 24 horas.

Una vez empapado el material, se decantó suavemente el agua y se inició el procedimiento de secado. El material se colocó en una bandeja metálica y se calentó utilizando una estufa con gas regulable mientras se removía regularmente con el uso de un cucharón para garantizar que el proceso fuera lo más homogéneo posible.

Figura 10

Secado de agregado fino



Nota: En la imagen se aprecia el secado del material para alcanzar el estado de saturado superficialmente seco.

Tras llenar cuidadosamente el cono de absorción con el material y aplicar 25 golpes suaves en la superficie, se levantó el cono y se confirmó el desmenuzamiento inicial, lo que indicaba que el árido fino se encontraba en estado seco superficial saturado (S.S.S.).

Figura 11

Desmoronamiento S.S.S. del material fino



Nota: En la imagen se puede apreciar el primer desmoronamiento se observa el estado de S.S.S.

Se recogió el material sobrante del procedimiento anterior y se añadieron 500 gramos al picnómetro después de pesarlo debidamente. Después de haber llenado el agua al 90% de su capacidad y de haber liberado el aire atrapado mediante la rotación del picnómetro, se hizo funcionar el baño de agua durante una hora.

Figura 12

Pesado del material S.S.S.: agregado fino



Nota: En la imagen se puede apreciar el pesado del material S.S.S. de 500 gr.

A continuación, se llenó el picnómetro hasta al 100% de su cabida, se pesó, a su vez se decantó el agua y se retiró el agregado fino a un recipiente para secarlo en un horno durante 24 horas. Se obtuvo su peso seco, como se muestra en la figura siguiente.

Figura 13

Tratamiento de burbujas de aire



Nota: Se puede apreciar en la imagen el proceso de eliminación de aire girando constantemente durante 15 minutos.

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



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

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

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

(A) Peso de la muestra seca

(B) Peso del agua + peso del picnómetro

(C) peso de la muestra + peso del agua + peso del picnómetro

(S) Peso de la muestra superficialmente seca saturada

Tabla 5

Datos para la gravedad específica: agregado fino

ABSORCION Y PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO	
S Peso de la muestra superficialmente seca	500.00
B Peso del agua + Peso del picnómetro	664.24
C peso del picnómetro + Peso de la arena superficialmente seca + peso del agua	966.03
A Peso seco	481.70
Tara + peso seco	563.68
Peso de tara	81.98

Nota: Los datos del ensayo de la gravedad específica del agregado fino se presenta en la tabla.



Tabla 6

Resultados: absorción y peso específico del agregado fino

RESULTADOS		
1	Peso específico aparente ($A/(B+S-C)$)	2.43
2	Peso específico aparente (SSS)	2.52
3	Peso específico nominal	2.68

Nota: Se aprecia los datos obtenidos de la prueba de gravedad específica del agregado fino.

3.5.4 Ensayo de absorción y peso específico del agregado grueso

Tomando referencia la norma (MTC E 206 –2000) se efectuó la prueba, para obtener la absorción y peso específico.

Equipo utilizado

- Balanza
- Envase para muestra
- balde de agua
- Tamiz (N° 4)
- Horno
- Franela
- Canastilla para pesar muestra sumergida.

Procedimiento

Para un TMN de 1 1/2", se eligió la muestra más representativa de 3 kg. Tras 24 horas en remojo, la muestra se retiró con cuidado y el agregado se vertió suavemente sobre una franela absorbente.

Figura 14

Secado de agregado: grueso para S.S.S.



Nota: En la imagen se puede observar el estado S.S.S. del agregado grueso.

Después, se secó manualmente hasta alcanzar su estado de saturación. Se tomó una porción de la muestra de S.S.S., unos 2000 gr, y se pesó. A continuación, este material se añadió a un envase que se sumergió al agua y se sujetó de una balanza; se obtuvo su peso sumergido. El mismo agregado se colocó en una bandeja y se horneó durante 24 horas, lo que permitió determinar su peso en seco.

Figura 15

Pesado para S.S.S.



Nota: Se puede apreciar en la figura pesado del agregado grueso en S.S.S.

Figura 16

Pesado de material sumergido S.S.S.



Nota: En la imagen se puede observar el pesado del agregado grueso en S.S.S. sumergido en la canastilla.

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



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

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

Indica que:

(A) Peso al aire del agregado (gr.).

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

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

Tabla 7

Datos para la gravedad específica: agregado grueso

Resultados	
Peso seco. (mayor a 1500gr. 2000gr.)	1944.54
Peso saturada superficialmente seca gr.	2000.00
Peso de canastilla sumergida	857.37
Peos SSS sumergida +canastilla	2069.14
Peso SSS sumergida en agua	1211.77
Peso seco + tara (24hrs)	2084.42
Peso de la tara	139.88

Nota: Se aprecia los datos obtenidos en la tabla de la prueba de absorción y peso específico del agregado grueso.



Tabla 8

Resultados de la absorción y peso específico: agregado grueso

Resultados		
1	Peso específico aparente ($A/(S-C)$)	2.47
2	Peso específico aparente (SSS)	2.54
3	Peso específico nominal	2.65
4	Porcentaje de absorción: $((S-A)/A)*100$	2.85

Nota: Se aprecia el resultado en la tabla el porcentaje de absorción y peso específico aparente.

3.5.5 Ensayo: peso unitario y % vacíos de los agregados

Para esta prueba se toma en cuenta la (MTC E 203 –2000); para calcular los vacíos de los agregados, densidad (peso unitario), también la unidad de volumen de la masa.

Equipo utilizado

- Balanza.
- Varilla lisa de acero.
- Brocha.
- Envase (olla de Washington).
- Cucharón.

Procedimiento

El molde que más se acercó a las recomendaciones de la prueba fue uno cilíndrico. Su peso y tamaño se eligieron para poder obtener el volumen deseado.

El material se añadió al molde en tres capas iguales y se apisonó 25 veces sin tocar la capa anterior para determinar el peso unitario compactado. Después se enrasó con la misma varilla y luego se procedió a pesar el molde relleno de agregados.

El proceso es el mismo para calcular el peso unitario suelto del agregado, con la diferencia de que no se usó el apisonador, la muestra se deja caer utilizando un cucharón, de 2" de altura.

Tabla 9

Peso unitario suelto: agregado fino

Molde N°	I	II	III
Peso del molde (gr.)	3465.00	3465.00	3465.00
Peso del material + molde (gr.)	14595.00	14605.00	14615.00
Peso del material (gr.)	11130.00	11140.00	11150.00
Volumen del molde (cm ³)	7052.49	7052.49	7052.49
Peso unitario (gr/cm ³)	1.58	1.58	1.58
Promedio (kg/m ³)	1580		

Nota. Se puede apreciar los datos obtenidos al realizar la prueba de peso unitario suelto del (agregado fino).

Tabla 10

Peso unitario compactado: agregado fino

Molde N°	I	II	III
Peso del molde (gr.)	3465.00	3465.00	3465.00
Peso del material + molde (gr.)	15480.00	15535.00	15520.00
Peso del material (gr.)	12015.00	12070.00	12055.00
Volumen del molde (cm ³)	7052.49	7052.49	7052.49
Peso unitario (gr/cm ³)	1.70	1.71	1.71
Promedio (kg/m ³)	1708		

Nota. Se puede apreciar el resultado obtenidos en la tabla al ejecutar la prueba de peso unitario compactado del (agregado fino).



Tabla 11

Peso unitario suelto: agregado grueso

MOLDE N°	I	II	III
Peso del molde (gr.)	3465.00	3465.00	3465.00
Peso del material + molde (gr.)	14345.00	14295.00	14390.00
Peso del material (gr.)	10880.00	10830.00	10925.00
Volumen del molde (cm ³)	7052.49	7052.49	7052.49
Peso unitario (gr/cm ³)	1.54	1.54	1.55
Promedio (kg/m ³)		1542	

Nota. Se presenta el resultado obtenido en la tabla al ejecutar la prueba de peso unitario suelto.

Tabla 12

Peso unitario compactado: agregado grueso

Molde N°	I	II	III
Peso del molde (gr.)	3465.00	3465.00	3465.00
Peso del material + molde (gr.)	15085.00	15025.00	15250.00
Peso del material (gr.)	11620.00	11560.00	11785.00
Volumen del molde (cm ³)	7052.49	7052.49	7052.49
Peso unitario (gr/cm ³)	1.65	1.64	1.67
Promedio (kg/m ³)		1653	

Nota. Se presenta los datos obtenidos en la tabla al ejecutar la prueba de peso unitario compactado.

Figura 17

Varillado: agregado fino



Nota: Se muestra en la figura varillado en el ensayo de peso unitario para el agregado fino.

Figura 18

Pesado de material compactado: agregado grueso



Nota: Se observa el procedimiento de pesado de agregado grueso en la olla de Washington.



3.5.6 Ensayo: análisis granulométrico

Esta prueba es efectuada siguiendo la M.T.C E 204-2000; Análisis granulométrico de los agregados.

Equipo utilizado

- Balanza
- Tamices
- Horno
- Bandejas
- Brocha

Procedimiento

Se pesó los agregados de cada volumen retenido en cada uno de los tamices, junto con el material restante en la base, y los resultados se compararon con el volumen total.

Tabla 13

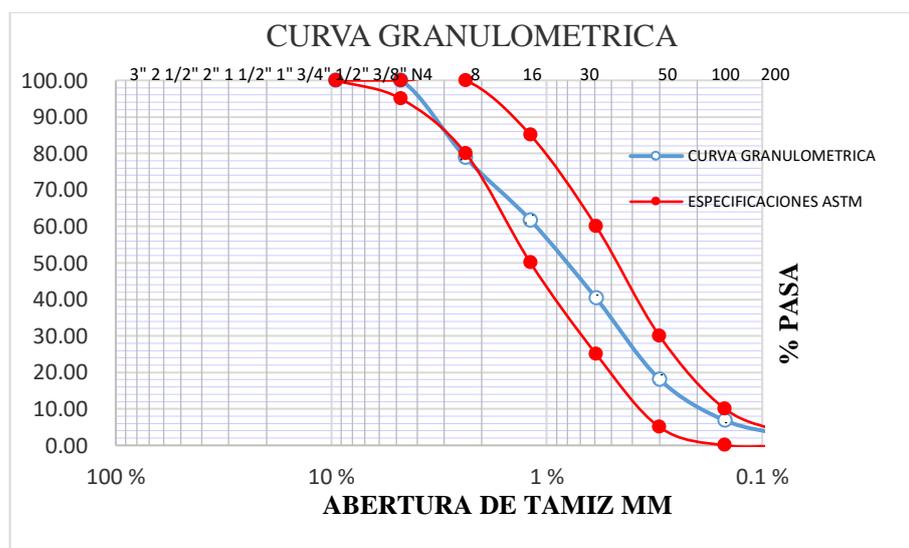
Granulometría: agregado fino

Tamaño tamiz N.	Aber. (mm)	Peso ret. (gr)	% Ret. Acum.	Acum. %	% Q' Pasa acum.	Especifica ASTM	
3/8"	9.525		0.00	0.00	100.00	100	100
#04	4.760		0.00	0.00	100.00	95	100
#8	2.380	105.94	21.19	21.19	78.81	80	100
#16	1.190	85.73	17.15	38.33	61.67	50	85
#30	0.590	106.74	21.35	59.68	40.32	25	60
#50	0.300	110.95	22.19	81.87	18.13	5	30
#100	0.149	56.48	11.30	93.17	6.83	0	10
#200	0.074	21.24	4.25	97.41	2.59	Modulo fineza	2.94
base		12.93	2.59	100.00	0.00	Peso inicial	500 Gr.

Nota: Se aprecia los datos en la tabla, al realizar la prueba del análisis granulométrico donde indica % de agregado retenido en cada tamiz.

Figura 19

Curva granulométrica: agregado fino



Nota: Se aprecia en la figura la curva granulométrica de agregado fino.

Tabla 14

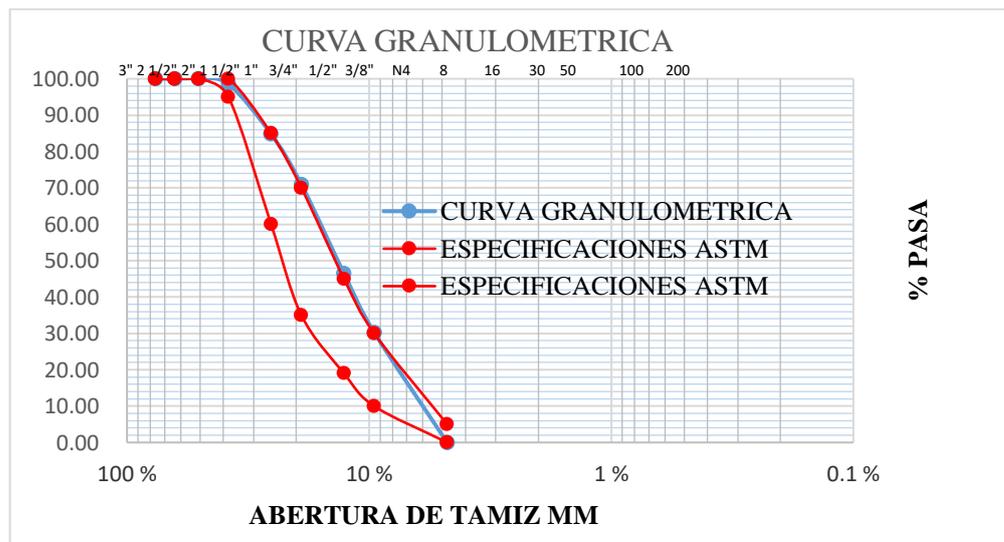
Granulometría: agregado grueso

Tamaño tamiz N.	Peso. ret.		% Q'		% Q'		Descripción de la muestra	
	Abert. (mm)	Acum. (gr)	% Ret. Acum.	Acum. %	pasa Acum.	Especifica ASTM		
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00			P.M. 15
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00			kg.
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	
1 1/2"	38.100	219.033	1.46	1.46	98.54	95	100	TMN 1
1"	25.400	2061.663	13.74	15.20	84.80			1/2"
3/4"	19.050	2076.090	13.84	29.05	70.95	35	70	
1/2"	12.700	3672.030	24.48	53.53	46.47			Módulo
3/8"	9.525	2428.577	16.19	69.72	30.28	10	30	de fineza:
N°4	4.760	4542.607	30.28	100.00	0.00	0	5	7.00
Base		0.00	0.00	100.00	0.00			

Nota: Se muestran los datos obtenidos en la tabla, al efectuar la granulometría del agregado grueso.

Figura 20

Curva granulométrica: agregado grueso



Nota: Se muestra en la figura la curva granulométrica.

Figura 21

Ensayo: granulometría urva granulométrica: agregado grueso



Nota: Se aprecia realizando el tamizado en la figura, las cuales fueron realizados en el laboratorio de la EPIC.

Figura 22

Gradación: agregado grueso



Nota: En la imagen se aprecia material retenido en cada tamiz.



3.5.7 Ensayo: abrasión

Para realizar esta prueba se guía de la MTC E 207 –2000. Utilizando la máquina de abrasión de los ángeles, la resistencia al deterioro de los agregados se evalúa.

Equipo utilizado

- Balanza
- Tamiz N° 12
- Cucharón
- Equipo los ángeles.
- Protector de oído
- 11 esferas de acero
- Horno

Procedimiento

Se eligió el método B, para determinar la degradación del agregado al someter a un tambor giratorio de acero con unas billas de acero. La cantidad de material es de 5000 gr, de los cuales 2500 gr pasan por la malla de 3/4" y quedan retenidos en la malla de 1/2" y 2500 gr pasan por la malla de 1/2" y quedan retenidos en la malla de 3/8".

Según la normativa, la técnica B prevé el uso de 11 esferas, que se almacenan en la máquina de los Ángeles con el resto del material y se ponen a girar durante 500 revoluciones entre 30 y 33 rpm.

Una vez culminado, se sacó el material a un envase, posterior a eso se tamizó en el tamiz N° 12, se continuo a pesar el agregado retenido.

Para obtener el resultado la cual es la diferencia entre el peso inicial y el peso final del agregado, representada como porcentaje del peso inicial del material. El resultado de la prueba (% de desgaste) indica el coeficiente de desgaste angular. Los pasos necesarios para determinar este valor son los siguientes:

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

P1= Peso inicial.

P2= Peso final luego de ser tamizado en el (No. 12).

La cantidad de material retenido en cada abertura durante el ensayo de desgaste por abrasión permite la siguiente evaluación de este atributo:

Tabla 15

Resultados de abrasión los ángeles: agregado grueso

Prueba de abrasión de los ángeles					
Tamaño de malla		Peso inicial gr.	Peso retenido		Desgaste por abrasión los ángeles %
Pasa	Retenido		malla N° 12 (gr.)	Peso perdido (gr.)	
1 1/2"	1"	1254.00	-	-	-
1"	3/4"	1252.00	-	-	-
3/4"	1/2"	1252.00	-	-	-
1/2"	3/8"	1250.00	-	-	-
Peso total		5008.00	3845.00	1163.00	23.22%

Nota: Se presenta los datos obtenidos en la tabla la prueba de abrasión de los ángeles para el agregado.

La normativa para la ejecución de carreteras, puentes y calles (NIC-2000), el valor máximo de desgaste debe estar dentro del rango de 40% al 50%, es aceptable para la ejecución de obras civiles.

Figura 23

Ensayo: abrasión de los ángeles



Nota: Se muestra en la figura la degradación de los agregados al efectuar la prueba de abrasión de los ángeles.

3.5.8 Diseño de mezclas para el concreto poroso

Para efectuar el diseño de la mezcla de concreto poroso se tuvieron en cuenta la guía para el diseño de concreto con asentamiento cero, la norma (ACI-522R-10, 2015), que ofrece una técnica de diseño, tablas empíricas, ábacos y parámetros necesarios para realizar el diseño.



Tabla 16

Nominación: número de diseño de mezclas

Diseño de mezclas	Descripción
(0%)	Concreto poroso con agregado grueso
(5%)	Concreto poroso con agregado grueso con adición de agregado fino 5%
(10%)	Concreto poroso con agregado grueso con adición de agregado fino en 10%
(15%)	Concreto poroso con agregado grueso con adición de agregado fino en 15%

Nota: Se presenta en la tabla las diferentes adiciones de agregado fino, para obtener concreto poroso.

Procedimiento del diseño de mezclas

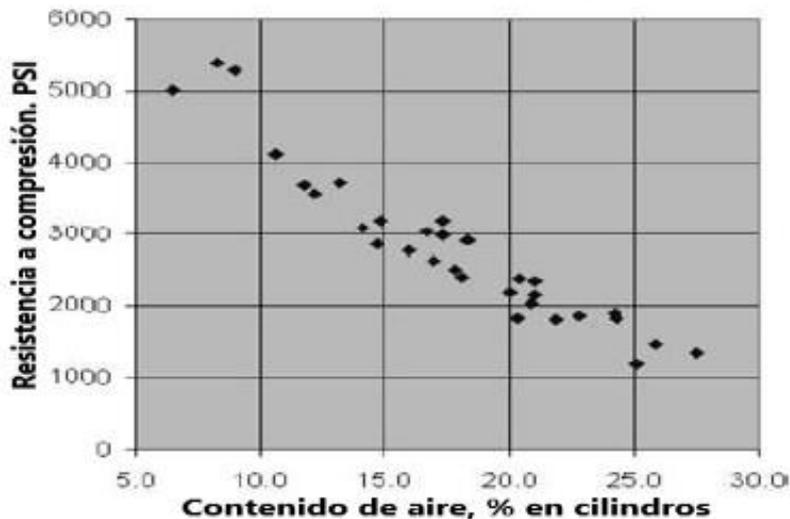
(ACI-522R-10, 2015) es la norma la cual orienta el procedimiento del diseño de la mezcla para su fabricación de concreto poroso.

a) Elección de la resistencia de compresión y %vacíos del concreto

Según en la figura 24, compara los resultados de resistencia a la compresión obtenidos a los 28 días de los especímenes frente a los espacios vacíos del concreto poroso, puede utilizarse para determinar la resistencia a la compresión.

Figura 24

Concordancia de la resistencia a la compresión y % vacíos del concreto poroso



Fuente: (ACI-522R-10, 2015)

b) Selección de agua cemento

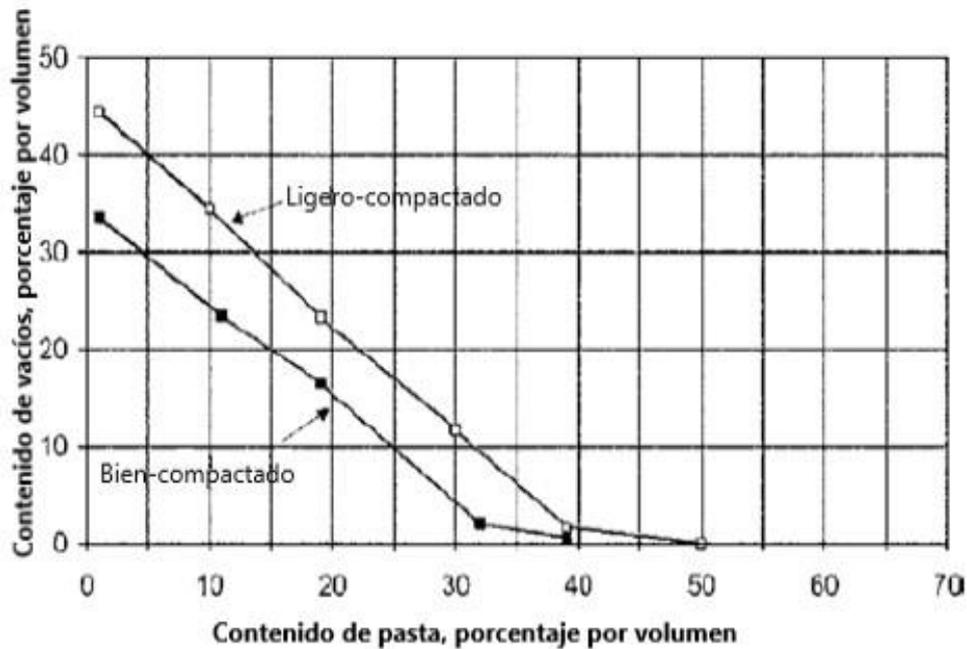
La relación (a/c), recomienda la norma (ACI-522R-10, 2015), sugiere utilizar de 0.26 a 0.45 con la finalidad de alcanzar un buen revestimiento de los agregados y una buena consistencia de la pasta, mientras más agua cemento resultara que la pasta se llene la estructura de vacíos y cuando el a/c es menor producirá una menor adherencia entre los agregados.

c) Evaluación de volumen de pasta

Para determinar volumen de pasta según (ACI-522R-10, 2015) se calcula cuando una vez confirmada la resistencia a la compresión y el % vacíos del concreto poroso. Una vez obtenido el % vacíos se puede determinar el % de volumen de pasta en el diseño

Figura 25

Relación: % de vacíos y contenido de pasta



Fuente: Norma (ACI-522R-10, 2015)

La imagen muestra los dos patrones que determinan el tipo de compactación que debe utilizarse para crear concreto poroso en probetas cilíndricas, en la que al compactar ligeramente presenta mayores valores de % de vacíos que el concreto poroso bien compactado. Los pesos de agua y cemento están por m³ de la combinación se calcularon una vez producido el volumen de pasta, mediante la siguiente fórmula:

$$VP = VC + VA$$

Donde:

(Vp) Volumen de pasta

(Vc) Volumen de cemento

(Va) Volumen de agua

La fórmula sería expresada de esta manera:



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

Los cuales son:

(c) Peso del cemento en m³.

(a) Peso del agua en m³.

(P.E.c) Peso específico del cemento.

(P.E.a) Peso específico del agua.

Respectivamente, se tiene:

$$VP = \frac{C}{2.85 * 1000} + \frac{a}{1 * 1000}$$

Con a/c, se obtiene:

$$VP = \frac{C}{2.85 * 1000} + \frac{a \frac{C}{C}}{1 * 1000}$$

Según el ACI-522R (ACI 318SR-14, 2015), por cada 10% de agregado fino utilizado en concreto permeable bien compactado, su volumen de la pasta debe disminuir en 2%, y por cada 10% de agregado fino utilizado en un concreto poroso ligeramente compactado, el volumen de pasta debe reducirse en un 1%. Para mantener el volumen de vacíos en el mismo porcentaje, se requieren estos recortes.

d) Métodos de volúmenes absolutos y correcciones

Después de calcular el (volumen de pasta) el % de huecos y la relación (w/c), se determina la proporción de cada agregado convirtiéndolo a volumen en m³ en estado seco superficial saturado (S.S.S.), como se hace en el hormigón convencional.



Corrección por humedad y absorción

La absorción es la capacidad del agregado para retener agua. Describe el estado que se encuentra el agregado, puede adquirir humedad o perdido, como resultado de la exposición ambiental, la capacidad de absorber agua se resta del contenido de humedad, podemos determinar cuánta agua ha podido absorber el agregado durante el vaciado, en consecuencia, cuánta agua hay que eliminar o añadir para que ésta sea la correcta. Para hacer el cálculo.

$\%W > \% \text{ Absorción}$: Se resta agua del diseño

$\%W < \% \text{ Absorción}$: Se le agrega agua en el diseño

Diseño de mezclas

a) Los materiales

- Agregado grueso
- Agregado fino (0%, 5%, 10% y 15% del agregado grueso)

En cuanto al contenido de humedad, se trabajó con un material seco, tanto para el agregado fino como para los gruesos, ya que las propiedades de los agregados son necesarias para la formulación de las mezclas.

Tabla 17

Resumen de datos obtenidos en el laboratorio: agregados finos y grueso

Pruebas realizados	Agregado fino	Agregado grueso
TMN	Malla N° 4	1 ½"
W%	2.42%	1.47%
Peso específico aparente gr/cm ³	2.43	2.47
Peso específico nominal	2.68	2.65
Peso específico aparente S.S.S.gr/cm ³	2.52	2.54
Absorción	3.80%	2.85%
Peso unitario suelto kg/m ³	1580	1542
Porosidad del agregado	-	33.2%
Peso unitario compactado Kg/m ³	1708	1653

Nota: Se aprecia en la tabla datos obtenidos de los agregados de las pruebas efectuadas en el laboratorio de construcciones de la EPIC.

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

b) Criterios de diseño:

- Se analiza en el diseño de mezclas al incrementar en 5%, 10% y 15% de agregado fino respecto al total del agregado grueso, con la finalidad de mejorar sus propiedades y verificar su permeabilidad.
- Para la elaboración de especímenes de concreto poroso: Se opta con un ligero compactado, para obtener más % vacíos.

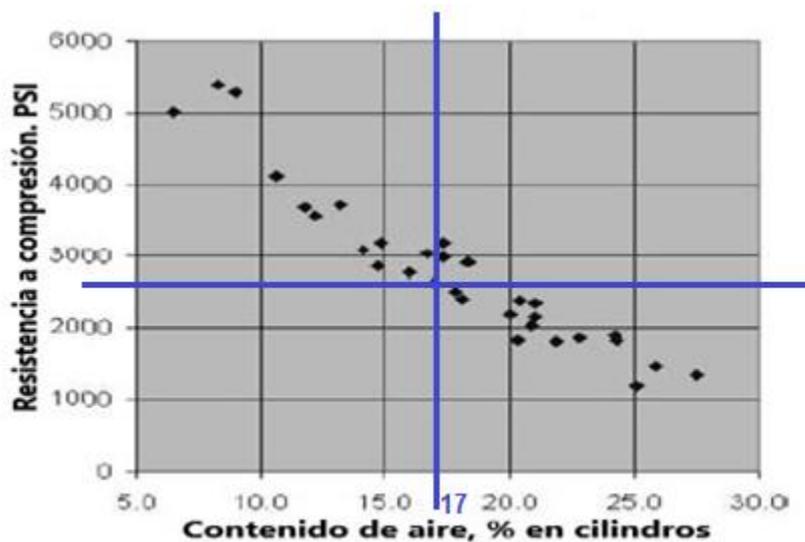
Procedimiento

a. Selección de % vacíos de acuerdo a la resistencia de compresión

Se escogió el % de vacíos según la resistencia que se pretende alcanzar de acuerdo a la figura.

Figura 26

Concordancia entre la resistencia a la compresión y % vacíos del concreto poroso



Fuente: Adecuado de la norma (ACI-522R-10, 2015), según la figura se diseña de acuerdo a la resistencia requerida lo cual es de $175 \text{ kg/cm}^2 = 2489.09 \text{ PSI}$

Interpretación

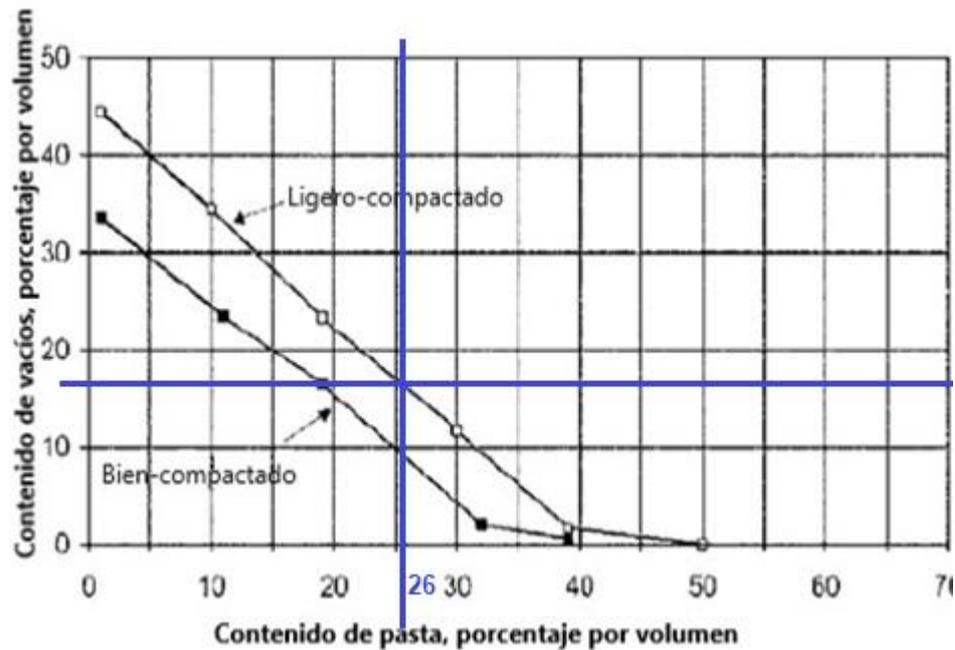
Si la resistencia a la compresión es de 175 Kg/cm^2 , se obtiene un 17% de contenido de vacíos.

Selección de agua-cemento a/c.

El a/c se establece en 0.35, este dato fue elegido al promediar ambos valores, si fuera alto puede generar el colapso del sistema al disminuir los poros, si fuera muy bajo produciría una ligadura deficiente.

Figura 27

Contenido de vacíos y volumen de pasta del concreto poroso



Fuente: Propia extraído de (ACI-522R-10, 2015)

Nota: Según % vacíos y el modelo de compactación seleccionada, se aproxima el volumen de pasta, tal como indica en la figura, para esta investigación se consideró ligeramente compactado

Interpretación

Según el gráfico, el resultado de un volumen de pasta es de 0,26 con un contenido en huecos del 17% y un nivel de compactación ligero. Con los nuevos datos se modifican las siguientes ecuaciones para calcular los volúmenes de cemento (c), agua (a) y ambos.

$$V_p = V_c + V_a$$

Tal que:

(V_p) Volumen de pasta.

(V_c) volumen de cemento.

(V_a) Volumen de agua.



$$VP = \frac{C}{2.85 * 1000} + \frac{A * C}{1000}$$

las cuales son:

(C) Peso del cemento para m³ de mezcla.

(A) Peso del agua para m³ de mezcla.

(A/C) agua cemento (0.35)

Se obtuvieron los siguientes datos:

c: 370.96 Kg

a: 129.84 kg

b. Determinación de volúmenes absolutos

La siguiente relación se utiliza en la tabla para calcular el volumen de agregado grueso necesario para un m³ de concreto poroso:

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

Tabla 18*Cálculo de volúmenes absolutos: diseño de mezclas para agregados grueso*

Descripción	Peso SSS Kg	Peso específico.	
		Kg/m ²	Volumen m ³
Agua	129.84	1000	0.130
Cemento	370.96	2850	0.130
Vacíos			0.17
		Parcial	0.43
		Agregado grueso	0.57
		Total	1.00

Nota: Se aprecia en la tabla volúmenes absolutos de diseño para agregado grueso sin adición de agregado fino.

Tabla 19*Cálculo de volúmenes absolutos: diseño de mezclas para agregado grueso + adición de agregado fino en 5%*

Descripción	Peso SSS Kg	Peso específico.	
		Kg/m ²	Volumen m ³
Agua	129.19	1000	0.129
Cemento	369.11	2850	0.130
Vacíos			0.17
		Parcial	0.43
		Agregado grueso	0.57
		Total	1.00

Nota: Se aprecia en la tabla volúmenes absolutos de diseño para agregado grueso con adición de 5% de agregado fino.

Tabla 20

Cálculo de volúmenes absolutos: diseño de mezclas para agregado grueso + adición de agregado fino en 10%

Descripción	Peso específico.		
	Peso SSS Kg	Kg/m ²	Volumen m ³
Agua	128.54	1000	0.129
Cemento	367.25	2850	0.129
Vacíos			0.17
		Parcial	0.43
		Agregado grueso	0.57
		Total	1.00

Nota: Se aprecia en la tabla volúmenes absolutos de diseño para agregado grueso con adición de 10% de agregado fino.

Tabla 21

Cálculo de volúmenes absolutos: diseño de mezclas para agregado grueso + adición de agregado fino en 15%

Descripción	Peso específico.		
	Peso SSS Kg	Kg/m ²	Volumen m ³
Agua	127.89	1000	0.128
Cemento	365.40	2850	0.128
Vacíos			0.17
		Parcial	0.43
		Agregado grueso	0.57
		Total	1.00

Nota: Se aprecia en la tabla volúmenes absolutos de diseño para agregado grueso con adición de 15% de agregado fino.

c. Corrección del agregado grueso por incorporación de agregado fino

Al incorporar el agregado fino en (5%,10% y 15% del total del agregado se realiza la corrección de volumen de pasta según lo que indica la norma).



$$\text{Peso} = \text{Peso específico} * \text{Volumen}$$

Tabla 22

Cálculo del peso: agregado grueso con 5% de A. fino

Descripción	Peso SSS Kg	Peso específico.	Volumen
		Kg/m ²	m ³
Agregado fino 5% del A. grueso	71.98	2520.00	0.029
Agregado grueso corregido	1378.55	2540.00	0.543

Nota: Se presenta en la tabla la corrección del agregado en 1.00 % al añadir agregado fino en el diseño donde se agregó 5% de fino.

Tabla 23

Cálculo del peso: agregado grueso con 10% de A. fino.

Descripción	Peso SSS	Peso específico.	Volumen
	Kg	Kg/m ²	m ³
Agregado fino 10% del A. grueso	144.30	2520.00	0.057
Agregado grueso corregido	1308.96	2540.00	0.515

Nota: Se presenta en la tabla la corrección del agregado en 1.00 % al añadir agregado fino en el diseño de 10% de agregado fino.

Tabla 24

Cálculo del peso: agregado grueso con 15% de A. fino

Descripción	Peso SSS	Peso específico.	Volumen
	Kg	Kg/m ²	m ³
Agregado fino 15% del A. grueso	216.44	2520.00	0.086
Agregado grueso corregido	1239.55	2540.00	0.488

Nota: Se presenta en la tabla la corrección del agregado en 1.00 % al añadir agregado fino en el diseño de 15% de agregado fino.

d. Corrección por humedad y absorción

Utilizando las siguientes relaciones, para ajustar la absorción de la humedad.

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



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

Tabla 25

Datos corregidos: por humedad para el diseño de agregados gruesos

Descripción	Agregado grueso	Agregado fino
Humedad (C.H.%)	1.47	2.42
Absorción (a%)	2.85	3.8
Aporte (lt)	-20.12	-0.99
	Total	-21.11

Nota: En esta tabla se tiene la corrección de humedad por absorción del primer diseño.

Tabla 26

Datos corregidos: por humedad para el diseño + adición de agregado fino en 5%

Descripción	Agregado grueso	Agregado fino
Humedad (C.H.%)	1.47	2.42
Absorción (a%)	2.85	3.8
Aporte (lt)	-19.02	-0.99
	Total	-20.02

Nota: En esta tabla se tiene la corrección de humedad por absorción del segundo diseño agregando en 5% agregado fino.

Tabla 27

Datos corregidos: por humedad para el diseño + adición de agregado fino en 10%

Descripción	Agregado grueso	Agregado fino
Humedad (C.H.%)	1.47	2.42
Absorción (a%)	2.85	3.8
Aporte (lt)	-18.06	-1.99
	Total	-20.05

Nota: En esta tabla se tiene la corrección de humedad por absorción del segundo diseño agregando en 10% de agregado fino.

Tabla 28

Datos corregidos: por humedad para el diseño + adición de agregado fino en 15%

Descripción	Agregado grueso	Agregado fino
Humedad (C.H.%)	1.47	2.42
Absorción (a%)	2.85	3.8
Aporte (lt)	-17.11	-2.99
	Total	-20.09

Nota: En esta tabla se tiene la corrección de humedad por absorción en el segundo diseño agregando en 15% agregado fino.

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

Tabla 29

Datos corregidos: para el diseño por humedad de agregado grueso

Cantidades	
Agua	150.95 Lt/m ³
Cemento	370.96 Kg/m ³
Agregado grueso	1457.71 Kg/m ³

Nota: En la tabla se aprecia el primer diseño de mezclas sin agregado fino.

Tabla 30

Datos corregidos: de diseño por humedad agregado grueso + adición de agregado fino en 5%

Cantidades	
Agua	149.21 Lt/m ³
Cemento	369.11 Kg/m ³
Agregado fino	71.98 Kg/m ³
Agregado grueso	1378.55 Kg/m ³

Nota: En la tabla se presenta el segundo diseño de mezclas con agregado fino en 5%.

Tabla 31

Datos corregidos: para el diseño por humedad agregado grueso + adición de agregado fino en 10%

Cantidades	
Agua	148.59 Lt/m ³
Cemento	367.25 Kg/m ³
Agregado fino	144.30 Kg/m ³
Agregado grueso	1308.96 Kg/m ³

Nota: En la tabla se presenta el tercer diseño de mezclas con adición de agregado fino en 10%.

Tabla 32

Datos corregidos para el diseño por humedad: agregado grueso + adición de agregado fino en 15%

Cantidades	
Agua	147.98 Lt/m ³
Cemento	365.40 Kg/m ³
Agregado fino	216.44 Kg/m ³
Agregado grueso	1239.55 Kg/m ³

Nota: Se presenta en la tabla el cuarto diseño de mezclas con adición de agregado fino en 15%.

3.5.9 Resumen de diseño de las dosificaciones

Una vez culminado paso a paso con el diseño de mezclas se obtuvo cuatro dosificaciones diferentes, se halló el peso de todos los materiales a utilizarse para una serie de probetas cilíndricas de 6"x12" y 4"x8" las cuales serán sometidas a compresión y para calcular la permeabilidad.

Tabla 33

Resumen: diseño de mezclas

Diseño	H-8	H-8 + A. fino en 5%	H-8 + A. fino en 10%	H-8 + A. fino en 15%
Agua Lt/m ³	150.95	149.21	148.59	147.98
Cemento Kg/m ³	370.96	369.11	367.25	365.40
Vacíos Kg/m ³	-	-	-	-
Agregado fino Kg/m ³	-	71.98	144.30	216.44
Agregado grueso Kg/m ³	1457.71	1378.55	1308.96	1239.55

Nota: Se aprecia el resumen de 4 diseños en la tabla para la elaboración de especímenes.

3.5.10 Procedimiento para elaboración del concreto poroso: moldes cilíndricos

- Se pesó los materiales para su proceso de fabricación del concreto poroso, cemento, agregado grueso, agregado fino y agua según las dosificaciones correspondientes.
- Se habilitaron los moldes de 4"x8" y 6"x12", cada testigo codificado para realizar el vaciado
- La fase total de mezclado duró entre 2 y 3 minutos, el concreto poroso fabricado con la adición de agregado fino requería más tiempo de mezclado. La primera fase de mezclado se tuvo añadir total de agua y cemento, posteriormente se añadió los agregados.

Figura 28

Cargado de materiales a la mezcladora



Nota: Se muestra en la figura agregando, agua, cemento y agregados a la mezcladora de concreto.

Figura 29

Mezclado de concreto poroso



Nota: se observar en la figura concreto poroso después de haber sido mezclado por un tiempo de 3 minutos.

Utilizando el martillo Proctor estándar, se procedió a la compactación requerida de las siguientes formas: tres capas uniformes se colocaron y compactaron con 17 golpes por capa; dos capas uniformes se colocaron y compactaron con 8 golpes por capa. en los moldes de 4"x8" y con una altura de compactación de 30cm; la energía de compactación indica la norma (ACI-522R-10, 2015), en la cual se trata de simular y se calcula la altura de compactación y el número de golpes.

Figura 30

Compactado de especímenes



Nota: Se observa la compactación con un martillo de proctor modificado en la figura para compactar ligeramente.

3.5.11 Ensayo: del concreto poroso en estado fresco

Se efectuó la prueba de asentamiento como indica la NTP 339. método más común



para conocer su asentamiento del concreto poroso.

Equipo utilizado

- Cono de Abrams.
- de 50 cm x 50 cm plancha metálica.
- Varilla lisa de 5/8”
- Flexómetro.

Procedimiento

El molde se colocó en el piso, se pisó las aletas para estabilizarlo, se añadió en la primera capa de concreto para rellenar hasta 1/3 de su volumen, se apisonó con una varilla, se dieron 25 golpes aleatoriamente.

Posterior se coloca hasta el 2/3 de volumen de la misma forma se apisona, que la varilla entre solo en la capa añadida.

El molde cono Abrams se sobrellena en el último tercio, se enrasa al concluir la consolidación y, a continuación, se eleva lentamente con dirección vertical para no interrumpir el asentamiento.

Figura 31

Varillado en el ensayo: cono de Abrams



Nota: Se muestra el procedimiento de varillado en el cono de Abrams en donde consistió en dar 25 golpes aleatoriamente en cada capa.

Figura 32

Medición del asentamiento: concreto poroso (Slump)



Nota: Se observar el asentamiento en la figura de cono Slump.

3.5.11.1 Curado del concreto poroso

Se intentó simular las condiciones especificadas en la norma al curar los especímenes en el pozo de curado, pero no fue posible alcanzar la temperatura de curado de 23 °C. Se trató lo posible que este en las condiciones reales a las que estará sometido el concreto poroso cuando se utilizará como pavimento.

Figura 33

Curado: concreto poroso



Nota: Se observa en la figura el curado de especímenes de concreto poroso en la poza del laboratorio de construcciones de la EPIC.

3.5.12 Ensayo: concreto poroso en estado endurecido

a) Ensayo de compresión simple

La prueba de compresión simple, se basó lo que establece la norma NTP 339,034

Equipo utilizado

- Máquina de compresión axial



- Vernier

Procedimiento

Según la norma ASTM C39, esta prueba consiste en aplicar continuamente una fuerza axial en la parte superior del espécimen hasta que se produce el quiebre. Dividiendo la carga máxima por el área media del espécimen.

Método de cálculo

Se utilizó para obtener la resistencia a la compresión de testigos cilíndricos la siguiente ecuación:

$$f'c = \frac{P}{A} \left(\frac{KG}{cm^2} \right)$$

$$A = \pi \frac{\Phi^2}{4}$$

Donde:

- (f'c) Resistencia de rotura (kg/cm²).
- (P) Carga (kg).
- (Φ) Diámetro del espécimen (cm).
- (A) Área promedio del espécimen (cm²).

Figura 34

Medición de diámetro de especímenes



Nota: Se observa en la figura la toma de medidas del espécimen de H-8 con 15% de agregado fino.

Figura 35

Compresión simple: especímenes



Nota: En la figura se puede apreciar espécimen de concreto poroso cargado a la máquina de compresión axial.

Figura 36

Falla de especímenes: concreto poroso H-8 + 5% de agregado fino



Nota: Se observa en la figura, la falla del espécimen como bien formado en ambos extremos.

b) Ensayo de permeabilidad para el concreto poroso

ACI-522R-10 (2015), recomienda elaborar testigos cilíndricos de 4” de diámetro y 8” de altura, para efectuar la prueba de permeabilidad.

Equipo utilizado

- Permeámetro sugerido por (ACI-522R-10, 2015).
- Fill
- Cronómetro
- Bandeja
- Agua

Procedimiento

Para determinar la permeabilidad se utilizó un permeámetro modificado de la norma (ACI-522R-10, 2015), se utiliza una membrana de látex (relleno) para impermeabilizar los laterales de la probeta con el fin de impedir que el agua corra por ellos. La cubeta es llenada con agua, la cual es añadida a la probeta graduada.

La muestra se prepara de forma que el agua drene por el tubo hasta que el nivel de la probeta graduada sea igual al de la parte superior del tubo. Al reducir la cantidad de aire en el espécimen, se garantiza que ésta esté saturada. La probeta graduada se llena de agua después de cerrar la válvula. A continuación, una vez abierta la válvula se mide con un cronómetro el tiempo hasta que el agua descienda.

Figura 37

Permeámetro



Nota: En la figura se puede apreciar el permeámetro adaptado de la norma (ACI-522R-10, 2015), se construyó el permeámetro utilizando tubo de 4", 3 abrazadera, un llave de paso, tubo de 1/2", reductor de 2" a 1/2", codo 1/2" y teflón, las dimensiones se cumplieron según la figura 5.

Figura 38

Ensayo: permeabilidad



Nota: En la figura se efectúa la infiltración a través del permeámetro de testigos de concreto poroso y es controlado el tiempo con un cronometro.

Método de cálculo

Para determinar el coeficiente de permeabilidad se ha utilizado la ley de Darcy:

$$k = \frac{L}{T} \times \frac{a}{A} \times \ln \left(\frac{h1}{h2} \right)$$

- (k) Coeficiente de permeabilidad (cm/s).
- (L) Largo del espécimen (cm).
- (A) Área del espécimen (cm²).
- (a) Área de la tubería (cm²).
- (T) Tiempo que demora en descender el agua
- (h1) Altura inicial de agua (cm).
- (h2) Altura de salida del agua (1cm).



Capacidad de filtración del concreto poroso

Se usó la siguiente ecuación para obtener la capacidad de filtración del concreto poroso:

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

- (Q) capacidad de filtración en (caudal) (L/t).
- (V) Volumen de agua en litros.
- (T) Tiempo.

Esta información fue crucial, ya que permitió analizar si el concreto poroso puede disipar las precipitaciones pluviales en el barrio La Capilla de Juliaca, que fue evaluado hidrológicamente.

3.6 ESTUDIO GEOTÉCNICO

3.6.1 Ensayo de calicata

Se realizó una excavación manual de 80cm por 80cm con la finalidad de conocer su perfil estratigráfico y conocer nivel freático la cual se encontró a una profundidad de 1.40 metros así mismo se verifico la parte superior de 30cm material orgánico y lo demás material arenoso se tomó una muestra para contenido de humedad en bolsas de plástico, también se tomó una muestra de 30 kg aproximadamente para realizar ensayos en laboratorio.

Figura 39

Nivel freático



Nota: Se aprecia en la figura el nivel freático encontrado en el Barrio La Capilla.

Figura 40

Muestreo de material



Nota: Se observa en la figura el cuarteo de material excavado para llevar el suelo más representativo.

Figura 41

Medición del Nivel freático



Nota: Se muestra en la figura la profundidad de 1.40m, donde se encuentra el nivel freático.

3.6.1.1 Perfil estratigráfico

Se realizó las excavaciones de 2 calicatas en donde se alcanzó el nivel freático a 1.40m y 1.35m de profundidad, la excavación se realizó en los meses de abril del 2022 y febrero del año 2023 en el Barrio La Capilla; donde en ambas calicatas se observaron mismas apariencias, a 30 cm de la parte superior es de materia orgánica, y la parte inferior se observó material arenoso de tres colores diferentes, una vez realizado los ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos, se obtuvo un tipo de suelo SP (arena mal graduada) según clasificación SUCS y por AASHTO se obtuvo A-3-a (arena fina).

3.6.2 Contenido de humedad

Esta prueba fue ejecutada según la norma MTC E 108-2000

Equipos utilizados

- Balanza
- Horno



- Envases codificados

Procedimiento

Para obtener una muestra representativa, el material se troceó en cuartos; a continuación, la muestra se colocó en recipientes tarados.

Tras registrar el peso del envase más el material húmedo, se introdujo al horno y se coció durante 24 horas a 105 +/- 5 oC. Tras enfriar durante 30 minutos, se pesó el material.

Para aumentar la validez de la prueba, se recogieron tres muestras y se calculó el contenido de humedad a través de la ecuación:

$$w\% = \frac{\text{Peso del agua en la muestra}}{\text{Peso de la muestra seca}} * 100$$

Figura 42

Pesado de material húmedo: contenido de humedad



Nota: Se observa en la figura el pesado del material húmedo en tres recipientes y luego se coloca al horno durante 24 horas.

Tabla 34

Resultado de ensayo: contenido de humedad

	SUELOS		
Código de Tara	E-1	E-2	E-3
Peso de tara	87.99	86.9	115.11
Peso de Tara +M. Húmeda	488.08	577.01	586.13
Peso de Tara +M. Seca	421.85	498.08	509.47
Peso de Agua	66.23	78.93	76.66
Peso de muestra seca	333.86	411.18	394.36
W%	19.84	19.20	19.44
Promedio de W%	19.49		

Nota: En esta tabla se aprecia los datos obtenidos al realizar la prueba de contenido de humedad.



3.6.3 Granulometría

Este ensayo se efectuó basándose en la M.T.C E 106-2000; Análisis granulométrico de suelo.

Equipo utilizado

- Balanza
- Tamices
- Horno
- bandejas
- Brocha

Procedimiento

En primer lugar, se dividió el material de suelo con la malla N°4, una vez obtenido el resultado fue que el material paso al 100%.

Es lavada la muestra en el tamiz N° 200 y posteriormente es secada en el horno por un tiempo de 24 horas, en 105 °C de temperatura.

Una vez secado el material, se pesa, se coloca a los tamices y se procede a tamizar. Se utilizaron golpes ligeros a su vez se hizo girar el juego hasta encontrar, el peso establecido en cada uno de los tamices.

Se pesó cada volumen de material conservado en los tamices, junto con el resto en la base, y se comparó el peso total conservado en las mallas.

Figura 43

Ensayo de granulometría por lavado



Nota: En la figura se muestra el lavado del material de suelo de 500 gr, hasta que el color de agua sea lo más transparente posible.

Del ensayo de granulometría se obtuvo que el suelo es de tipo arena mal graduada (SP) según la clasificación ASHTO y según la clasificación de SUCCS se obtuvo un suelo tipo A-3.

3.6.4 Proctor modificado

Este ensayo se efectuó tomando en consideración M.T.C. E 115-2000; Proctor Modificado

Equipo utilizado

- Molde de 4"
- Pisón
- Extractor de muestras



- Balanza
- Regla metálica
- Tamices
- Horno
- bandejas
- Brocha

Procedimiento

Se seleccionó el método que se debe utilizar para este tipo de suelo, según la norma indica que cuando el material retenido en la malla N° 4 es 20% o menos debe utilizarse el método A.

Se pesó el molde de Proctor modificado y la medida del diámetro, para el ensayo se pesó material de suelo 2.3 kg y se realizó el compactado con 25 golpes en cada capa se efectuaron 5 capas en cada molde, en las siguientes muestras se agregó 2%, 4%, 6% de contenido de humedad, luego de compactar se enrasa y se pesa molde + la muestra compactada, se parte a tres la muestra y del medio se toma 2 porciones de suelo para obtener contenido de humedad.

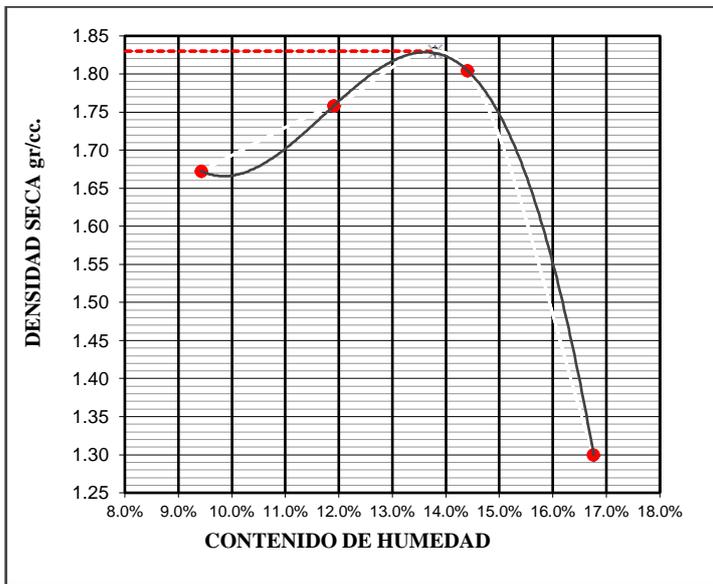
Tabla 35*Resultados del ensayo: Proctor modificado*

MOLDE No		1	Volumen de molde 944 cc		
Contenido de humedad		0.00%	2.00%	4.00%	6.00%
No de Capas		5	Golpes por capa 25		
Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	5913	6043	6134	5618
Peso del Molde	gr.	4186	4186	4186	4186
Peso del Suelo Húmedo	gr.	1727	1857	1948	1432
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cc	1.83	1.97	2.06	1.52
Nº tara		M-05	M-02	M-04	D-02
Peso de la Tara	gr.	68.67	69.82	74.54	70.85
Peso del Suelo Húmedo + Tara	gr.	230.00	378.03	317.07	347.86
Peso del Suelo Seco + Tara	gr.	216.10	345.23	286.53	308.09
Peso del Agua	gr.	13.90	32.80	30.54	39.77
Peso del Suelo Seco	gr.	147.43	275.41	211.99	237.24
Contenido de humedad	%	9.43	11.91	14.41	16.76
Densidad seca del suelo	gr/cc	1.672	1.758	1.804	1.300

Nota: Se presentan en la tabla los datos obtenidos de la prueba de proctor modificado en donde se aprecia contenido de humedad óptimo y densidad seca del suelo.

Figura 44

Curva: humedad optimo y densidad seca



Nota: Se presenta en la figura la curva de compactación en donde indica la densidad seca de 1.83gr/cc, de ahí se obtiene contenido de humedad óptimo de 13.8%.

Figura 45

Saturado y dividido del materialy



Nota: Se muestra material saturado en la figura, para cada capa.

Figura 46

Compactación con el martillo Proctor modificado



Nota: En la figura se muestra la compactación del material suelo a 25 golpes por cada capa.

Figura 47

Pesado del molde + material compactado



Nota: En la imagen se muestra el peso del molde más el peso del material compactado.

Figura 48

Extracción del material del molde



Nota: Se muestra en la figura la extracción del material compactado del molde con la extractora de especímenes.

3.6.5 CBR

Este ensayo se realizó tomando en consideración M.T.C E 132-2000.

Equipo utilizado

- Molde de 6"
- Pisón de compactación
- Disco espaciador
- Balanza
- Regla metálica
- Aparato para medir expansión



- Horno
- bandejas
- Brocha
- Prensa similar para realizar penetración

Procedimiento

Para realizar este ensayo se utilizó los datos de contenido de humedad óptimo y densidad seca, obtenido de la prueba de proctor modificado, se usaron tres moldes CBR estandarizados. La muestra es compactada en 5 capas en cada molde, la cantidad de golpes en cada uno de los moldes es de 12, 25 y 56 golpes. Posteriormente se enraza en el molde, se desmonta y se vuelve a montar invertido, posteriormente es sumergida los moldes al agua. Después se toman las medidas diarias con el microcomparador durante 4 días para medir la expansión, una vez sacada el espécimen del agua, se escurre y se hace secar exteriormente durante 20 min. Se realizó la prueba de penetración mediante la prensa CBR y se registran los datos de la curva presión penetración.

El ensayo de CBR se realiza con la finalidad de diseñar, el espesor del pavimento de concreto poroso, AASHTO 93 requiere este valor, es por esta razón que se realiza este ensayo.

Figura 49

Mezclado de material de suelo



Nota: Se muestra en la figura el mezclado y saturación con el contenido de humedad óptimo para efectuar el ensayo de CBR.

Figura 50

Medidas realizadas con el microcomparador



Nota: Se muestra en la imagen la toma de medidas con el microcomparador lo cual mide la expansión, donde se controló durante 4 días.

Según el ensayo de Proctor modificado se obtuvo un contenido de humedad óptimo 13.80% y una densidad seca de 1.83 gr/cc.

De acuerdo al ensayo se obtuvo el suelo con un 19.5% de CBR.



3.6.5.1 CBR de diseño

Acevedo & Bonilla (1967), indica que el “CBR de diseño está dado por los criterios de la Media y del Instituto del Asfalto, para cada unidad de diseño. Se Utiliza un percentil de acuerdo al tránsito de diseño o tráfico vehicular”.

El CBR de diseño para la subrasante es determinado al 95 % de la compactación según la norma (C.E. Pavimentos Urbanos pág. 20), el resultado obtenido es de 15.5%.

3.7 ESTUDIO TOPOGRÁFICO

3.7.1 Levantamiento topográfico

Se efectuó levantamiento topográfico con el equipo de la estación total, se coloca la estación del trípode y luego se coloca el equipo se ajusta con el seguro, se nivela con los tornillos de la estación, se pone un punto de control, se tomó las coordenadas con GPS; después se configura selección del archivo de trabajo y se tomaron todos los datos necesarios.

Figura 51

Configuración de la estación total



Nota: En la imagen se muestra la configuración de la estación total para realizar el levantamiento topográfico.

Figura 52

Lectura de puntos: con estación total



Nota: Se muestra en la figura la obtención de los puntos en el eje de la vía.

3.7.2 Nivelación

Se realizó la nivelación con nivel de ingeniero, lo cual consistió en estacionar el trípode, después colocar el nivel de ingeniero, nivelar la burbuja nivelante con los tornillos del nivel, se toma la cuota del lugar de estacionamiento y se mide la altura del nivel. Se comenzó a realizar la nivelación tomando las vistas atrás intermedias y adelante.

3.8 ESTUDIO HIDROLÓGICO

El agua de lluvia es necesaria para confirmar si el concreto poroso puede dispersar la máxima cantidad de agua de lluvia que cae en Juliaca; la Tabla 36 muestra la precipitación en Juliaca en los últimos 20 años según lo reportado por SENAMHI.

Tabla 36

Precipitación pluvial de los 20 años últimos en Juliaca

Est.	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	P max
E-Jul.	2002	10.8	32.7	16.7	13.4	12.4	1.6	8.0	6.1	10.6	63.3	12.6	19.0	63.3
E-Jul.	2003	29.0	18.9	22.3	1.7	2.9	4.4	0.5	0.3	16.8	5.0	17.6	36.5	36.5
E-Jul.	2004	32.8	15.9	17.9	7.8	0.0	0.2	0.7	15.0	22.5	2.8	6.8	20.5	32.8
E-Jul.	2005	16.4	47.4	41.0	18.7	0.0	0.0	0.0	1.8	11.3	23.7	15.2	15.0	47.4
E-Jul.	2006	23.3	23.2	30.3	4.4	0.8	2.0	0.0	0.7		24.2	21.4	23.5	30.3
E-Jul.	2007	14.4	19.4	39.3	24.9		0.1	5.9	0.8	5.7		33.5		39.3
E-Jul.	2008	45.0	11.1	11.0		0.4	0.6		0.9	1.1	25.2	13.8	33.6	45.0
E-Jul.	2009	27.9	28.9	27.5		0.0	0.0	1.0		6.1		18.3		28.9
E-Jul.	2010	20.2	17.1	12.5	4.8	10.0	0.4	0.4	0.0	0.2	9.4	11.9	10.9	20.2
E-Jul.	2011	6.9	55.4	12.9	7.3	4.8	0.0	3.6	2.5	4.3	7.5	21.0		55.4
E-Jul.	2012	22.1	23.0	20.7	14.0	0.0			20.0	0.3	7.1			23.0
E-Jul.	2013		27.9	11.6	6.6	2.6	3.8	2.1	3.8		11.6	12.4	28.5	28.5
E-Jul.	2014	37.0	15.8	22.2	9.1	0.3	0.1	4.5	3.3	24.8	23.5	5.3	16.6	37.0
E-Jul.	2015	17.3	17.5	17.6	33.6	2.3	0.6	2.0	6.3	24.2	12.7	8.7	20.8	33.6
E-Jul.	2016	15.7	36.6		11.7	0.0	1.8	4.2	0.0	0.4	10.4	9.0	19.7	36.6
E-Jul.	2017	24.0	12.7	36.7	9.0	10.0	0.0	5.1	0.0	8.3	26.9	19.1	61.8	61.8
E-Jul.	2018	19.9	32.6	22.2	16.3	10.7	9.0	15.8	0.0	0.2	22.4	20.4	22.2	32.6
E-Jul.	2019	22.1		24.2	17.0	7.1	2.8	8.9	0.0	10.3	25.5	23.7	17.3	25.5
E-Jul.	2020	13.5	33.5	22.7			0.0	0.0	0.0	10.9	8.2	9.3	13.5	33.5
E-Jul.	2021	27.9	4.1	12.2	13.4	13.3	0.5	0.0	7.4	16.0	29.4	19.8	17.9	29.4
E-Jul.	2022	14.5	15.3	10.6	15.7	0.1	0.0	54.1	0.0	0.0	0.2	0.0	4.1	54.1

Fuente: *SENAMHI*

Por este motivo, se utilizará un factor de seguridad del 10%, ya que la intensidad máxima debe ser superior a la precipitación máxima prevista, que disminuiría con el tiempo debido a la colmatación indica (Mamani & Valera, 2021).

$$\text{Precipitación max} = 63.3\text{mm} * 10$$

$$\text{Precipitación max} = 633.00\text{mm}$$

Filtración que se va requerir $633\text{mm/h} = 633\text{mm} * 1\text{h}/60\text{min} = 10.55\text{mm}/\text{min} = 0.176\text{mm}/\text{s}$; cada mm es 1 litro de agua en un área de 1 m², se podría suponer que el valor más alto de la precipitación pluvial que se puede presentar es de 0.176mm/s; este valor se analizará con el valor de la permeabilidad del concreto poroso obtenido en el laboratorio.

Tabla 37

Calificación del coeficiente de permeabilidad

Grado de permeabilidad	Coficiente de permeabilidad (cm/s)	coeficiente de permeabilidad según ACI 522 (cm/s)
Eficiente	0.1	0.14 a 1.22
Regular	0.1 a 0.001	Resultado alcanzado en
Baja	0.001 a 0.00001	laboratorio de 0.164 cm/s en
Deficiente	0.00001 a 0.0000001	el tercer diseño con adición de
Impermeable	menor a 0.0000001	agregado fino en 10%.

Fuente: (Braja M. Das, 2013, pág. 122) y la norma (ACI-522R-10, 2015, pág. 13)

3.9 DISEÑO ESTADÍSTICO Y HIPOTESIS DE PRUEBA

3.9.1 Análisis estadístico

Nos permite evaluar los resultados basándonos en criterios estadísticos y nos da una confiabilidad de los datos obtenidos de las pruebas, para calcular se deberá seguir el siguiente procedimiento.

Hernández et al. (2014), indica que el “análisis de varianza unidireccional de un factor (ANOVA), El análisis de la varianza permite contrastar la hipótesis nula de que las medias de K poblaciones ($K > 2$) son iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos una de las poblaciones difiere de las demás en cuanto a su valor esperado. Este contraste es fundamental en el análisis de resultados experimentales, en los que interesa comparar los resultados de K tratamientos o factores con respecto a la variable dependiente o de interés”.

Cuando se supone que H_0 es cierta, la varianza total de los datos con respecto a la media global (SCT), que es una estimación de σ^2 generada a partir de toda la información de la muestra, se divide en dos mitades:

- La variación dentro de la muestra (SCD), también conocida como variación intra-grupo, mide los valores de cada muestra de su media y cuantifica la dispersión.
- Variación entre muestras (SCE) o Inter-grupos, cuantifica la dispersión de las medias de las muestras con respecto a la media global.
- La dispersión de las medias muestrales, la media global se cuantifica mediante la dispersión de los datos (SCE), también conocida como variación inter-grupos.

Se determinan los elementos de la siguiente manera:

$$\text{Media global: } \bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}}{N}$$

$$\text{Variación total: } SCT = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x})^2$$

$$\text{Variación intra grupos: } SCD = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{X}_j)^2$$

$$\text{Variación inter grupos: } SCE = \sum_{j=1}^k (\bar{X}_j - \bar{x})^2 n_j$$



Siendo x_{ij} el i -ésimo valor de la muestra j -ésima; n_j el tamaño de dicha muestra y \bar{X} su media.

El cociente entre ellas se promueve según una F de Snedecor con $K-1$ grados de libertad en el numerador y $N-K$ grados de libertad en el denominador cuando la hipótesis nula es cierta. $SCE/K-1$ y $SCD/n-K$ las cuales son estimadores insesgados de la varianza poblacional cuando éste es el caso. Como resultado, si H_0 es correcta, se anticipa que la relación entre las dos estimaciones será cercana a 1, por lo que H_0 será refutada si la relación se desvía mucho de 1.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta parte del capítulo se presentan los datos alcanzados de las pruebas en estado fresco y endurecido, así como las propiedades mecánicas que son la resistencia a la compresión simple y las propiedades hidráulicas en cada diseño, se incluyeron en el estudio de la permeabilidad aumentando el peso de los componentes en un 5%, 10% y 15%, respectivamente, mediante la adición de agregado fino.

4.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONCRETO POROSO EN ESTADO FRESCO

4.1.1 Trabajabilidad y Asentamiento del concreto poroso

Tabla 38

Trabajabilidad y asentamiento del concreto poroso

Tipo	Trabajabilidad	Consistencia	Slump
Concreto poroso H-8	Poco trabajable	Seca	0"
Concreto poroso H-8 + 5% fino	Poco trabajable	Seca	0"
Concreto poroso H-8 + 10% fino	Poco trabajable	Seca	0"
Concreto poroso H-8 + 15% fino	Poco trabajable	Seca	0"

Nota: Se observa en la tabla 38 la consistencia es seca, el asentamiento es de 0".

Para el concreto poroso para todos los concretos diseñados con adición de agregado fino, cuando se le adiciona 15% de fino me es un poco más trabajable, siendo uno de los aspectos que mejora sin embargo sigue siendo poco trabajable, se interpreta que se tendrá dificultades al construir los pavimentos de concreto poroso.

4.2 RESULTADO DE LA PROPIEDAD MECÁNICA DEL CONCRETO

POROSO

4.2.1 Resistencia a la compresión simple

4.2.1.1 Resultados de la resistencia a la compresión simple del concreto poroso

huso -8

Tabla 39

Resistencia de la compresión simple: concreto poroso huso -8

Grupos de prueba	Edad (días)	Área (cm ²)	Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Lectura del dial (kg)	Resistencia obtenida (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
E-01	7	176.95	175	13090	74.07	
E-02	7	176.71	175	12910	73.07	71.93
E-03	7	177.25	175	12160	68.66	
E-04	14	177.34	175	18190	102.9	
E-05	14	176.98	175	17370	98.28	99.68
E-06	14	176.72	175	17295	97.87	
E-07	28	176.74	175	23094	130.67	
E-08	28	177.24	175	23514	132.67	130.67
E-09	28	176.68	175	22733	128.67	

Nota: Se aprecia en la tabla resultados a la compresión simple de especímenes (E) a los 7 días, 14 días y 28 días del primer diseño.

4.2.1.2 Resultados de la resistencia a la compresión simple del concreto poroso huso

-8 +adición de agregado fino en 5%.

Tabla 40

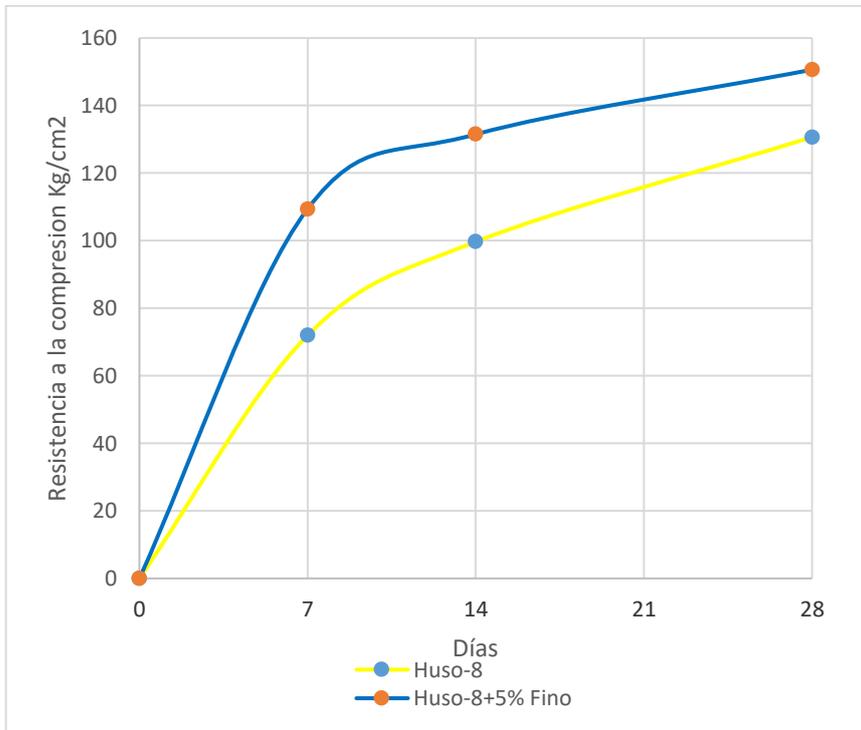
Resistencia a la compresión: concreto poroso huso - 8 +adición en 5% fino

Grupos de prueba	Edad (días)	Área (cm ²)	Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Lectura del dial (kg)	Resistencia obtenida (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
T-01	7	177.65	175	18860	106.16	
T-02	7	176.71	175	18960	107.29	109.39
T-03	7	176.84	175	20283	114.70	
T-04	14	176.45	175	23100	130.92	
T-05	14	177.33	175	23260	131.17	131.49
T-06	14	176.71	175	23396	132.40	
T-07	28	177.15	175	26359	148.79	
T-08	28	176.98	175	26954	152.29	150.63
T-09	28	177.07	175	26702	150.79	

Nota: Se aprecia en la tabla los datos obtenidos de la prueba de compresión simple de especímenes (T) a los 7 días, 14 días y 28 días del segundo diseño.

Figura 53

Evolución: concreto poroso con adición de agregado fino en 5%



Nota: Se puede apreciar en la figura a 7, 14, y 28 días el aumento en su resistencia a la compresión respecto a la muestra de patrón es de 37.46 kg/cm², 31.81 kg/cm² y 19.96 kg/cm², estos resultados indican bastante incremento en la resistencia a la compresión al agregarle 5% de fino.

4.2.1.3 Resultados de la resistencia a la compresión simple del concreto poroso huso

- 8 +adición de agregado fino en 10%.

Tabla 41

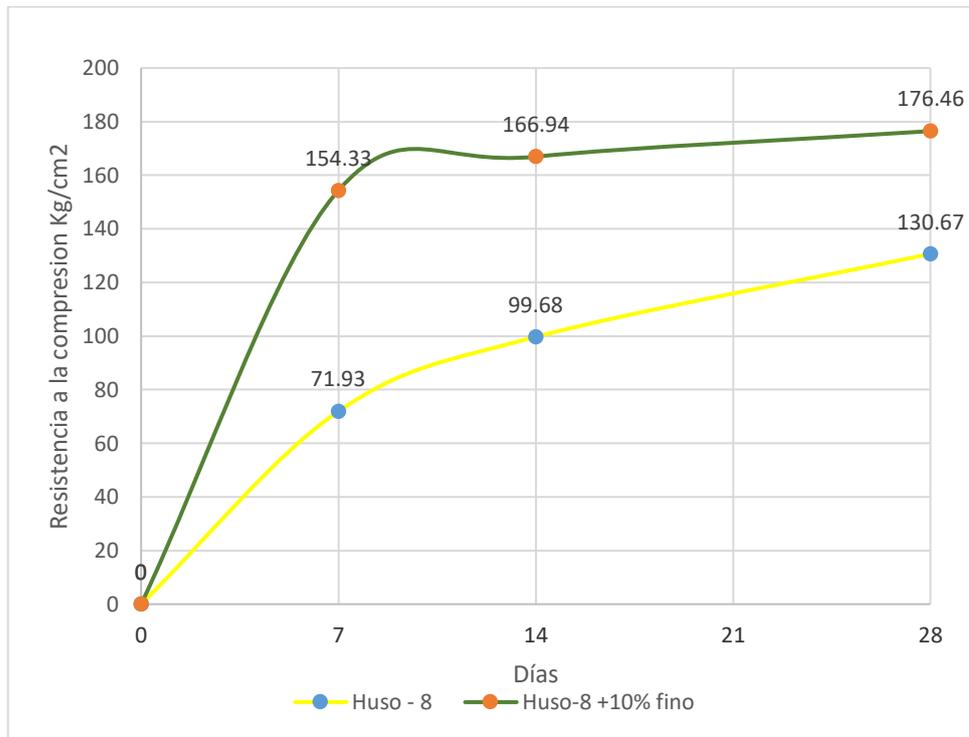
Resistencia a la compresión: concreto poroso huso -8 +adición en 10% fino

Grupos de prueba	Edad (días)	Área (cm ²)	Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Lectura del dial (kg)	Resistencia obtenida (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
M-01	7	176.75	175	26972	152.60	
M-02	7	176.71	175	27830	157.49	154.33
M-03	7	177.38	175	27121	152.90	
M-04	14	177.23	175	29856	168.46	
M-05	14	176.77	175	29282	165.65	166.94
M-06	14	176.71	175	29458	166.70	
M-07	28	177.08	175	31245	176.45	
M-08	28	176.88	175	31541	178.32	176.46
M-09	28	177.38	175	30971	174.60	

Nota: Se observa los datos obtenidos de la tabla y los promedios de la prueba de resistencia a la compresión del concreto poroso (M), con diseño patrón y con una adición de agregado fino al 10%. A 7 días, el resultado promedio fue de 154.33 kg/cm², y a 14 días, de 166.94 kg/cm², y a 28 días, de 176.46 kg/cm².

Figura 54

Evolución del concreto poroso: con adición de agregado fino en 10%.



Nota: Se puede apreciar en la figura 54 a 7, 14 y 28 días el aumento en la resistencia a la compresión respecto a la muestra de patrón en 82.4 kg/cm², 67.26 kg/cm² y 45.79 kg/cm², estos datos indican bastante incremento en su resistencia a la compresión al añadir 10% de fino.

4.2.1.3 Resultados de la resistencia a la compresión: concreto poroso huso - 8 +adición de agregado fino en 15%.

Tabla 423

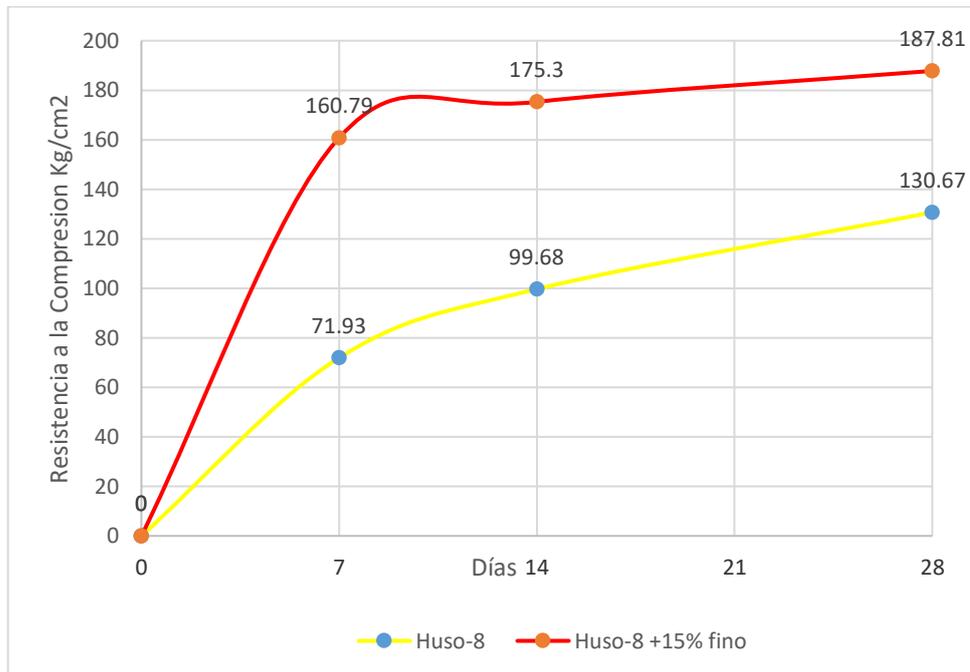
Resistencia a la compresión: concreto poroso huso -8 +adición en 15% fino

Grupos de prueba	Edad (días)	Área (cm ²)	Resistencia de diseño (kg/cm ²)	Lectura del dial (kg)	Resistencia a obtenida (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
N-01	7	177.06	175	28370	160.23	
N-02	7	177.23	175	29010	163.69	160.79
N-03	7	177.41	175	28111	158.45	
N-04	14	176.71	175	31003	175.45	
N-05	14	176.86	175	30538	172.67	175.30
N-06	14	177.39	175	31539	177.79	
N-07	28	176.71	175	32170	182.05	
N-08	28	177.24	175	34330	193.69	187.81
N-09	28	176.9	175	33200	187.68	

Nota: Se aprecia en la tabla los datos obtenidos de la prueba de compresión simple de especímenes (N) a 7, 14 y 28 días del cuarto diseño.

Figura 55

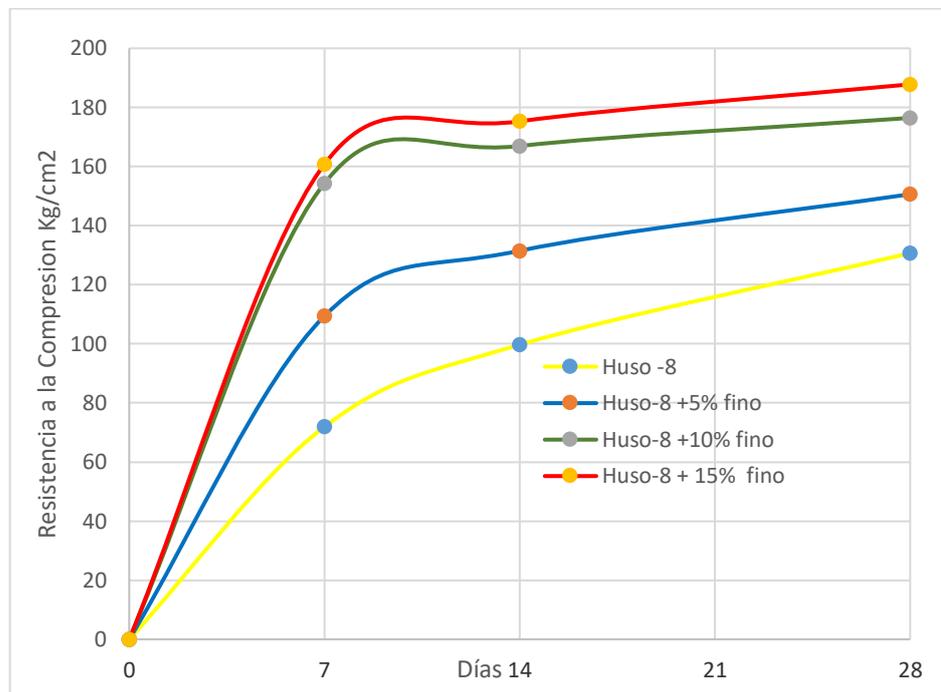
Evolución del concreto poroso: con adición de agregado fino en 15%.



Nota: Se puede apreciar en la figura a 7, 14 y 28 días el aumento en su resistencia de la compresión respecto a la muestra de patrón en 88.86 kg/cm², 75.62 kg/cm² y 57.14 kg/cm², consecutivamente.

Figura 56

Evolución del concreto poroso: en cada diseño



Nota: Se muestra en la figura curado a los 7 días, puede observarse el crecimiento de la resistencia del concreto poroso en todos los grupos, que al añadir agregado fino en 5% aumentó la resistencia en 88,86 kg/cm², comparando con el testigo de prueba.

Curado a los 14 días, se aprecia el crecimiento de la resistencia a la compresión simple del concreto poroso en cada diseño, que al aumentar el agregado fino en un 10% por encima de la muestra estándar incrementa la resistencia en 75,62 kg/cm².

Curado a los 28 días, puede demostrarse a partir del desarrollo de la resistencia a la compresión simple del concreto poroso en cada diseño, que al añadir un 15% de agregado fino que la muestra estándar da lugar a un aumento de la resistencia de 57,14 kg/cm².

Como puede observarse, al usar agregados finos mejora la resistencia de especímenes de concreto poroso.



4.3 RESULTADOS PARA LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS

Para las propiedades hidráulicas se evaluó a los 14 días por conveniencia, ya que el concreto poroso es independiente ya que el curado no varía la porosidad que tendrá ya sea a los 7 días, 14 días o 28 días son lo mismo para realizar el ensayo

4.3.1 Permeabilidad en el concreto poroso

4.3.1.1 Resultados de la permeabilidad del concreto poroso H-8

Tabla 434

Coefficiente de permeabilidad del concreto poroso de la muestra patrón H-8

Grupos de prueba	L (cm)	A (cm ²)	A (cm ²)	T (s)	H1 (cm)	H2 (cm)	K (cm/s)	K promedio (cm/s)
H-8 Sin fino	20.12	80.118	90.08	130	30	1	0.468	
H-8 Sin fino	20.06	78.54	90.08	138	30	1	0.431	0.445
H-8 Sin fino	20.04	81.713	90.08	142	30	1	0.435	

Nota: Se muestra los datos de coeficiente de permeabilidad de la muestra de patrón curado a los 14 días del Huso-8 sin agregado fino obteniendo un promedio de 0.445 cm/s.



4.3.1.2 Resultados de la permeabilidad del concreto poroso H-8 +5% de agregado fino

Tabla 44

Coefficiente de permeabilidad del concreto poroso de la muestra patrón H-8 + 5% A. fino.

Grupos de prueba	L (cm)	A (cm ²)	A (cm ²)	T (s)	H1 (cm)	H2 (cm)	K (cm/s)	K
								promedio (cm/s)
H-8 +5% fino	20.1	80.118	90.08	210	30	1	0.290	
H-8 +5% fino	20.05	78.54	90.08	224	30	1	0.265	0.279
H-8 +5% fino	20.02	81.7130	90.08	218	30	1	0.283	

Nota: Según la tabla 44 indica coeficiente promedio de la permeabilidad del concreto poroso con adición de agregado fino en 5% es de 0.279 cm/s con una edad de 14 días, disminuye su coeficiente de permeabilidad con respecto al testigo patrón en 0.165 cm/s.

4.3.1.3 Resultados de la permeabilidad del concreto poroso H-8 +10% de agregado

fino

Tabla 45

Coefficiente de permeabilidad del concreto poroso de la muestra patrón H-8+10% A.

fino

Grupos de prueba	L (cm)	a (cm ²)	A (cm ²)	T (s)	H1 (cm)	H2 (cm)	K (cm/s)	K
								promedio (cm/s)
H-8 +10% fino	20.08	80.118	90.08	360	30	1	0.169	
H-8 +10% fino	20.10	78.54	90.08	376	30	1	0.159	0.164
H-8 +10% fino	20.11	81.713	90.08	378	30	1	0.164	

Nota: de acuerdo en la tabla indica coeficiente promedio de la permeabilidad, con adición de agregado fino en 10% es de 0.164 cm/s, curado a los 14 días, disminuye su coeficiente de permeabilidad con respecto al concreto patrón en 0.281 cm/s.

4.3.1.4 Resultados de la permeabilidad del concreto poroso H-8 +15% de agregado

fino

Tabla 46

Coefficiente de permeabilidad del concreto poroso de la muestra patrón H-8+15% A.

fino

Grupos de prueba	L (cm)	a (cm)	A (cm ²)	T (s)	H1 (cm)	H2 (cm)	K (cm/s)	K
								promedio (cm/s)
H-8 +15% fino	20.02	80.118	90.08	540	30	1	0.112	
H-8 +15% fino	20.00	78.54	90.08	562	30	1	0.106	0.108
H-8 +15% fino	20.06	81.713	90.08	580	30	1	0.107	

Nota: según la tabla 46 indica coeficiente promedio de la permeabilidad del concreto poroso al añadir agregado fino en 15% es de 0.108 cm/s con una edad de 14 días de curado, disminuye su coeficiente de permeabilidad con respecto al concreto patrón en 0.337 cm/s.

4.3.1.5 Capacidad de filtraciones en el barrio La Capilla de la ciudad de Juliaca

Tabla 47

Capacidad de filtración de probetas de diseño

Grupo de prueba	Diámetro (m)	Altura del agua	Tiempo (s)	Caudal de Filtración (L/s)	Caudal Promedio (L/s)
H-8 Sin fino	0.101	0.3	130	0.018	0.017
H-8 Sin fino	0.100	0.3	138	0.017	
H-8 Sin fino	0.102	0.3	142	0.017	
H-8 +5% fino	0.101	0.3	210	0.011	0.011
H-8 +5% fino	0.100	0.3	224	0.010	
H-8 +5% fino	0.102	0.3	218	0.011	
H-8 +10% fino	0.101	0.3	360	0.006	0.006
H-8 +10% fino	0.100	0.3	376	0.006	
H-8 +10% fino	0.102	0.3	378	0.006	
H-8 +15% fino	0.101	0.3	540	0.004	0.004
H-8 +15% fino	0.100	0.3	562	0.004	
H-8 +15% fino	0.102	0.3	580	0.004	

Nota: Según en la tabla 47 muestra una relación entre su caudal de filtración y el coeficiente de permeabilidad, que a mayor permeabilidad será mayor el caudal de filtración, se realizaron para este ensayo en probetas con una medida de 4"x8" con un área de 0.007854 m².

Tabla 48

Capacidad de filtración: por m² para cada diseño del concreto poroso

Grupo de prueba	Caudal de filtración promedio L/s	Caudal de filtración promedio 1m ² (L/s)	Precipitación máxima 1m ² (L/s)
H-8 Sin fino	0.0176	2.242	0.176
H-8 5% fino	0.0111	1.409	0.176
H-8 10% fino	0.0065	0.824	0.176
H-8 15% fino	0.0043	0.546	0.176

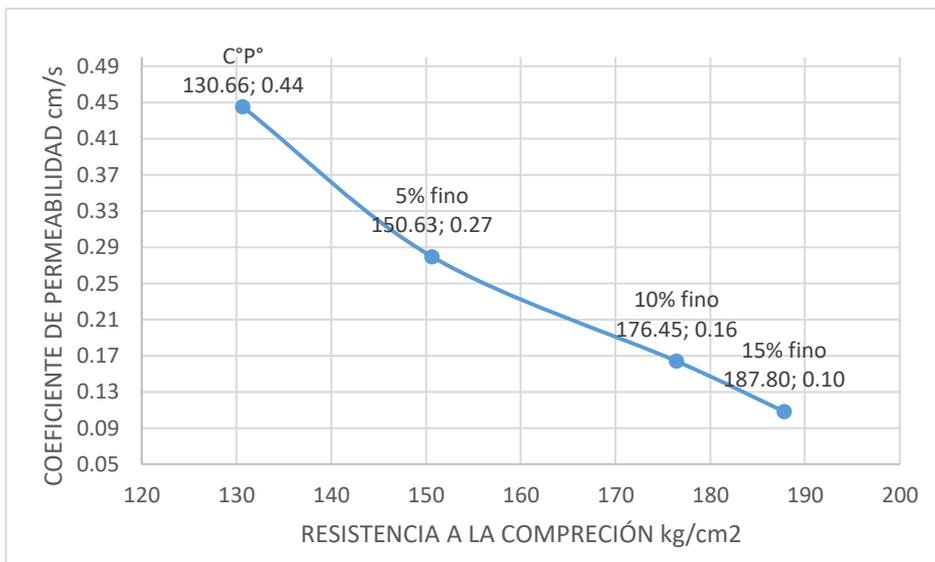
Nota: De acuerdo a la tabla anterior presenta resultados de caudal de filtración de acuerdo al diseño.

La precipitación pluvial, que el caudal de filtración promedio de concreto poroso de Huso-8 con agregado fino en 0%, 5%, 10% y 15% presenta mayores filtraciones que la precipitación máxima calculados para 1 m², se afirma que estos concretos porosos evacuaran de manera óptima la precipitación pluvial del barrio La Capilla de la ciudad de Juliaca.

4.4 INTERPRETACIÓN DEL CONCRETO POROSO: PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRÁULICAS

Figura 57

Resistencia a la compresión simple vs permeabilidad del concreto poroso



Nota: Según en la figura, al añadir agregado fino aumenta la resistencia a la compresión del concreto poroso en las adiciones de 5%, 10% y 15%, aunque el coeficiente de permeabilidad disminuye muy significativamente.

Estos factores nos permiten categorizar la importancia relativa de las tres cualidades del concreto poroso. Dado que el concreto poroso añadido con agregado fino se colocará en un pavimento y se aplicará a la capa de rodadura del mismo, estas tres características del concreto poroso serán las más predominantes en un pavimento. Por lo tanto, la resistencia a la compresión producida por el peso de los vehículos es la propiedad mecánica que domina al pavimento.



4.5 DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO PERMEABLE

4.5.1 Diseño del pavimento: método AASHTO 93

Para el diseño de la estructura del pavimento rígido de la guía establecida es usada en nuestro medio el método AASHTO 93, es la razón para usar, determinar el espesor, recomendada por este manual que es el (Manual de Carreteras, 2013).

Subbase

Para el diseño del pavimento la subbase se tomó 0.30 cm, según la norma de (Manual de Carreteras, 2013), indican 15 cm de subbase debe tener como mínimo.

Parámetros de diseño.

a) Serviciabilidad.

(PO) es el índice de serviciabilidad inicial, es obtenida de qué manera se encuentra el pavimento, posterior a su construcción o rehabilitación. (Manual de carreteras, 2013), establece para pavimentos rígidos un valor de acuerdo al volumen de tránsito.

La superficie del pavimento deja de satisfacer las normas de confort y seguridad exigidas por el usuario, momento en el que se alcanza el índice de servicio final (Pt).



Tabla 49

Índice de serviciabilidad

Tipo de camino	Trafico	Ejes Equivalentes		(Pi) Serviciabili dad inicial	(Pt) Serviciabi lidad final	Incremento de serviciabilidad (Δpsi)
Camino de bajo volumen de transito	Tp1	150001	300001	4.10	2.00	2.10
	Tp2	300001	500001	4.10	2.00	2.10
	Tp3	500001	750001	4.10	2.00	2.10
	Tp4	750001	1000000	4.10	2.00	2.10

Fuente: (Manual de Carreteras, 2013, pág. 274)

De la tabla se toma valores de índice de serviciabilidad según eje equivalente de 500,000.00 un Pi de 4.10 y Pt de 2.00.

b) Tránsito.

El ESAL obtenido de la norma Manual de carreteras de pavimentos urbanos, donde indica el ESAL de 500000 para zonas de bajo tránsito o lugares residenciales.

c) Periodo de diseño.

El periodo de diseño según las vías se clasificación.

Tabla 50*Periodo de diseño*

Clasificación de la vía	Ciclo de análisis (años)
Urbano de alto volumen de tránsito	30 - 50
Rural de alto volumen de tránsito	20 - 50
Pavimentado de bajo volumen de tránsito	15- 25
No pavimentada de bajo volumen de tránsito	Oct-20

Fuente: (AASHTO, 1993)

Para el periodo de diseño según la norma el lugar de proyecto es de bajo volumen de tráfico por esta razón se selecciona 20 años.

d) Módulos de rotura: para el concreto poroso como capa de rodadura.**Módulo de elasticidad del concreto.**

La fórmula es utilizada para determinar el módulo de elasticidad utilizando el enfoque AASHTO basado en la resistencia a la compresión adquirida:

$$EC = 57000\sqrt{F'c}$$

(F'c) resistencia a la compresión a los 28 días en (psi).

Tabla 51*Módulo de elasticidad*

Descripción	PSI
M. de elasticidad H-8	2457330.93
M. de elasticidad H-8 + adición de fino en 5%	2638344.12
M. de elasticidad H-8 + adición de fino en 10%	2855609.64
M. de elasticidad H-8 + adición de fino en 15%	2946486.26

Nota: Se observa en la tabla los datos obtenidos de módulo de elasticidad de los cuatro diseños.



e) Confiabilidad

La fiabilidad es la probabilidad de que el pavimento cuando funcione bien a lo largo de su vida de diseño, teniendo en cuenta todos los factores de tráfico y medio ambientales existentes durante el diseño.

Tabla 52

Confiabilidad de periodo de diseño

Tipo de camino	Trafico	Ejes Equivalentes		Nivel de confiabilidad R	Desviación Estándar normal ZR
Camino de bajo volumen de transito	Tp1	150001.00	300001.00	4.10	2.00
	Tp2	300001.00	500001.00	4.10	2.00
	Tp3	500001.00	750001.00	4.10	2.00
	Tp4	750001.00	1000000.00	4.10	2.00

Fuente: (Manual de Carreteras, 2013, pág. 275)

Para esta zona de estudio se selecciona un 75% de confiabilidad.

f) Desviación estándar

La desviación típica, que incorpora la variabilidad inherente y su proceso de construcción, es la divergencia con respecto a la población, los datos obtenidos por AASHTO.

Tabla 53

Desviación estándar

Condición de diseño	Desviación estándar Pav. Rígido
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores de tránsito	0.34
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores de tránsito	0.39

Fuente: (AASHTO 93)

Para este diseño se toma en cuenta la norma, manual de carreteras en donde recomienda el uso de $S_o=0.35$.

g) Coeficiente de drenaje

AASHTO sugiere datos para el coeficiente de drenaje C_d , que se basa en la capacidad de sus componentes de la estructura del pavimento para evacuar las aguas de lluvia.

Tabla 54

Coeficiente de drenaje

Cd	Tiempo en que el suelo expulsa el 50% de su agua	% de tiempo su estructura del pavimento está a nivel de humedad cerca de la saturación			
		< 1%	1% - 5%	5% - 25%	>25%
Valoración					
Excelente	2 horas	1.25 a 1.20	1.25 a 1.15	1.15 a 1.10	1.1
Bueno	1 día	1.20 a 1.15	1.15 a 1.10	1.10 a 1.00	1
Regular	1 semana	1.15 a 1.10	1.10 a 1.00	1.00 a 0.90	0.9
Pobre	1 mes	1.10 a 1.00	1.00 a 0.90	0.90 a 0.80	0.8
Demasiado pobre	Nunca	1.00 a 0.90	0.90 a 0.80	0.80 a 0.70	0.7

Fuente: (AASHTO 93)



Para este diseño se toma el valor de coeficiente de drenaje 1.00 para una precipitación media anual de 207 mm, de lo que estaría entre 2% y 4% expuesta a nivel de humedad cercanas a la saturación, teniendo una calificación de drenaje regular.

h) Coeficiente de transmisión de carga

Para reducir las deflexiones en las juntas, las cargas de tránsito deben transferirse de una losa a la siguiente de forma eficaz. La losa de concreto falla como consecuencia de las deflexiones excesivas que bombea la subbase.

$$SI\ CBR > 10$$

$$K = 46 + 9.08 * (\log(CBR))^{4.34}$$

$$SI\ CBR < 10$$

$$K = 2.55 + 53.5 * \log(CBR)$$

En este diseño se tiene un CBR 15.5% se tiene un coeficiente de transmisión de carga 278.86 pci.

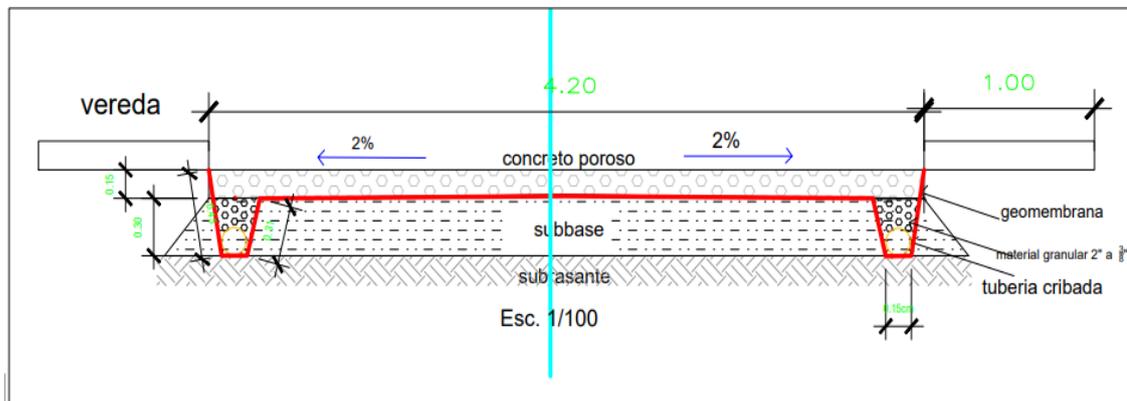
Utilizando el método diseño de (AASHTO, 1993), para pavimentos rígidos se realizan los cálculos obteniendo un espesor de 15 cm de concreto poroso.

4.5.1 Secciones de pavimento poroso

Se tiene diseño de pavimento de concreto poroso para evacuar las aguas pluviales, cuenta con una capa de impermeabilización la cual no permite la filtración del agua a la sub base, en ambos lados se plantea tubería cribada la cual tendrá la función de evacuar las aguas de lluvia.

Figura 58

Sección del pavimento poroso



Nota: En la figura se muestra sección del pavimento poroso en donde se determinó un espesor de 15 cm de pavimento poroso, en la parte inferior se encuentra una línea de color rojo de geomembrana para impermeabilizar la sub base, planteando para la sub base la cantera Taparachi con CBR de 90%.

En esta investigación se plantea para zonas de bajo tránsito vehicular, para ello se impermeabiliza la sub base con geomembrana, se diseña con subdrenes para la evacuación de aguas pluviales, es importante la topografía que tiene el lugar para evacuar el agua, en el barrio La Capilla al realizar el levantamiento topográfico se tiene una pendiente de 0.5% en donde se puede aplicar el pavimento de concreto poroso con subdrenes.

La permeabilidad del concreto poroso a nivel pavimento la filtración es vertical, una vez alcanzado a la geomembrana la filtración es hacia los subdrenes es horizontal.

4.5.2 Análisis de costo

El análisis de costos que aquí se ofrece se basa en los precios del año 2023 y, para que la comparación sea significativa, se considera que los presupuestos se crearon en circunstancias idénticas. Se toma en consideración una carretera de 4,20 metros de ancho y dos carriles.

Tabla 55*Costo de un pavimento de concreto poroso*

Descripción	Und	Cantidad	P.U.	Costo
Corte a nivel de subrasante	m3	1.47	2.83	4.16
Eliminación de material excedente	m3	1.98	4.15	8.24
Nivelación y compactación de la subrasante	m2	4.20	2.10	8.82
Conformación y compactación de la subbase	m2	4.20	19.97	83.87
Geomembrana	m2	6.40	10.81	69.18
Concreto $f'c= 175\text{kg/cm}^2$	m3	0.59	390.88	229.84
Curado	m2	4.20	1.56	6.55
Corte de juntas	ml	1.30	7.05	9.17
Instalación de tuberías	ml	2.10	10.00	21.00
Costo por metro lineal				440.83

Nota: Se muestra en la tabla los costos para un pavimento de concreto poroso con las actividades más incidentes para el análisis de costos.

Tabla 56*Costo de un pavimento convencional*

Descripción	Und	Cantidad	P.U.	Costo
Corte a nivel de subrasante	m3	1.47	2.83	4.16
Eliminación de material excedente	m3	1.98	4.15	8.24
Nivelación y compactación de la subrasante	m2	4.20	2.10	8.82
Conformación y compactación de la subbase	m2	4.20	19.97	83.87
Concreto $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$	m3	0.59	372.50	219.03
Curado	m2	4.20	1.56	6.55
Corte de juntas	ml	1.30	7.05	9.17
Costo por metro lineal				339.84

Nota: Se puede apreciar en la tabla los costos de un pavimento convencional en donde se toma referencia a un proyecto que se tiene en la ciudad de Juliaca. Se tiene una diferencia de S/. 100.99 por metro lineal, elevado costo respecto al concreto convencional.

4.6 ANÁLISIS A NIVEL ESTADÍSTICO

En esta sección se analizan estadísticamente los resultados de las pruebas directas de resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto poroso.

4.6.1 Resistencia a la compresión simple

HE2: Las propiedades mecánicas y físicas del concreto poroso como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio La Capilla – Juliaca, presentan buena resistencia.

Prueba de normalidad

H₀: Los datos de resistencia a la compresión presentan una distribución normal

H_a: Los datos de resistencia a la compresión no presentan una distribución normal

La prueba de normalidad se realizó mediante Shapiro – Wilk, se debe que la cantidad de datos colocados corresponden a menores de 50.

Tabla 57

Prueba de normalidad: resistencia a la compresión

Prueba de normalidad	Adición de porcentaje de finos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Resistencia a la compresión	0% de fino	1.00	3	1.00
	5% de fino	0.99	3	0.84
	10% de fino	1.00	3	0.99
	15% de fino	1.00	3	0.96

Fuente: Datos sustraído del software SPSS

Regla de decisión:

Si el dato: $p < 0.05$ la hipótesis estadística alterna se acepta

Si el dato: $p > 0.05$ la hipótesis estadística nula se acepta

Conclusión:

La hipótesis estadística nula, que afirma que los resultados analizados presentan una distribución normal, será aceptada porque los valores p de la prueba de normalidad en el programa SPSS para analizar cada diseño de la resistencia a la compresión a los 28 días, son superiores a 0.05. Por lo tanto, es apropiado utilizar una prueba paramétrica como el análisis de varianza de un factor.

Prueba de análisis de varianza ANOVA de un factor

H₀: Las medias de cada grupo de resistencia a la compresión son iguales

H_a: Las medias de cada grupo de resistencia a la compresión son diferentes

Tabla 58

Prueba de homogeneidad de varianzas: resistencia a la compresión

Prueba de homogeneidad de varianzas			
Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
1,49	3	8	0,28

Fuente: Datos sustraídos del software SPSS

Tabla 59

Prueba de ANOVA de un factor: resistencia a la compresión

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5953.02	3	1984.34	178.58	0.001
Dentro de grupos	88.89	8	11.11		
Total	6041.91	11			

Fuente: Datos sustraídos del software SPSS

Tabla 60*Prueba post hoc: resistencia a la compresión*

(I) Adición de porcentaje de finos	(J) Adición de porcentaje de finos	Diferencia de medias (I-J)	Sig.
	5% de fino	-19.960	0.000
0% de fino	10% de fino	-45.787	0.000
	15% de fino	-57.137	0.000
	0% de fino	19.960	0.000
5% de fino	10% de fino	-25.827	0.000
	15% de fino	-37.177	0.000
	0% de fino	45.787	0.000
10% de fino	5% de fino	25.827	0.000
	15% de fino	-11.350	0.013
	0% de fino	57.137	0.000
15% de fino	5% de fino	37.177	0.000
	10% de fino	11.350	0.013

Fuente: Datos sustraídos del software SPSS

El ANOVA de un factor requiere analizar la prueba de homogeneidad de la varianza, lo que se muestra en la Tabla 60. Dado que la significación calculada es superior a 0.05, se rechazará la homogeneidad de la información de resistencia a la compresión.

El resultado de la prueba ANOVA se muestra en la Tabla 59, y dado que es inferior a 0.05, aceptaremos la hipótesis estadística alternativa que indica que las medias de los datos difieren, es decir, que los distintos porcentajes de finos añadidos al concreto poroso afectan a la resistencia a la compresión del espécimen.

Se aprecia en la tabla 60 la variación de medias mencionadas en la tabla 58, respecto al concreto patrón tenemos que, al adicionar un 15% de finos la diferencia de medias respecto al concreto patrón es de -57.136 lo que nos indica un aumento en la

resistencia superando al concreto patrón o de diseño mejorando su característica para ser usado en un proyecto de este tipo.

4.5.2 Análisis estadístico; permeabilidad del concreto poroso

HE3: La cantidad de agua pluvial que se evacua con el concreto poroso como alternativa en el drenaje vial urbano del barrio La Capilla – Juliaca, es favorable.

Prueba de normalidad

H₀: Los datos de permeabilidad presentan una distribución normal

H_a: Los datos de permeabilidad no presentan una distribución normal

La prueba de normalidad se realizó mediante Shapiro – Wilk, debido a que la cantidad de datos colocados corresponden a menores de 50.

Tabla 61

Prueba de normalidad: permeabilidad

Prueba de normalidad	Adición de porcentaje de finos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Permeabilidad	0% de fino	0.830	3	0.188
	5% de fino	0.939	3	0.525
	10% de fino	1.000	3	1.000
	15% de fino	0.871	3	0.298

Fuente: *Datos sustraídos del software SPSS*

Regla de decisión:

Si el dato: $p < 0.05$ la hipótesis estadística alterna se acepta.

Si el dato: $p > 0.05$ la hipótesis estadística nula se acepta.

Conclusión:

Para cada grupo de análisis en la permeabilidad, el valor p de la prueba de normalidad en el software SPSS es superior a 0.05, por lo que aceptaremos la hipótesis estadística nula, que afirma que los datos analizados presentan una distribución normal y que es adecuado utilizar una prueba paramétrica como el análisis de varianza de un factor.

4.5.4. Prueba de análisis de varianza ANOVA de un factor

H₀: Las medias de cada grupo de permeabilidad son iguales

H_a: Las medias de cada grupo de permeabilidad son diferentes

Tabla 62

Prueba de homogeneidad de varianzas: permeabilidad

Prueba de homogeneidad de varianzas			
Estadístico de Levene	df1	df2	Sig.
5.058	3	8	0.030

Fuente: *Datos sustraídos del software SPSS*

Tabla 63

Prueba de análisis de varianza ANOVA de un factor: permeabilidad

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.199	3	0.066	431.385	0.001
Dentro de grupos	0.001	8	0.000		
Total	0.200	11			

Fuente: *Datos sustraídos del software SPSS*

Tabla 64*Prueba de post hoc: permeabilidad*

(I) Adición de porcentaje de finos	(J) Adición de porcentaje de finos	Diferencia de medias (I-J)	Sig.
	Huso-8 sin fino	0.165	0.000
0% de fino	Huso-8 sin fino	0.281	0.000
	Huso-8 sin fino	0.336	0.000
	Huso-8 + 5% de fino	-0.165	0.000
5% de fino	Huso-8 + 5% de fino	0.115	0.000
	Huso-8 + 5% de fino	0.171	0.000
	Huso-8 + 10% de fino	-0.281	0.000
10% de fino	Huso-8 + 10% de fino	-0.115	0.000
	Huso-8 + 10% de fino	0.056	0.003
	Huso-8 + 15% de fino	-0.336	0.000
15% de fino	Huso-8 + 15% de fino	-0.171	0.000
	Huso-8 + 15% de fino	-0.056	0.003

Fuente: *Datos extraídos del software SPSS*

La prueba ANOVA de un factor requiere la prueba de homogeneidad de la varianza, que se muestra en la Tabla 64. La significación calculada es inferior a 0.05, por lo que se acepta la homogeneidad de los datos de permeabilidad.

Aceptaremos la hipótesis estadística alternativa que afirma que las medias de los datos son distintos, es decir, que los distintos porcentajes de finos añadidos al concreto poroso afectan a la permeabilidad, como muestra el resultado de la prueba ANOVA de la Tabla 63, que es inferior a 0.05.

En la tabla 64 se muestran la variación de medias mencionadas en la tabla 63, respecto al concreto patrón tenemos que, al adicionar un 15% de finos la diferencia de medias respecto al concreto patrón es de 0.336 lo que nos indica una disminución en la



permeabilidad llegando a reducir lo estimado en el concreto patrón, el concreto si cumple con la evacuación de aguas superficiales.

4.7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

- De la resistencia a la compresión simple

Flores & Pacompia (2015), indica la resistencia a la compresión que alcanzó a 28 días de curado con adición de 10% de fino de huso-8 a 172.23 kg/cm², 170.29 kg/cm² y 164.40 kg/cm² respectivamente, a pesar de que en su diseño de mezclas utilizaron agua cemento de 0.40. respecto a mi investigación utilice 0.35 de a/c, muestra patrón huso 8 sin fino llegando a una resistencia de compresión a los 28 días 130.67 kg/cm², con adición de 5% de agregado fino se alcanzó una resistencia de 150.63 kg/cm², con adición de agregado fino de 10% se obtuvo una resistencia a la compresión de 176.46 kg/cm² y con adición de 15% de agregado fino se alcanzó una resistencia a la compresión 187.81 kg/cm². Según los datos obtenidos se tiene un incremento del huso 8 +5% de fino de la resistencia en 15.28% respecto al patrón de diseño, del huso 8+10% de fino se tiene un incremento en 35.04% respecto al patrón, del huso 8+15% de fino obteniendo un incremento en 43.73% respecto al patrón de diseño.

- Del coeficiente de permeabilidad del concreto poroso

Guizado & Curi (2017), concluye que el coeficiente de permeabilidad de huso 8 con adición de 15% de arena es de 0.88 cm/s, teniendo espacios vacíos de 15% y con un volumen de pasta 22%, los coeficientes de permeabilidad obtenidos es del huso 8 sin adición de agregado fino 0.445 cm/s, huso 8 + 5% agregado fino dio un resultado de 0.279 cm/s disminuyendo respecto a la muestra de patrón, huso 8 + 10% agregado fino se tuvo un resultado de 0.164 cm/s y huso 8 + 15% de agregado fino obteniendo un coeficiente de permeabilidad 0.108 cm/s; se obtuvo un volumen de vacíos de 17% y



volumen de pasta de 26%, en esta tesis el coeficiente de permeabilidad obtenida es más alta.



V. CONCLUSIONES

- La eficiencia del pavimento de concreto poroso, mejora la evacuación de aguas pluviales, por lo cual se plantea sub drenes para la evacuación hacia el canal que se encuentra a una distancia de 600 metros.
- La adición de agregado fino en el concreto poroso en 5%, 10% y 15% mejora su resistencia a la compresión simple, pero su permeabilidad disminuye con respecto al concreto patrón al incrementar agregado fino, se tiene el diseño del pavimento de concreto poroso mediante AASHTO 93 obteniendo un espesor de 15 cm.
- Al incrementar agregado fino al concreto poroso en 5%, 10% y 15% la resistencia a la compresión aumenta en 19.96 kg/cm², 45.79 kg/cm² y 57.14 kg/cm² respecto a la muestra patrón, se evidencia el incremento de la resistencia al añadir agregado fino.
- Al añadir agregado fino en diferentes proporciones de 5%, 10% y 15% en el concreto poroso disminuye su permeabilidad los datos obtenidos fueron de 0.279 cm/s, 0.164 cm/s y 0.108 cm/s, el coeficiente de permeabilidad del concreto poroso patrón sin agregado fino se obtuvo 0.445 cm/s, analizando los resultados al añadir agregado fino en diferentes porcentajes disminuye su coeficiente de permeabilidad, sin embargo el concreto patrón, 5% y 10% están en el rango el cual es 0.14 cm/s a 1.22 cm/s; el 15% de adición de agregado fino, los requisitos mínimos no cumple lo que establece la norma ACI 522R según la permeabilidad, según el análisis hidrológico se tiene para el barrio La Capilla de la ciudad de Juliaca un coeficiente de permeabilidad de 0.176 (1m² L/s), según los ensayos realizados se toma la adición de 10% fino con una permeabilidad de 0.824 (1m² L/s).



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar este tipo de proyectos de investigación en lugares donde haya pendiente para la evacuación de aguas pluviales que se presenta en diferentes zonas.
- Realizar investigaciones con la finalidad de mejorar su resistencia a 210 kg/cm² y analizar las propiedades hidráulicas ya que al añadir agregado fino disminuye la permeabilidad.
- Evaluar la piedra chancada como agregado grueso para concreto poroso, con la finalidad de analizar el comportamiento de su resistencia y permeabilidad del concreto.
- Analizar parámetros de diseño, particularmente el a/c y % de vacíos en las que al incrementar puede variar las propiedades mecánicas del concreto poroso, con intención de ver su comportamiento de la resistencia a la compresión y su permeabilidad. Evaluar la energía de compactación aplicada, con el propósito de establecer una energía adecuada para este tipo de concreto poroso.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO 93. (1993). Método Aashto 93 Para El Diseño De Pavimentos Rígidos. *Aashto*, 1-26.
- Acevedo Vela, J. F., & Bonilla Arias, J. F. (1967). SELECCIÓN DE UNIDADES DE DISEÑO Y CBR PARA SUBRASANTE. En *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Número Mi).
- ACI-522R-10. (2015). *ACI-522R. (2010). Report on Pervious Concrete. ACI International. 10*(Reaprobado 2011).
- Asenjo Percy, D. V. (2020). *Diseño de un Subdrén para la Evacuación de las Aguas del Subsuelo en la Avenida Chiclayo en el tramo 0+000 KM al 1+000 KM, ubicado en el Distrito José Leonardo Ortiz - Provincia Chiclayo - Departamento de Lambayeque*. <http://bitly.ws/ugsL>
- Bateman, A. (2007). *Hidrologia Basica Y Aplicada* (Número 1 SUPPL.).
- Braja M., D. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*.
- Breña P., A. F., & Jacobo V., M. A. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. En *Universidad Autónoma Metropolitana*.
- Castro Espinosa, M. L. (2011). *PAVIMENTOS PERMEABLES COMO ALTERNATIVA DE DRENAJE URBANO* [PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA]. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7130/1/LUZARDO-BUIATRIA-2017.pdf>
- Castromonte Alvaro, F. J., Choques Machero, M. Jesus, Mateo Camargo, B. A., & Torres La Torre, K. B. (2020). “Propuesta de diseño de un pavimento permeable como un sistema innovador ecológico de drenaje en la ciudad de Huaraz-Huaraz-Ancash-2020” [UNIVERSIDAD DE CCESAR VALLEJO]. En *Universidad Andina del Cusco*. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Del Valle Monetti, M. (2018). *HORMIGÓN POROSO CON MATERIALES LOCALES*,



UNA CONTRIBUCIÓN PARA LA GESTIÓN DE LAS AGUAS DE LLUVIA.
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL.

Flores, C., & Pacompia, I. (2015). *“DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE CON ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO PARA PAVIMENTOS $f'c$ 175 kg/cm² EN LA CIUDAD DE PUNO”*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO.

Gamez Morales, W. R. (2015). *TOPOGRAFIA GENERAL*.

García E. (2011). *CONTROL DE ESCORRENTÍAS URBANAS MEDIANTE PAVIMENTOS PERMEABLES: APLICACIÓN EN CLIMAS MEDITERRÁNEOS*. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA.

Guerra, C., & Guerra, P. (2020). *Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible*. 1-20.

Guizado, A. X., & Curi, E. R. P. (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 PERU*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERU.

Hernández Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (6 ta).

Mamani Estuco, H. Y., & Valera Ccaccasaca, I. (2021). *“INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE VIDRIO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DEL CONCRETO PERMEABLE $f'c=175$ kg/cm² EMPLEADO PARA PAVIMENTOS EN LA CIUDAD DE JULIACA”* [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO]. En *Tesis*. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MANUAL DE CARRETERAS, M. D. T. (2013). *MANUAL DE CARRETERAS*.

Mata Montenegro, M. T. (2010). *Bases Y Subbases Para Carreteras*. EL SALVADOR.

MTC E204-2000. (2016). MTC E 204-2000 MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES. *Manual de Ensayo de Materiales*, 1264.



[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual Ensayo de Materiales.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)

Navarro, M., & Leon, J. (2018). Estudio y diseño de Pavimentos Permeables para Estacionamientos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín. En *Universidad Nacional de San Martín* (Vol. 1). UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN.

Porras, J. (2017). *Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad*.
<http://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/7109>
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/7109>

Tamayo, M. (2010). El proyecto de investigación. Aprender a Investigar. En *Icfes* (5 ta).
http://www.usbcali.edu.co/sites/default/files/documentodeconsultacomplementario-el_proyecto_de_investigacion.pdf

Tennis, Leming, A. (2019). *Pavimentos de concreto permeable*. 2, 1-33.

Villon Bejar, M. (2002). *Hidrologia general*.
https://drive.google.com/file/d/0B8D2_Q6wgqlRbGxGWGctTnBuVjQ/view?usp=sharing

Yelo Díaz, Ó. (2015). *Puesta en funcionamiento del permeámetro de carga variable, un equipo de laboratorio para ensayos de permeabilidad en suelos cohesivos*.
<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/8149/tfg-yelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



ANEXOS

ANEXO 1: Constancias del uso de laboratorios.

ANEXO 2: Resultados de los ensayos de los agregados.

ANEXO 3: Ensayo de suelos.

ANEXO 4: Levantamiento topográfico.

ANEXO 5: Resultados de las propiedades mecánicas del concreto permeable (resistencia a la compresión simple).

ANEXO 6: Resultados de las propiedades hidráulicas (Permeabilidad).

ANEXO 7: Análisis estadístico.

ANEXO 8: Diseño del pavimento (método AASHTO 93).

ANEXO 9: Sección del pavimento.

ANEXO 10: Especificación Técnica de Geomembrana.

ANEXO 11: Diseño de Sub Dren.

ANEXO 12: Calculo de la Energía de compactación.

ANEXO 13: Análisis de esfuerzo para la excavación de calicata.



Universidad Nacional del Altiplano
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
DIRECCIÓN DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



**ACTA DE REPROGRAMACION DE DICTAMEN DE REVISIÓN DE
BORRADOR DE TESIS**

En la sala de docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil siendo las **10:00** horas del día **19** de octubre del año 2023 se reunieron los miembros del Jurado Dictaminador:

PRESIDENTE : Msc. MARIANO ROBERTO, GARCIA LOAYZA
1er MIEMBRO : ING. JOSE LUIS, CUTIPA ARAPA
2do MIEMBRO : D.Sc. CESAR EDWIN, GUERRA RAMOS
DIRECTOR : D.Sc. EDGAR VIDAL, HURTADO CHAVEZ

Quienes evaluaron previamente, las razones por las que no se cumplió el Acto de Sustentación y Defensa del borrador de tesis titulada: **“EFICIENCIA DEL PAVIMENTO DE CONCRETO POROSO COMO ALTERNATIVA EN EL DRENAJE VIAL URBANO DEL BARRIO LA CAPILLA - JULIACA”**, acto que fue programado para el día 20 de setiembre del año 2023 a horas 9:00, según consta en el acta adjunta.

Al respecto, el Director de Tesis manifestó que se generaron problemas en el momento de pasar la tesis por el TURNITIN, debido a que, por error al momento de aprobar el Proyecto de Tesis con fecha 13 de abril de 2022, se inscribió el proyecto en la base de datos del TURNITIN, por lo que reconocía como copia todas las similitudes del propio proyecto en el borrador de tesis, por lo que se tuvo que solicitar mediante Carta 001-2023 (se adjunta carta al presente), que se excluya el proyecto de tesis de la base de datos del TURNITIN, para evitar que el programa reconozca como propia, el propio proyecto del sr. tesista. Ese trámite recién fue efectivo a inicios del presente mes.

Al haber transcurrido un tiempo prolongado, es que se solicita una reprogramación de Dictamen al Jurado Dictaminador.

Por lo expuesto, el Jurado Dictaminador, considera que el borrador de tesis titulada: **“EFICIENCIA DEL PAVIMENTO DE CONCRETO POROSO COMO ALTERNATIVA EN EL DRENAJE VIAL URBANO DEL BARRIO LA CAPILLA - JULIACA”**, presentado por el Bachiller:

- WILFREDO LOPEZ MONRROY

Ha sido debidamente evaluado en su oportunidad y APROBADO el mencionado borrador de tesis.

El jurado dictaminador propone como nueva fecha, ejecutar el **acto de sustentación** y defensa de la tesis por el bachiller, para el **día 08 de noviembre del año 2023 a las 09:00 am horas**, en forma presencial. Siendo las **11:00** horas del mismo día, se dio por concluida la presente reunión, firmado para refrendar la presente.

PRÉSIDENTE:
Msc. MARIANO ROBERTO, GARCIA LOAYZA

PRIMER MIEMBRO:
ING. JOSE LUIS, CUTIPA ARAPA

SEGUNDO MIEMBRO:
D.Sc. CESAR EDWIN, GUERRA RAMOS

DIRECTOR:
D.Sc. EDGAR VIDAL, HURTADO CHAVEZ



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Wilfredo Lopez Monroy
, identificado con DNI 47621920 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Escuela profesional de Ingeniería Civil

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado

Título Profesional denominado:

"Eficiencia del Pavimento de concreto poroso como alternativa
en el drenaje vial urbano del Barrio Capilla- Juliaca

" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 25 de Octubre del 2023

FIRMA / (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Wilfredo Lopez Monroy
, identificado con DNI 47621920 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Escuela profesional de Ingeniería Civil

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado

Título Profesional denominado:

"Eficiencia del Pavimento de concreto poroso como alternativa en el drenaje vial urbano del Barrio La Capilla - Juliaca"

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 25 de Octubre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella