

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA  
HUSO 67 EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO  
PERMEABLE PARA VÍAS URBANAS,  
TACNA, 2022”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ISABEL KARYNE PERALTA RODRÍGUEZ**

**Bach. DIEGO ARMANDO HUAMOLLE RENGIFO**

**TACNA – PERÚ**

**2023**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA  
HUSO 67 EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO  
PERMEABLE PARA VÍAS URBANAS,  
TACNA, 2022”**

Tesis sustentada y aprobada el 25 de marzo de 2023; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE : Mtro. GIANCARLOS JAVIER MACHACA FRÍAS**

**SECRETARIA : Mtro. ANA GABRIELA CRUZ BALTUANO**

**VOCAL : Mtro. SANTOS TITO GÓMEZ CHOQUEJAHUA**

**ASESOR : Mtro. YVAN MANUEL AROSQUIPA NINA**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Isabel Karyne Peralta Rodríguez, en calidad de bachiller de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con DNI: 00683532 declaro bajo juramento que:

1. Soy autora de la tesis titulada: *Influencia del agregado fino y piedra chancada huso 67 en las propiedades del concreto permeable para vías urbanas, Tacna, 2022*, la misma que presento para optar el Título Profesional de *Ingeniero Civil*.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a *La Universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra.

En consecuencia, me hago responsable frente a *La Universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la obra haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 27 de marzo de 2023

  
Isabel Karyne Peralta Rodríguez  
DNI: 00683532

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Diego Armando Huamolle Rengifo, en calidad de bachiller de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con DNI: 45428203 declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada: *Influencia del agregado fino y piedra chancada huso 67 en las propiedades del concreto permeable para vías urbanas, Tacna, 2022*, la misma que presento para optar el Título Profesional de *Ingeniero Civil*.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a *La Universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra.

En consecuencia, me hago responsable frente a *La Universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la obra haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 27 de marzo de 2023

  
Diego Armando Huamolle Rengifo  
DNI:45428203



*Sin fines de lucro*

**UPT**  
**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FAING**

**CONSTANCIA**

**QUIEN SUSCRIBE COORDINADOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE  
LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE  
TACNA, HACE CONSTAR:**

Que, los bachilleres; **ISABEL KARYNE PERALTA RODRÍGUEZ** y **DIEGO ARMANDO HUAMOLLE RENGIFO** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, han presentado la Tesis titulada **“INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA HUSO 67 EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA VÍAS URBANAS, TACNA, 2022”** el cual presenta un 30 % de similitud, comprobada por el software Turnitin. Se adjunta el recibo digital.

Se expide la presente, para trámites del Título Profesional.

Tacna, 3 de abril de 2023



  
**Dr. RAUL CARTAGENA CUTIPA**  
**Coordinador**  
**Unidad de Investigación – FAING**

# "INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA HUSO 67 EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA VÍAS URBANAS, TACNA, 2022"

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>core.ac.uk</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Privada de Tacna</b> Trabajo del estudiante	<b>3%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.unp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.continental.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.uandina.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>publicaciones.usanpedro.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.ucp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>





## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Isabel Karyne Peralta Rodríguez - Diego Armando Huamolle ...  
Título del ejercicio: INGENIERÍA CIVIL  
Título de la entrega: "INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA HUS...  
Nombre del archivo: Tesis\_Peralta\_Rodr\_guez\_-\_Huamolle\_Rengifo.pdf  
Tamaño del archivo: 2.92M  
Total páginas: 120  
Total de palabras: 25,898  
Total de caracteres: 137,278  
Fecha de entrega: 03-abr.-2023 12:34p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 2054800117



## DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico a Dios, por su gran amor e infinita sabiduría, quien me ha dado salud, fortaleza y mucha fé, para continuar mejorando y seguir cumpliendo mis metas cada día.

Dedico con todo mi corazón a mi siempre presente abuelita Estefanía en ofrenda a su paciencia, amor, valores y aportes que ha realizado en mi vida, aunque ya goza de la casa del Padre, sé que siempre intercede por mi bienestar.

A mis queridos y admirados padres Isabel y Helard por su amor, sus enseñanzas, valores, y por que siempre confiaron en mí.

A mi amado esposo Juan Carlos por su amor, comprensión y apoyo incondicional para que esta investigación sea una motivación y un nuevo punto de partida para mejorar y superar lo hecho hasta ahora.

A mi muy querida hermana gemela Lilyan que siempre estuvo brindandome sus consejos y palabras de aliento en cada momento y a mis dos tesoros Camila y Marcelo que son el motor de nuestra vida.

Finalmente a mi querido hermano Ruddy por sus siempre atinadas recomendaciones tecnológicas.

**Isabel Karyne Peralta Rodríguez**



## **DEDICATORIA**

A mis padres Alda Mariella Rengifo Maslesa y Armando Guido Huamolle Menendez por sus incontables consejos que me han dado a lo largo de la vida y así poder superarme personal y profesionalmente

A mi novia Ines Olivera Gomez que ha estado a mi lado en este largo camino, por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante cuando todo parecia oscuro su compañía me mostró la luz.

Especialmente a mi abuelo Armando Mateo Huamolle Jimenez que desde el cielo fue la guia espiritual que necesitaba en este largo camino y en la que me inspiré para estudiar esta hermosa carrera.

Finalmente a mi abuelita Marina Maslesa Almanza que al igual que mis padres con sus consejos y su experiencia en la vida lograron formar el hombre que el día de hoy soy.

**Diego Armando Huamolle Rengifo**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios, porque todo es posible con él, ya que nos guía y fortalece para seguir adelante a pesar de los múltiples obstáculos que se presentan en la vida.

Un especial agradecimiento por mi formación académica a la Universidad Privada de Tacna y a todos mis maestros de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que en su labor, me transmitieron sus conocimientos y enseñanzas, durante el paso por las aulas universitarias, asimismo por la oportunidad de formarme ética y profesionalmente.

**Isabel Karyne Peralta Rodríguez**

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente agradecer a Dios por darme la vida y por mostrarme el camino a seguir en la vida.

A todos los maestros de la universidad que compartieron sus conocimientos conmigo para poder sacar adelante esta hermosa carrera.

A mis compañeros de estudios por los conocimientos brindados en los momentos donde las cosas no eran tan claras.

Finalmente a todas las personas que conocí en la universidad porque de una forma u otra nos apoyamos para mejorar día a día.

**Diego Armando Huamolle Rengifo**

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS .....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvii
RESUMEN .....	xix
ABSTRACT .....	xx
INTRODUCCIÓN .....	xxi
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Descripción del problema .....	1
1.2. Formulación del Problema .....	3
1.2.1. Problema General .....	3
1.2.2. Problemas específicos: .....	3
1.3. Justificación e importancia .....	4
1.3.1. Desde el punto de vista ambiental: .....	4
1.3.2. Desde el punto de vista científico: .....	4
1.3.3. Desde el punto de vista económico: .....	4
1.3.4. Desde el punto de vista social: .....	5
1.4. Objetivos .....	5
1.4.1. Objetivo General .....	5
1.4.2. Objetivos Específicos .....	5
1.5. Hipótesis .....	5
1.5.1. Hipótesis General .....	6

1.5.2. Hipótesis Específicas.....	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Bases teóricas.....	12
2.2.1. Concreto permeable.....	12
2.2.1.1. Aplicaciones del concreto permeable.....	13
2.2.1.3. Propiedades del concreto permeable.....	20
2.2.1.4. Variables influyentes en las propiedades del concreto.....	23
2.2.2. Vías urbanas.....	24
2.3. Definición de términos.....	28
2.3.1. Acera o vereda.....	28
2.3.2. ACI.....	28
2.3.3. Agregado.....	28
2.3.4. Agregado fino.....	28
2.3.5. Agregado grueso.....	28
2.3.6. Arena.....	29
2.3.7. ASTM.....	29
2.3.8. Ciclovía.....	29
2.3.9. Concreto permeable.....	29
2.3.10. Estacionamiento.....	29
2.3.11. Gradación.....	29
2.3.12. Granulometría.....	29
2.3.13. Grava.....	30
2.3.14. Losa de concreto de cemento portland.....	30
2.3.15. Pavimento.....	30
2.3.16. Piedra chancada o triturada.....	30
2.3.17. Piedra chancada huso 67.....	30
2.3.18. Tamaño máximo.....	30
2.3.19. Tamaño máximo nominal.....	31

2.3.20.	Vías urbanas.....	31
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....		32
3.1.	Diseño de Investigación .....	32
3.2.	Acciones y actividades.....	32
3.3.	Materiales y/o instrumentos .....	36
3.4.	Población y/o muestra de estudio.....	37
3.5.	Operacionalización de variables.....	37
3.6.	Procesamiento y análisis de datos .....	39
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....		40
4.1.	Síntesis de los ensayos realizados a los agregados de la Cantera Arunta	40
4.2.	Asentamiento según adición de agregado fino .....	40
4.3.	Resistencia a la compresión de cilindros de concreto permeable de 150 mm de diámetro x 300 mm de alto .....	41
4.4.	Cálculo del módulo de rotura MR por correlación .....	44
4.5.	Influencia de la adición de agregado fino en 0%, 10% y 20% en la resistencia a la compresión del concreto permeable .....	45
4.6.1.	Ensayo de permeabilidad de la mezcla patrón DPH0 .....	49
4.6.2.	Ensayo de permeabilidad de la mezcla DPH10 .....	49
4.6.3.	Ensayo de permeabilidad para DPH20.....	50
4.6.4.	Resumen de ensayos de permeabilidad de los diseños de mezclas DPH0, DPH10 y DPH20 .....	50
4.7.	Ensayo de absorción, densidad y porcentaje de vacíos .....	51
4.7.1.	Ensayo de absorción, densidad y % de vacíos para DPH0 .....	51
4.7.2.	Absorción, densidad y porcentaje de vacíos para DPH10 .....	51
4.7.4.	Absorción para DPH0, DPH10 y DPH20 .....	52
4.7.5.	Densidad para DPH0, DPH10 y DPH20 .....	52
4.7.6.	Porcentaje de vacíos para DPH0, DPH10 y DPH20.....	53
4.8.	Influencia de la piedra chancada huso 67 en la permeabilidad del concreto permeable .....	54

4.9.	Resultados y evaluación del análisis de costos unitarios del concreto permeable y concreto convencional con similares características .....	54
4.9.1.	Costo para 1m <sup>3</sup> de concreto permeable.....	54
4.9.3.	Resumen de costos de concreto permeable y concreto convencional.....	56
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....		57
5.1.	Caracterización del agregado fino y piedra chancada huso 67 de la cantera Arunta.....	57
5.2.	Influencia del agregado fino en diferentes porcentajes en la resistencia a la compresión .....	58
CONCLUSIONES .....		60
RECOMENDACIONES.....		62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		63
ANEXOS.....		68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ensayos para agregados finos y gruesos .....	18
Tabla 2. Límites de la gradación del agregado fino.....	18
Tabla 3. Mediciones de consistencias para la trabajabilidad .....	20
Tabla 4. Sistema vial urbano de la Ciudad de Tacna.....	24
Tabla 5. Acciones y actividades para el Objetivo 1 .....	35
Tabla 6. Acciones y actividades para el Objetivo 2 .....	35
Tabla 7. Acciones y actividades para el Objetivo 3 .....	36
Tabla 8. Acciones y actividades para el Objetivo 4 .....	36
Tabla 9. Variables, instrumentos y procedimientos utilizados.....	37
Tabla10. Operacionalización de variables de la investigación.....	38
Tabla 11. Características granulométricas, físicas y químicas del agregado fino y piedra chancada huso 67de la Cantera Arunta.....	40
Tabla 12. Asentamiento de las mezclas de concreto permeable con adición de agregado fino en 0%, 10% y 20%. .....	41
Tabla 13. Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de concreto permeable a los 7, 21 y 28 días.....	42
Tabla 14. Estadística descriptiva de resistencia a la compresión a los 7 días .....	43
Tabla 15. Estadística descriptiva de resistencia a la compresión a los 21 días ....	43
Tabla 16. Estadística descriptiva de resistencia a la compresión a los 28 días ....	43
Tabla 17. Cálculo del módulo de rotura MR por correlación .....	45
Tabla 18. Adición óptima de agregado fino .....	48
Tabla 19. Permeabilidad de la mezcla patrón DPH0.....	49
Tabla 20. Permeabilidad de la mezcla DPH10 .....	49
Tabla 21. Permeabilidad de la mezcla DPH20 .....	50
Tabla 22. Permeabilidad para DPH0, DPH10 y DPH20.....	50
Tabla 23. Absorción, densidad y porcentaje de vacíos para DPH0 .....	51
Tabla 24. Absorción, densidad y porcentaje de vacíos para DPH10.....	51



Tabla 25. Absorción, densidad y porcentaje de vacíos para DPH20.....	51
Tabla 26. Ensayo de absorción para DPH0, DPH10 y DPH20.....	52
Tabla 27. Ensayo de densidad para DPH0, DPH10 y DPH20.....	52
Tabla 28. Ensayo de contenido de vacíos para DPH0, DPH10 y DPH20.....	53
Tabla 29. Análisis de costos unitarios por m <sup>3</sup> de concreto permeable.....	54
Tabla 30. Análisis de costos por m <sup>3</sup> de concreto convencional.....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Inundación por agua pluvial en la Ciudad de Tacna .....	3
Figura 2. Sección transversal del concreto permeable.....	13
Figura 3. Estructura de pavimento de concreto permeable típico.....	13
Figura 4. Concreto permeable como capa de rodadura .....	14
Figura 5. Construcción de un acera de concreto permeable.....	15
Figura 6. Requisitos granulométricos del agregado grueso .....	17
Figura 7. Muestras de concreto permeable con diferentes contenidos de agua (a) Con poca agua (b) con adecuada agua y (c) con demasiada agua ....	19
Figura 8. Capacidad de filtración del concreto permeable .....	22
Figura 9. Permeámetro de carga variable fabricado para la investigación.....	23
Figura 10.Requisitos mínimo para pavimentos.....	25
Figura 11.Línea de tiempo de la aplicación de concreto permeable del año 1952 al año 1999.....	26
Figura 12.Línea de tiempo del concreto permeable del año 2002 al año 2022.....	27
Figura 13.Resultados de asentamiento según los porcentajes de adición de agregado fino .....	41
Figura 14.Media de la resistencia a la compresión del concreto permeable .....	44
Figura 15.Comparación porcentual del incremento de resistencia a la compresión en el tiempo respecto a DPH0.....	45
Figura 16.Comparación porcentual de resistencia a la compresión a los 7 días respecto a la mezcla patrón DPH0.....	46
Figura 17.Comparación porcentual de resistencia a la compresión a los 21 días respecto a la mezcla patrón DPH0.....	47
Figura 18.Comparación porcentual de resistencia a la compresión a los 28 días respecto a la mezcla patrón DPH0.....	48
Figura 19.Permeabilidad de los diseños de mezcla DPH0, DPH10 y DPH20.....	50
Figura 20.Absorción para DPH0, DPH10 y DPH20.....	52
Figura 21.Densidad para DPH0, DPH10 y DPH20.....	53

Figura 22. Contenido de vacíos para DPH0, DPH10 y DPH20 en (%).....	53
Figura 23. Influencia del empleo de piedra chancada huso 67 en la permeabilidad .....	54
Figura 24. Costo de un m <sup>3</sup> de concreto permeable .....	55
Figura 25. Costo de un m <sup>3</sup> de concreto convencional .....	55

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Norma de diseño de concreto permeable ACI 522R-10 .....	68
Anexo 2. Ficha técnica de cemento Yura tipo I .....	69
Anexo 3. Ensayo de densidad, absorción y porcentaje de vacíos en el concreto endurecido en el diseño de mezcla DPH0 (mezcla patrón).....	70
Anexo 4. Ensayo de densidad, absorción y porcentaje de vacíos en el concreto endurecido en el diseño de mezcla DPH10 .....	71
Anexo 5. Ensayo de densidad, absorción y porcentaje de vacíos en el concreto endurecido en el diseño de mezcla DPH20 .....	72
Anexo 6. Análisis granulométrico del agregado fino de la cantera Arunta.....	73
Anexo 7. Ensayo de humedad natural del agregado fino de la cantera Arunta.....	74
anexo 8. Ensayo de peso específico del agregado fino de la cantera Arunta .....	75
anexo 9. Ensayo de pesos unitarios del agregado fino de la cantera Arunta.....	76
anexo 10. Análisis granulométrico de piedra chancada huso 67 de la cantera Arunta .....	77
anexo 11. Ensayo de humedad natural de piedra chancada huso 67 de la cantera Arunta .....	78
anexo 12. Ensayo de peso específico y absorción de piedra chancada huso 67 de la cantera Arunta .....	79
anexo 13. Ensayo de pesos unitarios de piedra chancada huso 67 de la cantera Arunta .....	80
anexo 14. Análisis físico químico de piedra chancada huso 67 de la cantera Arunta .....	81
anexo 15. Ensayo de desgaste por abrasión de piedra chancada huso 67 de la cantera Arunta.....	82
anexo 16. Certificado de calibración de balanza electrónica de 4000 g marca ohaus .....	83
anexo 17. Certificado de calibración de balanza electrónica de 4000 g marca ohaus .....	84
anexo 18. Certificado de calibración de horno a&a instruments .....	85

anexo 19. Certificado de calibración de horno a&a instruments .....	86
anexo 20. Evidencia fotográfica .....	87
anexo 21. Diseño de mezcla de concreto permeable.....	90
anexo 22. Matriz de consistencia .....	97

## RESUMEN

En la tesis "Influencia del agregado fino y piedra chancada huso 67 en las propiedades del concreto permeable para vías urbanas, Tacna, 2022", cuyo objetivo general fue determinar como influye la adición del agregado fino y piedra chancada huso 67 en las propiedades del concreto permeable, para vías urbanas. La investigación es de nivel explicativo de diseño experimental, realizamos tres diseños de mezclas de concreto permeable DPH0 (mezcla patrón), DPH10 y DPH20, utilizando cemento portland tipo I, agua, piedra chancada huso 67 y la adición de agregado fino en 0 %,10 % y 20 %, usando la información técnica, método de diseño, materiales y dosificación de mezclas del American Concrete Institute ACI 522R-10; la muestra de estudio constó de un total de 36 muestras cilíndricas de concreto permeable y dos losetas circulares, los especímenes cilíndricos fueron ensayados a los 7 días, 21 días y 28 días; se utilizaron las normas NTP 400.012, ASTM C136 para los ensayos de caracterización de agregados, las normas NTP 339.034.2015, ASTM C39 para los ensayos de resistencia a la compresión y la Norma ACI 522R-10, ASTM C1701 para los ensayos de permeabilidad e infiltración. La técnica que se utilizó fue la observación directa y los datos fueron procesados con software Excel 2019 y el software IBM SPSS statistics 25, los resultados obtenidos se analizaron con tablas y gráficos. La investigación concluyó que al realizar la caracterización de los agregados de la cantera Arunta, cumplen con los requisitos considerándose de buena calidad y adecuados para su uso en mezclas de concreto permeable. Para un MR teórico de 34 kg/cm<sup>2</sup> o 3,4 Mpa, según indica la Norma CE.010 en vías colectoras y locales, se determinó que la mezcla de concreto permeable con un mejor comportamiento en la relación resistencia / permeabilidad es la mezcla DPH20. A los 7 días del período de curado las mezclas DPH10 y DPH20 alcanzaron resistencias a la compresión superiores al 70% de la mezcla patrón DPH0. Finalmente los resultados indicaron que los diseños de mezclas DPH0, DPH10 y DPH20 obtuvieron 70,92 kg/cm<sup>2</sup>, 108,67 kg/cm<sup>2</sup> y 173,68 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión respectivamente. En cuanto a permeabilidad las mezclas obtuvieron los siguientes resultados para DPH0 se obtuvo un 0,217 cm/s, para DPH10 se obtuvo un 0,149 cm/s y para DPH20 se obtuvo un 0,139 cm/s, estos resultados están dentro del rango establecido en la norma ACI 522R-10, el cual es de 0,14 a 1,22 cm/s.

**Palabras clave:** Agregado fino, concreto permeable, concreto poroso, permeabilidad, resistencia a la compresión.

## ABSTRACT

In the thesis "Influence of fine aggregate and crushed stone huso 67 on the properties of pervious concrete for urban roads, Tacna, 2022", whose general objective was to determine how the addition of fine aggregate and crushed stone huso 67 influences the properties of pervious concrete for urban roads. The research is of an explanatory level of experimental design, we made three mix designs of pervious concrete DPH0 (standard mix), DPH10 and DPH20, using portland cement type I, water, crushed stone huso 67 and the addition of fine aggregate in 0 %, 10 % and 20 %, using the technical information, design method, materials and dosage of mixes of the American Concrete Institute ACI 522R-10; the study sample consisted of a total of 36 cylindrical specimens of pervious concrete and two circular slabs, the cylindrical specimens were tested at 7 days, 21 days and 28 days; the standards NTP 400. 012, ASTM C136 for aggregate characterization tests, NTP 339.034.2015, ASTM C39 for compressive strength tests and ACI 522R-10, ASTM C1701 for permeability and infiltration tests. The technique used was direct observation and the data were processed with Excel 2019 software and IBM SPSS statistics 25 software, the results obtained were analyzed with tables and graphs. The research concluded that by performing the characterization of the aggregates from the Arunta quarry, they meet the requirements, being considered of good quality and suitable for use in pervious concrete mixtures. For a theoretical RM of 34 kg/cm<sup>2</sup> or 3.4 Mpa, according to Standard CE.010 in collector and local roads, it was determined that the pervious concrete mix with the best performance in the resistance/permeability ratio is the DPH20 mix. At the 7-day curing period, the DPH10 and DPH20 mixes achieved compressive strengths higher than 70% of the DPH0 standard mix. Finally, the results indicated that the mix designs DPH0, DPH10 and DPH20 obtained 70.92 kg/cm<sup>2</sup>, 108.67 kg/cm<sup>2</sup> and 173.68 kg/cm<sup>2</sup> of compressive strength, respectively. Regarding permeability, the mixes obtained the following results: 0.217 cm/s for DPH0, 0.149 cm/s for DPH10 and 0.139 cm/s for DPH20. These results are within the range established in the ACI 522R-10 standard, which is 0.14 to 1.22 cm/s.

**Keywords:** Fine aggregate, pervious concrete, porous concrete, permeability, compressive strength.

## INTRODUCCIÓN

Un material ecológico, moderno e innovador en la Ingeniería Civil es el concreto permeable, del cual en los últimos 20 años se ha incrementado su investigación, como tecnología emergente en países desarrollados y en desarrollo, usado como pavimentos permeables, convirtiéndose en un material para aumentar la infiltración y retrasar el flujo de agua a los sistemas de drenaje urbano, por su excelente desempeño ambiental; las investigaciones realizadas están relacionadas a diversos aspectos, como su naturaleza, materiales incluidos, propiedades, dosificación de los materiales, procesos de fabricación y muchos otros; sin embargo, estos conocimientos no son suficientes y nos motiva a estudiarlo con materiales de nuestro entorno, en la búsqueda de dispositivos para aumentar la infiltración de aguas pluviales, con el consecuente control de un exceso de escorrentía superficial, así reducir los efectos de las inundaciones, que vienen sucediendo en nuestro medio, como resultado del cambio climático y que se hará más extrema en la temporada de lluvias. Así mismo, el pavimento de concreto permeable en sí mismo logra considerarse una cadena de drenaje completa y sostenible, por que proporciona permeación, retención, transporte, almacenamiento, control de la escorrentía superficial de aguas pluviales y ofrece un servicio a la sociedad como pavimento estético, cómodo y seguro, que satisface las necesidades actuales.

En el estudio sobre variables influyentes del concreto permeable, el cual abarca una exposición del estado de arte de este tipo de concreto, indican que las variables de alta frecuencia en el comportamiento mecánico del concreto permeable son: la resistencia / permeabilidad y las variables respecto a la dosificación y fabricación de la mezcla es: la granulometría la cual es primordial en las propiedades que tendrá el concreto permeable, para ello recomiendan el uso de agregado chancado; una dosis de cemento que oscile en el intervalo 350 a 400 kg/m<sup>3</sup>, determinada también por el tipo de cemento según las necesidades de resistencia y permeabilidad que se desee obtener; respecto a la dosificación de agua, la cual tiene gran consecuencia en las propiedades de la mezcla de concreto permeable, ya que controla directamente su trabajabilidad, por lo que la relación agua/cemento debe tener como rango límite 0,30 a 0,60; así mismo el porcentaje de vacíos que oscila entre 15 % y el 25 % que está precisado por los métodos de compactación, recomiendan también que el tamaño máximo del agregado grueso está limitado a un tercio del espesor especificado del pavimento; con todo ello se logrará una mezcla con una característica visual particular como de un brillo metálico (Cabello et al., 2015b).



Otro estudio determinó que la presencia del árido fino en 10 %, 15 % y 20 % proporcionó una buena trabazón intergranular en la mezcla porosa que aumenta su capacidad estructural y un mejor grado de resistencia a la compresión de mezclas permeables, siendo la tendencia general que la resistencia a la compresión aumenta casi linealmente con las adiciones crecientes de agregado fino; además que no solo la porosidad de la mezcla, sino también los otros parámetros tienen una influencia valiosa en el mantenimiento de la permeabilidad de la mezcla como la relación agua / cemento, el tamaño de los áridos y la presencia de áridos finos que contribuyeron significativamente a que la mezcla sea permeable, para un 10 % de presencia de agregado fino se obtuvo una permeabilidad de 0,97 cm/s y para 20 % una permeabilidad de 0,60 cm/s. Así que la porosidad disminuyó gradualmente con el aumento de agregados finos. Como la propiedad fundamental de la mezcla porosa es ofrecer una alta infiltración luego de mantener adecuados los parámetros de resistencia, la cantidad de agregado fino deja una contribución notable en el diseño de la mezcla porosa (Debnath & Sarkar, 2019).

Lo expuesto, son razones suficientes de relevancia de la presente investigación sobre "Influencia del agregado fino y piedra chancada huso 67 en las propiedades del concreto permeable para vías urbanas, Tacna, 2022", por ello se ha realizado diseños de mezclas de concreto permeable con agregado fino y piedra chancada de la Cantera Arunta de Tacna, adicionando a dichas mezclas 0 %, 10 % y 20 % de agregado fino, siguiendo la metodología y dosificación de la Norma ACI 522R-10, en lo que corresponde a los lineamientos de vías urbanas la Norma CE.010, para lograr un mejor comportamiento y equilibrio en la relación resistencia / permeabilidad.

## CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Descripción del problema

En los últimos años, a nivel mundial se viene registrando un eminente impacto ambiental como resultado del cambio climático (Cabello et al., 2015b). A su vez, vivimos una realidad globalizada, con un índice demográfico que va incrementándose cada vez más y una urbe que se concentra en centros urbanos, dando lugar al aumento de la evolución urbana, este proceso de “urbanización” para su desarrollo, requiere de la provisión de pistas, veredas y áreas verdes que aseguren el tránsito de las personas y faciliten su desenvolvimiento; la Ciudad de Tacna no es ajena a esta realidad y en los últimos años se muestra afectada con lluvias de moderada a fuerte intensidad, también su evolución urbana es exponencial, lo que implica un extenso uso de pavimentos impermeables es decir pavimentos convencionales, que traen consigo un cambio en el ciclo hidrológico del agua que hace que escurra superficialmente en lugar de infiltrarse en el suelo, dificultando la evacuación pluvial o incrementando considerablemente el volumen de flujo pluvial superficial, asimismo el riesgo de suscitar inundaciones y anegamientos en muchos sectores, generando destrucción de vías o derrumbes, a lo que hay que sumar el costo de reconstruir, pero sobre todo afectando la salud de las personas, sus medios de vida, provocándoles retroceso, estancamiento abrupto de su desarrollo y principalmente a su economía (Castro & Guavara, 2017; Cabello et al., 2015a).

Para atenuar estos efectos, una de las soluciones es aumentar las superficies con pavimentos de concreto permeable en vías urbanas para restaurar las reducidas prestaciones de drenaje (Hung et al., 2021). Permitiendo que el agua pase a través de la capa superficial hacia el interior del pavimento, donde puede almacenarse para ser infiltrada o para desviarla a un sistema de almacenamiento de manera gradual y controlada (De Solominihac et al., 2007).

Un piso permeable soporta las cargas mecánicas y tiene una estructura porosa que le permite al agua de lluvia infiltrarse en el suelo o en el sistema de drenaje, teniendo también como ventajas absorber las transmisiones de ruido de los vehículos; minimizar la membrana de agua que se forma durante las lluvias; asimismo disminuyendo las salpicaduras y la cantidad de luz reflejada en la superficie de la capa de rodadura, generando condiciones de conducción más seguras (Cabello et al., 2015b; Vorobieff et al., 2009).

Para el concreto permeable, el agregado grueso y el cemento actúan como esqueleto, por lo tanto el tipo y tamaño pueden afectar directamente las cualidades del concreto permeable. En el estudio de Čosić se descubrió que con el uso de agregado fino (4 - 8 mm) en una proporción 30 % se lograron mezclas de concreto permeable con mayor densidad y mayor resistencia, así mismo que la porosidad fue sorprendentemente más influenciada por el tipo, que por el tamaño de agregado (Čosić et al., 2015).

El American Concrete Institute ACI 522R en su última versión del año 2010, indica, que el concreto permeable ordinariamente describe un asentamiento cercano a cero, que contiene cemento portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivos y agua, y que la conjunción de estos ingredientes producirán un material duro con un significativo contenido de vacíos interconectados que puede oscilar entre 15 % a 35 %, con valores típicos de resistencia a la compresión de 2,8 Mpa o 29 kg/cm<sup>2</sup> a 28 Mpa o 286 kg/cm<sup>2</sup>, la permeabilidad varía con el tamaño del agregado y la consistencia de la mezcla y que sus valores pueden oscilar entre 0,14 cm/s a 1,22 cm/s (ACI, 2010).

En la tesis de Paucar & Morales, se comprobó que el mejor diseño de concreto permeable fue producido con agregado grueso de tamaño igual a  $\frac{3}{4}$  " siendo el tamaño más idóneo, consiguiendo 145,21 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión y 12,08 mm/s de coeficiente de permeabilidad (Paucar & Morales, 2018).

También, Arce en su estudio presenta al concreto permeable como salida al problema de inundación y escorrentía superficial, impulsando su uso como nueva tecnología aplicada en ciudades sostenibles, instaurando una relación de progreso y protección del medio ambiente (Arce, 2019).

En vista de las problemáticas como el aumento de la escorrentía superficial, inundaciones y anegamientos que se generan en la Ciudad de Tacna, como vemos en la figura 1 y al indagar que en Tacna no existen investigaciones sobre concreto permeable con la adición de agregado fino y piedra chancada huso 67, es indispensable basarnos en la investigación científica, para resolver las problemáticas, estudiando al concreto permeable con materiales locales, para conocer ¿Cómo influye la adición de agregado fino y piedra chancada huso 67 en las propiedades del concreto permeable para vías urbanas?, así evaluaremos su utilización como alternativa para reducir los volúmenes de flujo de aguas pluviales y controlar las inundaciones, que vienen sucediendo como efectos del cambio climático; siendo el concreto permeable un material de sustitución potencial en obras que lo justifiquen, así mismo se obtendrá una serie de características y ciertos parámetros con agregados de la Cantera Arunta. Cabe

resaltar que en el Perú no existen Normativas sobre concreto permeable, por lo que, en el presente estudio usamos la norma ACI 522R-10.

**Figura 1**

*Inundación por agua pluvial en la Ciudad de Tacna*



*Nota.* Reproducida de <https://rpp.pe/peru/tacna/huaicos-inundan-calles-y-viviendas-de-tacna-tras-activacion-de-quebradas-noticia-1247223>, 2020.

## 1.2. Formulación del Problema

En el presente estudio nos formulamos los siguientes problemas

### 1.2.1. Problema General

¿Cómo influye la adición de agregado fino y piedra chancada huso 67 de la Cantera Arunta en las propiedades del concreto permeable para vías urbanas en Tacna?

### 1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuáles son las características granulométricas y físicas del agregado fino y piedra chancada huso 67 de la Cantera Arunta, para ser empleados en el diseño de mezclas de concreto permeable para vías urbanas?
- b. ¿De qué manera influye la adición de agregado fino en diferentes porcentajes en la resistencia a la compresión del concreto permeable para vías urbanas?

- c. ¿De qué manera influye el empleo de piedra chancada huso 67 en la permeabilidad del concreto permeable para vías urbanas?
- d. ¿Cuál es la diferencia de los costos unitarios para la elaboración de un m<sup>3</sup> de concreto permeable en comparación con un m<sup>3</sup> de concreto convencional?

### **1.3. Justificación e importancia**

#### ***1.3.1. Desde el punto de vista ambiental***

En la Ciudad de Tacna, en los últimos años viene aconteciendo un elevado impacto ambiental a consecuencia del cambio climático, provocando aumento de la escorrentía superficial e inundaciones en diferentes zonas, que es generado por la impermeabilización de sus vías con el uso de pavimentos convencionales que provocan también un cambio del ciclo hidrológico del agua lo que hace que escurra superficialmente en lugar de infiltrarse en el suelo.

#### ***1.3.2. Desde el punto de vista científico***

La tecnología sobre concreto permeable en el Perú es desconocida en muchas ciudades, ya que no se cuenta con normativa al respecto y su aplicación es muy limitada; en lo referente a las investigaciones en los últimos 10 años se vienen realizando a nivel nacional estudios con más regularidad; en Tacna las investigaciones sobre el tema son muy escasas, sólo se cuenta con tres investigaciones en los repositorios relacionados a concreto permeable, por lo que el presente estudio será un antecedente de consulta para futuras investigaciones sobre concreto permeable.

#### ***1.3.3. Desde el punto de vista económico***

En el concreto permeable se usan los mismos materiales que en un concreto convencional, agregado fino, agregado grueso, agua, aditivos y cemento portland, con la diferencia en las dosificaciones, el cemento en menor cantidad y el agregado fino en porcentajes de 0 % a 25 % según lo reportado en las investigaciones y normativas consultadas, por lo que es más económico por lo que su uso y aplicación en obras viales que lo justifiquen evitará gastos a las Entidades involucradas en su construcción.

#### **1.3.4. Desde el punto de vista social**

La aplicación y uso de concreto permeable en vías urbanas evitará posibles inundaciones y escorrentía por agua de lluvia, en calles, estacionamientos y más, ya que esta condición afecta directamente a las personas y sus medios de vida, provocándoles retroceso, estancamiento abrupto de su desarrollo, también evitará perjuicios económicos a las entidades públicas y privadas y a las que prestan los servicios básicos como agua, luz ya que muchas veces se discontinúan dichos servicios.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Determinación de la influencia de la adición de agregado fino y piedra chancada huso 67 de la Cantera Arunta en las propiedades del concreto permeable para vías urbanas en Tacna

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- a. Determinación de las características granulométricas y físicas del agregado fino y piedra chancada huso 67 de la cantera Arunta para ser empleados en el diseño de mezclas de concreto permeable para vías urbanas
- b. Determinación de la influencia de la adición de agregado fino en diferentes porcentajes en la resistencia a la compresión del concreto permeable para vías urbanas
- c. Determinación de la influencia del empleo de piedra chancada huso 67 en la permeabilidad del concreto permeable para vías urbanas
- d. Realización de la evaluación de los costos unitarios de concreto permeable y de concreto convencional con similares características y uso

### **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis General**

Con la adición de agregado fino en 20 % se logró un mejor comportamiento y equilibrio en la relación resistencia / permeabilidad del concreto permeable para vías urbanas en Tacna

### **1.5.2. Hipótesis Específicas**

- a. El agregado fino y piedra chancada huso 67 de la Cantera Arunta tuvieron características adecuadas para ser empleados en el diseño de mezclas de concreto permeable para vías urbanas
- b. La adición de agregado fino en 20 % logró mejorar significativamente la resistencia a la compresión del concreto permeable para vías urbanas, en comparación a los otros porcentajes de agregado fino
- c. El empleo de piedra chancada huso 67, tuvo un buen comportamiento en la permeabilidad del concreto permeable para vías urbanas
- d. El concreto permeable generará menores costos que el concreto convencional

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

En el artículo sobre *Permeabilidad y resistencia del hormigón permeable según el tamaño del árido y el material de bloqueo*, cuyo objetivo fue identificar las diferencias entre los coeficientes de porosidad y permeabilidad, cuando la proporción de mezcla de los áridos es diferente y presentar la proporción de mezcla que satisface el requisito de resistencia a la compresión especificado en Corea. Se propusieron tres proporciones de mezcla considerando varios tamaños de áridos y se fabricaron tres cilindros para cada proporción. Las porosidades de esos cilindros se evaluaron mediante: la medición del peso de las probetas bajo el agua y el análisis de la imagen de tomografía computarizada (TC). Los experimentos han demostrado que, en términos de resistencia y permeabilidad, lo mejor es mezclar un 50 % de áridos de 5-10 mm, un 45 % de áridos de 2-5 mm y un 5 % de áridos finos. Además, a medida que aumentaba la proporción de áridos finos, disminuían la porosidad y la permeabilidad. Esta contribución apoyará la introducción y popularización de la tecnología del hormigón permeable para el desarrollo sostenible, minimizando los efectos adversos de las fuertes lluvias y la isla de calor urbana. Concluyendo que la proporción de mezcla del hormigón permeable Mezcla 3 que contiene 431 kg de cemento, 129 kg de agua, 764 kg de árido D 5-10 mm (50 %), 687 kg de árido D2-5 mm (45 %) y 76 kg de arena (5 %), se consideró la proporción más adecuada que puede satisfacer el coeficiente de permeabilidad de 0,1 mm/s, la porosidad del 8 % y la resistencia de 18 MPa. Comparando la porosidad mediante el ensayo de peso bajo el agua y el análisis de imagen por tomografía computarizada (TC), se observa que la porosidad mediante la imagen por TC es 115 % mayor. Esto se debe a que es difícil medir los vacíos aislados en el interior, en el caso de la prueba de masa bajo el agua, pero es posible medir todos los vacíos en el interior en el caso de la imagen por TC. A partir de los resultados de las pruebas de permeabilidad, se demostró que el coeficiente de permeabilidad es de aproximadamente 2,72 mm/s para la Mezcla 1 con una porosidad media del 22,2 %, 0,85 mm/s para la Mezcla 2 con una porosidad media del 13,7 %, y 0,16 mm/s para la Mezcla 3 con una porosidad media del 11,6 %. De los resultados anteriores, se puede concluir que, mediante la mezcla de áridos más pequeños y de tamaño adecuado en la mezcla de hormigón, la porosidad del hormigón endurecido disminuye, lo que resulta en la reducción del coeficiente de permeabilidad al agua del hormigón permeable. Como resultado de la prueba de resistencia a la compresión, se descubrió que esta aumentaba



a medida que disminuía la porosidad, esto se debe a que la superficie definida y el área de adherencia de los áridos y la pasta de cemento aumentan a medida que el tamaño de los áridos disminuye, lo que es beneficioso para la resistencia a la compresión del hormigón permeable (Hung et al., 2021).

En el artículo sobre *Predicción de permeabilidad y característica de estructura de poros del hormigón permeable utilizando ladrillo como agregado*, realizaron una serie de mezclas de concreto permeable con agregado de ladrillo sobrecocido evaluando la porosidad y permeabilidad, la relación agua / cemento que controla directamente la trabajabilidad, el tamaño de los agregados, la presencia de agregado fino en la mezcla porosa y cuantificaron su contribución en el control de la permeabilidad y porosidad mediante pruebas de laboratorio. Seleccionaron el rango límite para la relación agua/cemento de 0,30 y 0,32. También comprobaron con análisis estadístico la contribución de diferentes variables en la permeabilidad de las mezclas. Determinaron que el efecto de la presencia del árido fino en 10 %, 15 % y 20 % proporcionó una buena trabazón intergranular en la mezcla porosa que aumenta su capacidad estructural y un mejor grado de resistencia a la compresión de las mezclas permeables, siendo la tendencia general que la resistencia a la compresión aumenta casi linealmente con los porcentajes crecientes de agregado fino; además que no solo la porosidad de la mezcla, sino también los otros parámetros tienen una influencia valiosa en el mantenimiento de la permeabilidad de la mezcla (es decir, la relación agua / cemento, el tamaño de los áridos, la presencia de áridos finos) que contribuyeron significativamente a que la mezcla sea permeable, la presencia de agregado fino en la mezcla porosa ayudó a llenar los vacíos/poros disponibles en la mezcla, pero redujo la porosidad y la permeabilidad de la mezcla, para un 10 % de presencia de agregado fino un coeficiente de permeabilidad de 0,97 cm/s y para un 20 % de agregado fino un coeficiente de permeabilidad de 0,60 cm/s. Así que la porosidad disminuyó gradualmente con el aumento de agregados finos. Como la propiedad fundamental de la mezcla porosa es ofrecer una alta infiltración luego de mantener adecuados los parámetros de resistencia, la cantidad de agregado fino deja una contribución notable en el diseño de la mezcla de mezcla porosa hecha con ladrillo como agregado (Debnath & Sarkar, 2019).

En el artículo sobre *Diseño de mezclas para evaluar la resistencia, la compresión uniaxial y la permeabilidad*, indican que la resistencia y la permeabilidad del hormigón poroso son sus características más importantes, que puede ser empleado en pavimentos de tránsito liviano, y que estas variables deben balancearse para lograr un desempeño adecuado del concreto permeable. Se analizaron 19 mezclas de concreto permeable, respecto a los agregados el tipo, la procedencia y el tamaño máximo,

así mismo las relaciones agua/cemento (a/c), agregado grueso/cemento (A/C). Los resultados alcanzados en esta investigación muestran que resistencia y permeabilidad del concreto permeable obedecen al dominio de algunas variables y las que influyen en forma positiva a la resistencia del concreto permeable, lo hacen de forma negativa con su permeabilidad. El coeficiente de permeabilidad no mostró una disminución que dificulte el empleo del material como parte de sistemas de manejo de la escorrentía superficial en pavimentos rígidos de tránsito liviano. Los valores recomendados son: tamaño máximo del agregado 12 mm, uso de agregado fino menor al 10 %, relación agua / cemento (a/c) 0,28 a 0,30, relación agregado grueso y cemento (A/C) de 4/1 a 4,5/1, agregado de procedencia de río. El empleo de un 8 % de agregado fino en la mezcla exhibió resultados adecuados y optimizó las cualidades del concreto permeable en estado fresco y en estado endurecido. No obstante, el uso de agregado fino es limitado ya que puede mostrar un resultado negativo y considerable en la permeabilidad. La energía de compactación debe analizarse para los rangos de propiedades utilizados en este estudio, con el fin de determinarse el resultado que esta compactación tenga sobre la resistencia a la compresión uniaxial y la permeabilidad del concreto poroso (Fernández & Navas, 2011).

En la tesis *Comportamiento del concreto permeable con 20 % de porosidad utilizando agregados gruesos de tres canteras, Huaraz* el objetivo principal fue estudiar el comportamiento del concreto permeable (resistencia, permeabilidad) en función de los agregados gruesos utilizados. Fue una investigación experimental y explicativa, se fabricaron 27 especímenes para compresión y 12 especímenes para prueba de infiltración, la técnica que se aplicó fue la observación, los datos fueron procesados con software Excel y SPSS, y analizados por tablas, gráficos, pruebas estándar y de medias, prueba de hipótesis ANOVA para un diseño en bloque completamente al azar. Se desarrollaron métodos de análisis de comportamiento específicos utilizando las normas ACI y ASTM. Los resultados muestran que el agregado es de TMN de 3/8 " de TMN de la cantera Rolán, es el mejor por los resultados obtenidos en resistencia a la compresión e infiltración, lo cual es ideal para superficies de bajo tránsito. A los 28 días el concreto de la cantera Rolán, alcanzó una resistencia de 155,63 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la resistencia de la cantera Pablito fue un 25,80 % menor. En las pruebas de infiltración que se realizaron a los 12 especímenes, se observó que el concreto con mayor capacidad de filtración fue el fabricado con materiales de la cantera Rolán con un promedio de 30,943 mm/seg, seguidamente el de la cantera Pablito con un promedio de filtración de 27,89 mm/seg y finalmente el de la cantera Rosales con un promedio de filtración de 13,566 mm/seg (Príncipe, 2018).

En el trabajo de graduación titulado *Optimización del diseño de una mezcla de hormigón permeable a partir de tres distintas graduaciones*, proponen tres tipos diferentes de mezclas de concreto permeable basado en el método de determinación de la densidad óptima y para dosificación según la norma ACI 522R-10, para lograr resistencias que superen los 214,14 kg/cm<sup>2</sup>. Además, se realizaron pruebas de resistencia a la compresión y permeabilidad después de 28 días. Las mezclas de prueba muestran que es necesario agregar arena en una cantidad igual a la cantidad de cemento para obtener una mezcla más cohesiva para lograr un asentamiento cero. Determinaron que el diseño de mezcla óptimo para un concreto permeable se logró con el agregado de la cantera Pintag, con el cual se lograron resistencias altas, principalmente con la graduación N°4, usando una relación a/c (agua / cemento) de 0,55, obtuvieron resistencia a la compresión de 24,6 Mpa, permeabilidad de 1,88 mm/seg, porcentaje de vacíos del 9,46 % y densidad de 2053,55 kg/m<sup>3</sup> (León Altamirano & Rosero Sangucho, 2016).

En el artículo presentado sobre *Propiedades físicas e hidráulicas del concreto poroso*, evaluaron el uso potencial del concreto poroso en construcciones donde el nivel de escorrentía superficial sea justificado, señalan que la revisión documental evidenció que con densidades que varían entre 1640 a 1809 kg/m<sup>3</sup> de los pesos de los agregados para las diferentes mezclas y con valores entre 0,30 a 0,35 de relación agua / cemento y de 3:1 a 5:1 relación agregado / cemento lograron resistencias a la compresión entre 10 a 20 MPa, indicaron también que las resistencias a la compresión del concreto permeable depende de otra variable que es la distribución granulométrica del árido y que un agregado uniformemente graduado entre 4,5 a 20 mm da como resultado una mayor resistencia a la compresión y un mayor porcentaje de vacíos. Los estudios revisados también han demostrado que es beneficioso utilizar agregados finos menores a 2,5 mm, ya que producen una mayor resistencia a la compresión. De acuerdo con el análisis desarrollado en la presente revisión bibliográfica, las variables más influyentes son la permeabilidad, la porosidad, y la resistencia a la compresión. En lo que respecta a la repercusión de la porosidad en la resistencia a la compresión fue evidente que la fuerza a la compresión disminuye. Se puede optar por un rango óptimo de porosidad entre 20 % y 25 %, para conseguir resistencias a la compresión entre 10 a 20 MPa y permeabilidad entre 0,8 a 1,0 cm/s. En general, la resistencia y el desempeño estructural, depende principalmente de la porosidad, de las relaciones agua / cemento, agregado grueso / cemento; por lo que a mayor porosidad menor resistencia a la compresión y esta se reduce hasta un 60 %, ambas son variables que deben ser estimadas en el diseño de concreto permeable (Sánchez-Mendieta et al., 2021).

La tesis que lleva como título *Diseño de concreto permeable, para pavimentos rígidos, utilizando piedra huso 67 y arena gruesa de la cantera la poderosa, para la ciudad de Arequipa*, tuvo como objetivo probar con diferentes diseños de mezcla, comparando los resultados y aplicándolos a pavimentos rígidos. Se realizaron 18 diseños de mezclas utilizando cemento portland tipo IP, agua potable, agregados de la cantera la Poderosa de la Ciudad de Arequipa, aditivos de las marcas SIKA Viscocrete 1110 y EUCO Neoplast 8500 HP, en diferentes combinaciones y dosificaciones, con las que se laboraron muestras cilíndricas y vigas de prueba, para realizar ensayos de resistencia a compresión, flexión, tensión indirecta, desgaste y permeabilidad, se analizaron estadísticamente los diversos resultados obtenidos y se eligió el diseño de mezcla óptimo por cumplir con los requisitos requeridos para ser aplicado en el diseño de pavimento rígido permeable, los diseños de mezclas realizadas reúnen las características indispensables y primordiales para el concreto permeable, donde las óptimas propiedades mecánicas e hidráulicas obtenidas son del diseño PP18-E con una resistencia a la compresión de  $f'c = 334 \text{ kg/cm}^2$  y una permeabilidad de  $0,382 \text{ cm/s}$ , según el ACI 522R-10, para un contenido de vacíos de 10%, que debería tener una resistencia aproximada de  $f'c = 290 \text{ kg/cm}^2$ , los resultados conseguidos fueron superiores. El uso de agregado fino (Arena gruesa) fue muy trascendental en la presente investigación, permitiendo que el material fino se combine de una mejor manera con la pasta de cemento logrando una mejor adherencia entre los agregados. Los diseños efectuados sin agregado fino y con 15 % de vacíos, proporcionaron resistencias a la compresión muy bajas ( $f'c = 90 \text{ kg/cm}^2$ ) a los 28 días. Los diseños realizados sin agregado fino y con 10 % de vacíos, proporcionaron resistencia a la compresión bajas ( $f'c = 115 \text{ kg/cm}^2$ ) a los 28 días. Para lograr mayor resistencia en el concreto permeable se trabajó con una proporción mínima de vacíos (10 %). Otorgando al concreto una mayor resistencia y durabilidad ( $f'c = 290 \text{ kg/cm}^2$ ). La permeabilidad promedio, de los diseños considerados permeables en el estudio fue de  $0,321 \text{ cm/s}$  (rango según norma varía entre  $0,14$  a  $1,22 \text{ cm/s}$ ). El porcentaje de vacíos de diseño (calculado) fue menor que el contenido de vacíos obtenidos en el ensayo de contenido de vacíos y este fue casi similar al contenido de aire atrapado (obtenido en el ensayo de la olla washington). Del análisis de costos entre pavimentos rígidos de concreto permeable y pavimentos rígidos de concreto convencional, fue el siguiente: el concreto convencional obtuvo un costo de S/. 450,95 y el concreto permeable de S/. 443,98. Por lo que el pavimento permeable es 1,56 % menos costoso que el concreto convencional. Por lo tanto el pavimento permeable es más factible económicamente para ser utilizado en pavimentos rígidos (Chaiña & Villanueva, 2017).

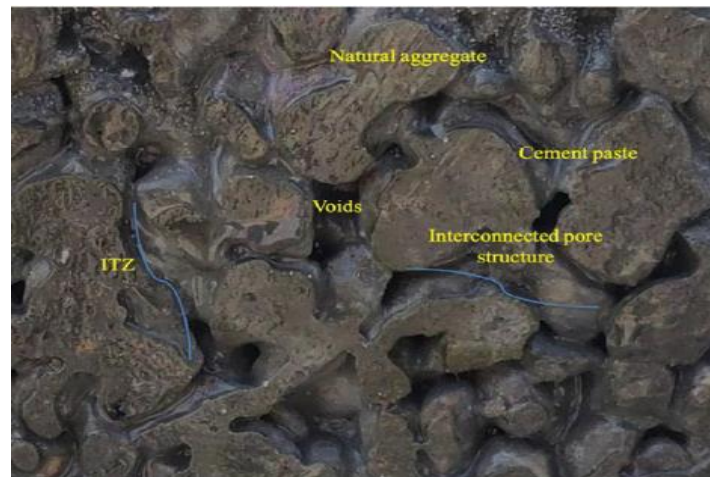
## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Concreto permeable**

Al concreto permeable se le conoce también como hormigón permeable, hormigón poroso, concreto poroso o de porosidad mejorada y está compuesto por una mezcla de cemento portland, agregado grueso, agregado fino en ninguna o poca cantidad y agua. El cemento portland proporciona resistencia al concreto, mientras que los agregados se usan para proporcionar una estructura porosa para la permeabilidad, la adición de poca cantidad de agregado fino mejora la resistencia a la compresión, el agua se usa para mezclar los materiales lo que proporciona una consistencia y trabajabilidad adecuada, el principal uso del concreto permeable es crear una superficie porosa donde se infiltre el agua de lluvia u otra, para impedir la erosión de la capa superficial del suelo, ayudando a mantener la salud del suelo y la calidad del agua ya que esta puede ser canalizada a los sistemas de drenaje. Además, el concreto permeable puede ayudar a minimizar el riesgo de inundaciones provenientes de precipitaciones y otras fuentes, al permitir que el agua se drene rápidamente, determinándose así como un concreto especial que brinda beneficios ambientales.

Generalmente se le define como un material de granulometría abierta, con asentamiento casi nulo, como se observa en la figura 2, la configuración de sus poros interconectados difieren en tamaño de 2 a 8 mm lo que admite que el agua penetre a una tasa mayor que en el concreto convencional. Al concreto permeable se le reconoce como un tipo especial de concreto altamente poroso. Su contenido de vacíos puede oscilar entre 15 % a 35 %, su resistencia típica a la compresión entre 2,8 Mpa o 28,55 kg/cm<sup>2</sup> a 28 MPa o 285,52 kg/cm<sup>2</sup> y una tasa de drenaje que varía con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla, pero generalmente en el rango de 0,14 a 1,22 cm/s (ACI, 2010).

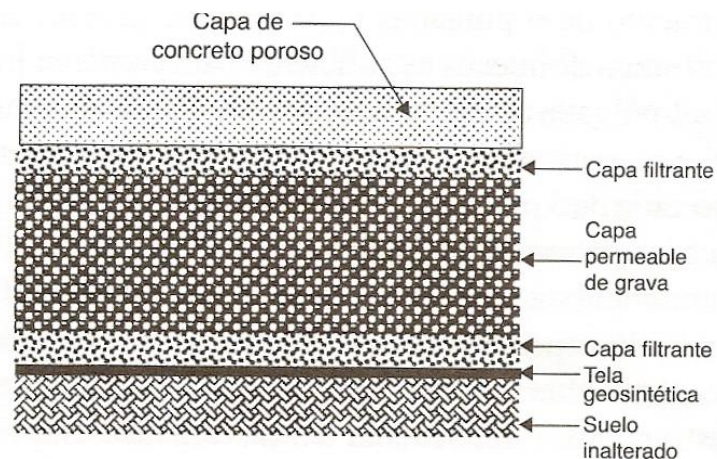
El concreto permeable es un concreto hidráulico que debido a sus características físicas como densidad, consistencia, tiempo de fraguado y endurecimiento, posee un contenido de vacíos muy alto en comparación al concreto convencional, cuenta con suficientes poros interconectados, lo que permite que el agua pase con facilidad por su estructura interconectada, este tipo de concreto también permite el paso del aire en forma sencilla lo que lo vuelve acústicos, a su vez permite el paso de otros materiales como aceites y desechos, ayudando al medio ambiente (ACI-UNISON 2021).

**Figura 2***Sección transversal del concreto permeable*

Nota. Reproducido de <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119260> 0950-0618/ 2020

### 2.2.1.1. Aplicaciones del concreto permeable.

Se puede utilizar como: pavimento rígido de concreto permeable, como capa de rodadura de estacionamientos, capas rígidas de drenaje, pisos de invernaderos, base de pavimentos convencionales, canchas de tenis, hormigón absorbente de ruido, como muros ligeros, aislantes térmicos o acústicos, cubierta de terraplenes, cama de lodos en plantas de tratamiento, almacenaje de energía solar, creación de arrecifes artificiales entre otras aplicaciones arquitectónicas y de ingeniería civil (Chindaprasirt et al., 2008). En la figura 3, se puede apreciar las diferentes capas que componen un pavimento rígido de concreto permeable.

**Figura 3***Estructura de un pavimento de concreto permeable típico*

Nota. Reproducido de ACI 522, 2006

El pavimento rígido de concreto permeable tiene el objetivo de infiltrar el agua desde su superficie hasta la subbase donde es alojada y dispuesta en el suelo o para otras métodos de drenaje. Se utiliza este tipo de concreto en estacionamientos, vías urbanas de bajo tránsito, ciclovías y veredas, para disminuir el escurrimiento superficial proveniente de las aguas pluviales, además puede trasladar partículas contaminantes del agua, tales como metales, aceites, grasas y sólidos suspendidos, al purgarlos a través de las capas de arena y grava, ubicadas bajo la cobertura de rodamiento. El uso de estos pavimentos, está exceptuado en zonas o terrenos con suelos impermeables, regiones climáticas con ciclos permanentes hielo-deshielo, regiones áridas o con un alto grado de erosión eólica, zonas de alto tráfico o donde exista alta probabilidad de colmatación (EPA, 1999; Perez, 2009).

Para el éxito de su aplicación como vemos en las figuras 4 y 5, se debe tener en cuenta consideraciones tales como la experiencia del constructor, la compactación del suelo y el adecuado diseño de acuerdo al lugar del proyecto. Por ejemplo en Estados Unidos en el Estado de la Florida, muchos estacionamientos emplean concreto permeable como capa de rodadura, especialmente por tres fines, el primero es que en la Florida comúnmente se presentan intensas lluvias lo que genera extensas áreas con acumulación de agua, el concreto permeable reduce el volumen de escorrentía de aguas pluviales. El segundo fin es que los diseñadores prefieren que el agua pluvial sea retenida en el sitio para sobrecargar el agua en el subsuelo y el tercer fin es el costo ya que al usar concreto permeable este es menor en comparación con el concreto convencional (ACI, 2010).

#### Figura 4

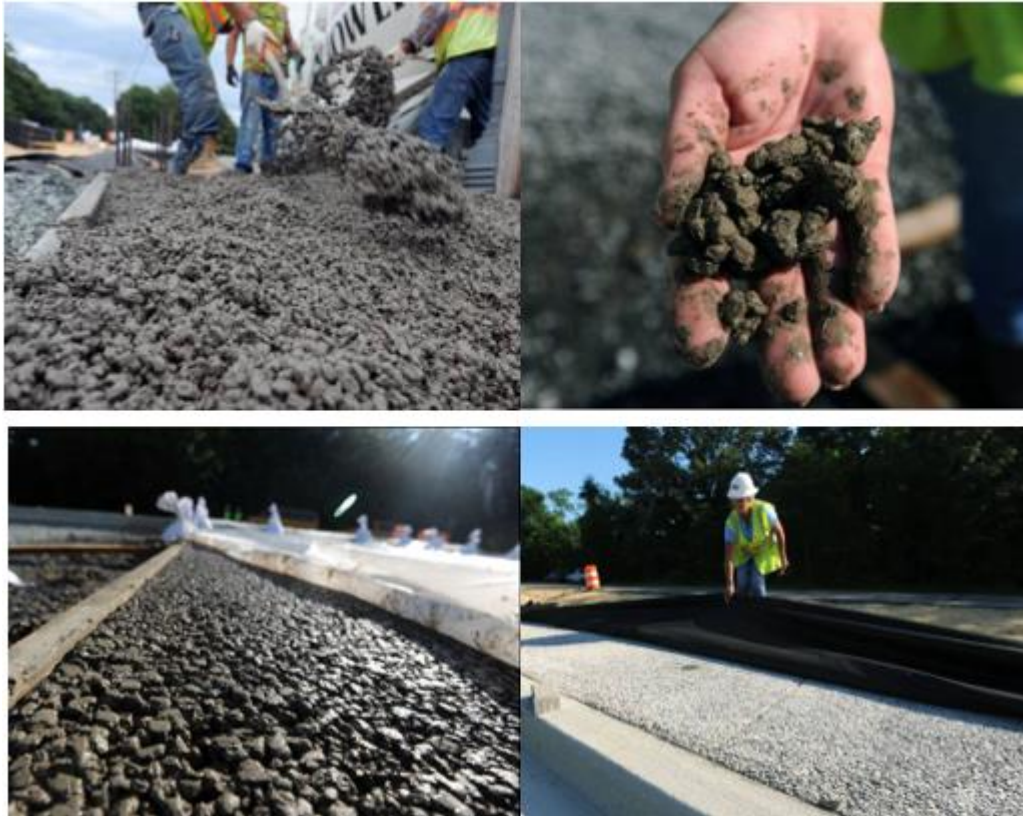
*Concreto permeable como capa de rodadura*



*Nota.* EUPAVE the European Concrete Paving Association (2021, octubre 21). *pervious Concrete Pavement: an overview of European experiences* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=pXa6yLQMzn4&t=4312s>

## Figura 5

### Construcción de un acera de concreto permeable



*Nota.* Adaptado de la página de internet <https://www.baltimoresun.com/business/bs-md-porous-pavement-20140707-story.html> - 2014

#### 2.2.1.2. Componentes del concreto permeable.

Como se mencionó líneas arriba el concreto permeable es una combinación de cemento portland, agregado grueso, agregado fino y agua, a continuación destacaremos sus características más importantes.

**Cemento.** El cemento es un material pulverizado que al combinarse con agua forma una mezcla que puede endurecerse en el agua y en el aire; el clinker es un producto obtenido de la calcinación de materias primas calizas y arcillosas; y el cemento portland es obtenido por la pulverización del clinker con la adición opcional del sulfato de calcio, en el Perú los cementos portland que se fabrican son el tipo I, II, V, Tipo IP y Tipo IPM los que están especificados en las normas NTP 334.009 y ASTM C150-99, el porcentaje de desarrollo de la resistencia a la compresión usando cemento portland Tipo I a los 7 días es aproximadamente 70 %, a los 21 días 90 % y a los 28 días 100 %, llegando a los 2 años al 130 % (ICG, 2022).

Se puede usar cemento Portland tipo I como aglomerante principal para fabricar concreto permeable debiendo este cumplir con las normas ASTM C150 y ASTM C150M,



ASTM C595 ASTM C595M, ASTM C1157 y ASTM C1157M, igualmente se pueden usar elementos cementicios adicionales, como cenizas volantes, escoria y humo de sílice (ACI, 2010).

Además, se debe tener en cuenta que el concreto con alta porosidad es muy sensible al gradiente térmico, a los fenómenos endotérmicos del agua de la mezcla, tiende a secarse y curarse más rápido, por lo que en la mayoría de los casos, la relación agregado / cemento (A/C) es más importante que la relación agua / cemento (a/c), debido a que la falla típica del concreto permeable ocurre en el espesor del recubrimiento de la pasta en la superficie del agregado debido a que la resistencia de la interfaz pasta de cemento agregado es muy débil. La relación A/C varía de 4 a 4,5 por masa (Bonicelli & Pianeta, 2019).

El uso de un contenido de cemento entre  $350 \text{ kg/m}^3$  y  $400 \text{ kg/m}^3$  parece ser óptimo para producir hormigón permeable con suficientes propiedades mecánicas y de permeabilidad (Elango et al., 2021).

*Agregados.* Los agregados son elementos necesarios e importantes en la estructura del concreto, representan alrededor del 60 % al 80 % del volumen del concreto de peso normal empleado en la mayoría de estructuras, por consiguiente las propiedades de los agregados afectan significativamente la calidad del concreto, el tamaño, la forma y granulometría del agregado son variables que afectan la cantidad de agua requerida para producir concreto a un slump dado (Ryan et al., 1999).

Las propiedades y características necesarias de los agregados para un concreto son la gradación, forma de las partículas y ausencia de material de tamaño bajo el límite son muy importantes en la minimización de la demanda de agua (Adams & Member, 2001). Debido a las características que presentan favorecen al mejoramiento e incremento de la resistencia, además permiten que la mezcla sea compacta (Saavedra, 2019).

El agregado grueso triturado también contribuye a una superior demanda de agua, pero se ha reportado que proporcionan una mejor resistencia que las gravas redondeadas (Barth et al., 2001). La mezcla de tres o más tamaños de agregados reduce los requisitos de agua y mejora la trabajabilidad (Ryan et al., 1999).

En el reporte ACI 522R-10 recomiendan que el agregado grueso para concreto permeable, sea piedra chancada, agregado redondeado, concreto reciclado o la combinación de ellos y las granulometrías deben satisfacer las exigencias según las normas ASTM C33/C33M o ASTM C29/C29M; y los husos recomendados son N° 67 (3/4 " a 4,75 mm), huso N° 7 (1/2 " a 4,75 mm), huso N° 89 (3/8 " a 1,19 mm) y huso

N° 8 (3/8 " a 2,38 mm), antes de realizar el diseño de mezcla y obtener la mezcla se debe comprobar la humedad y la absorción de los agregados, para corregir el volumen de agua correcto y conseguir la condición saturada superficialmente seca y así evitar una mezcla sin manejabilidad o con drenaje de la pasta; asimismo, las pruebas han confirmado que la relación del volumen de agregado grueso varillado en seco por el volumen sólido de agregado grueso b/bo merece usarse como una relación de diseño y se puede usar de manera efectiva para dosificar concreto permeable, ya que compensa los efectos de diferentes formas de partículas de agregado grueso, granulometría y gravedad específica; además, los valores de b/bo para los agregados de tamaño máximo nominal que se usan normalmente en concreto permeable de 3/8 " a 3/4 " (9,5 a 19 mm) son similares (ACI, 2010).

La NTP 400.037 señala que el agregado grueso es retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, y que cumple con las condiciones establecidas en dicha norma (NTP 400.037.2014, 2014).

Para el pavimento rígido de concreto poroso el tamaño máximo del agregado grueso está limitado a un tercio del espesor del pavimento. Se puede usar agregado grueso de mayor tamaño, pero su acabado será demasiado rugoso, lo que no es adecuado para muchos tipos de pavimentación, en la figura 6 observamos los diferentes husos y requisitos granulométricos del agregado grueso.

**Figura 6**

*Requisitos granulométricos del agregado grueso*

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO MONOMIAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3 1/2 in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2 1/2 in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 1/2 in.)	25 mm (1 in.)	19 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2 a 1 1/2 in.)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 in.)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm (2 a 1 in.)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4.75 mm (2 in. a N° 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37.5 mm a 9 mm (1 1/2 a 3/4 in.)	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2 in. a N° 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12.5 mm (1 a 1/2 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.5 mm (1 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm (1 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 mm a 9.5 mm (3/4 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (3/4 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 mm a 2.36 mm (3/8 in. a N° 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	9.5 mm a 1.18 mm (3/8 in. a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

*Nota.* Reproducido de <https://www.yura.com.pe/blog/agregados-para-la-elaboración-de-concreto/>

Las propiedades mecánicas del agregado, se infieren de sus propiedades físicas, como peso específico, peso unitario, contenido de humedad y absorción, según se especifica en la Tabla 1.

**Tabla 1***Ensayos para agregados finos y gruesos*

<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>
Análisis granulométrico del agregado fino y grueso y Método de ensayo.	NTP 400.037 / ASTM C 33 / NTP 400.012
Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino y grueso	NTP 400.022.2021/ ASTM C 128
Abrasión Los Ángeles	NTP 400.019-02
Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo.	NTP 339.185.2021/ ASTM C 556
Determinación de la masa por unidad de volumen o densidad (peso unitario) y los vacíos en los agregados.	NTP 400.017.2020/ ASTM C 29

*Nota.* Reproducida de Especificaciones de agregados para concreto de la Norma Técnica Peruana NTP 400.037-2021.

Según la NTP 400.037, el agregado fino se precisa como el agregado derivado de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa por el tamiz de 9,5 mm (3/8 "), queda retenido en el tamiz 75 µm (Nº 200), y cumple con los requisitos establecidos en dicha norma, la gradación del agregado fino que especifica la norma según los límites establecidos en la Tabla 2 (NTP 400.037.2014, 2014).

**Tabla 2***Límites de la gradación del agregado fino*

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
9,5 mm (3/8" pulg.)	100
4,75 mm (Nº 4)	95 a 100
2,36 mm (Nº 8)	80 a 100
1,18 mm (Nº 16)	50 a 85
600 µm (Nº 30)	25 a 60
300 µm (Nº 50)	05 a 30
150 µm (Nº 100)	0 a 10
75 µm (Nº 200)	0 a 3

*Nota.* Reproducida de Especificaciones de agregados para concreto de la Norma Técnica Peruana NTP 400.037-2014.

Los agregados finos deberían ser utilizado en ninguna o poca cantidad en mezclas de concreto permeable puesto que tienden a comprometer la interconexión del

sistema de poros (ACI, 2010). En efecto si se incorpora agregado fino en un 20 % aumenta las propiedades mecánicas y los agregados de forma irregular ofrecen una mejor adherencia entre el agregado y el cemento, obviamente, propiedades de mayor resistencia, hay que destacar que el concreto permeable hecho con agregado graduado resultó en una mayor resistencia que el agregado de un solo tamaño. El uso de arenas de cantera favorece las propiedades de resistencia a la compresión del concreto permeable que el uso de granulometría densa de agregado de 9,5 mm a 2,36 mm que representa la distribución de tamaños de partículas en un material que tiene una mayor densidad de partículas más pequeñas (Elango et al., 2021).

*Agua.* El agua ideal para el concreto es aquella que es idónea para el consumo humano, debiendo cumplir con la norma ACI 301. Desempeña tres objetivos importantes que implican mezclarse e hidratar al cemento, lubricar a los agregados para contribuir a la trabajabilidad y proporcionar para su desarrollo una estructura de vacíos, así mismo, para un buen desempeño del concreto la cantidad del agua debe ser verificada en el proceso de hidratación del cemento para evitar que afecte su resistencia y trabajabilidad de la misma. La calidad del agua para el concreto permeable se rige por los mismos requisitos que el concreto convencional, por lo cual debe cumplir los estándares plasmados en la norma NTP 339.088. El agua constituye del 14 % al 18 % del volumen de la mezcla. El hormigón permeable debe formularse con una relación agua/cemento entre 0,26 a 0,40. Esto se debe a que cantidades excesivas de agua provocan drenaje de la pasta y la posterior obstrucción del sistema de poros del concreto permeable, como vemos en la figura 7 muestras de concreto permeable con diferentes contenidos de agua (ACI, 2010).

### Figura 7

Muestras de concreto permeable con diferentes contenidos de agua (a) Con poca agua (b) con adecuada agua y (c) con demasiada agua



### 2.2.1.3. Propiedades del concreto permeable.

Las propiedades y características físicas del concreto permeable son completamente diferentes al concreto convencional, pero se les evalúa también tanto en su estado fresco y endurecido, en este último se examina sus propiedades mecánicas siendo la más importante la prueba de resistencia a la compresión. Actualmente, existe muy poca estandarización que regule la forma de realizar los ensayos en concreto permeable. En la mayoría de los casos, se utilizan los estándares del concreto convencional (Bonicelli & Pianeta, 2019). Para medir las propiedades del concreto permeable se usan los métodos los ensayos de la ASTM. Se debe tener precaución al momento de emplear ensayos para el concreto permeable que son utilizados para concreto convencional (Guizado & Curi, 2017).

#### *En estado fresco*

*Asentamiento.* La consistencia define el contenido de humedad de una mezcla por su grado de fluidez, como se especifica en la NTP 339.035 y ASTM C143, se debe medir y registrar de cada lote del cual se elaboran los especímenes de concreto el asentamiento inmediatamente después de remezclarse en la tolva, el método comúnmente utilizado para determinar la consistencia es el ensayo en el cono de Abrams, o también conocido como ensayo de asentamiento o Slump; para el concreto permeable este tipo de ensayo no se considera para fines de control de calidad como en el concreto convencional, solo se considera como un valor de referencia (Bonicelli & Pianeta, 2019).

El asentamiento que presenta el concreto permeable es igual a cero o menor a 25 mm por ser una mezcla rígida. En la Tabla 3 se muestran las mediciones de consistencia como un índice para su trabajabilidad, proporcionadas por el ACI 211.3R-02 (Comité ACI 211.3R-02, 2009).

**Tabla 3**

*Mediciones de consistencias como un índice para la trabajabilidad*

<b>Consistencia</b>	<b>Slump (mm)</b>
Extremadamente seco	0
Muy rígido	0
Rígido	0 a 25
Plástico rígido	25 a 75
Plástico	75 a 125
Muy plástico	125 a 190

*Nota.* Adaptado de ACI 211.3R-02 Guide for selecting proportions for No-Slump concrete-2009

*Contenido de aire y Densidad o Peso Unitario.* La densidad del concreto permeable fresco se especifica como la masa por unidad de volumen, su peso unitario depende de la variación de su porosidad, y varía en un rango de 1750 a 2000 kg/m<sup>3</sup>. El ACI R22R-10 recomienda que el contenido de vacío debe oscilar entre 15 % a 35 % y que lo indicado también depende del tamaño de los agregados. Se calcula de acuerdo con lo especificado en la NTP 339.080 y en ASTM C 1688 este método de prueba estandar cubre la determinación de la densidad del concreto permeable recién mezclado y brinda fórmulas para calcular su contenido de vacíos (Bonicelli & Pianeta, 2019).

*En estado endurecido*

*Resistencia a la Compresión.* La resistencia a la compresión es otra de las propiedades más importantes del concreto permeable, ya que mide la resistencia máxima sometida a carga axial de especímenes cilíndricos, los cuales son sometidos a compresión en una prensa hidráulica normalizada, sus esfuerzos se expresan en kg/cm<sup>2</sup> o MPa, la que es determinada por la norma ASTM C39 y la NTP 339.034-2015 a una edad de 28 días, para el cálculo se divide la máxima carga obtenida, entre el área de la carga axial del espécimen, cabe recalcar que no existe una norma exclusiva que estandarice el ensayo a compresión del concreto permeable. La resistencia a la compresión del concreto permeable oscila entre 2,8 a 28 MPa o 28,55 a 285,52 kg/cm<sup>2</sup>, esta propiedad es principalmente afectada por el grado y método de compactación del cual tampoco existe estandarización, también, por el tamaño de los agregados, el módulo de finura, los aditivos poliméricos y minerales, así como el resultado de ensayar en probetas moldeadas o extraídas con diamantina. A su vez la relación agua / cemento (a/c) y el contenido total de cemento es importante para la resistencia a la compresión, una insuficiente cantidad de cemento ocasiona poco revestimiento de la pasta alrededor del agregado y por ende una baja resistencia a la compresión, cabe mencionar que un excesivo contenido de vacíos también provocará una baja resistencia (ACI, 2010; Laguna & Piedrahita, 2017).

Los cambios en la resistencia a la compresión con el tamaño de los agregados se pueden atribuir principalmente al efecto del tamaño de los agregados sobre las características de los poros y el espesor de la pasta de cemento (Yu et al., 2019).

El espesor de la pasta en la superficie del agregado y el contenido de poros del agregado están influenciados por la compactación aplicada; no obstante, actualmente se desconoce el nivel de compactación requerido para lograr la densidad y la resistencia deseada (Chindaprasirt et al., 2008).

*Contenido de vacíos.* Esta propiedad en estado endurecido se puede determinar utilizando el método de desplazamiento de volumen, mediante ensayos estandarizados y utilizando fórmulas dadas en el ASTM C1754 midiendo la masa bajo el agua y la masa seca (Guizado & Curi, 2017). El porcentaje de vacíos depende en parte del tamaño de agregado se recomienda que este contenido debe tener como mínimo un 15 % y que no supere el 25 % por la poca estabilidad de la mezcla. Un alto contenido de vacíos, incrementa la permeabilidad y reduce la resistencia.

*Permeabilidad o capacidad de filtración.* La permeabilidad es la facultad de un material para permitir que un fluido sea capaz de traspasarlo sin alterar su estructura interna, una de las propiedades más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar el agua a través de su estructura. En la figura 8 se puede ver la capacidad de filtración que tiene este tipo de concreto relacionada directamente con su contenido de vacíos. Diversos estudios y pruebas han demostrado que se requiere una fracción de vacíos al menos alrededor del 15 % para lograr una filtración significativa y la permeabilidad de las mezclas se considera escasa o deficiente cuando el tiempo medido está por encima de los 200 segundos y satisfactoria cuando es menor de 100 segundos. El resultado para una mezcla porosa recién colocada debe ser inferior a 50 segundos, debiendo estar preferiblemente por debajo de los parámetros 25 a 35 segundos (Perez, 2009). La permeabilidad se modifica con el tamaño del agregado y densidad de la mezcla, y debe estar en el rango de 0,14 cm/s a 1,22 cm/s (ACI, 2010).

**Figura 8**  
*Capacidad de filtración del concreto permeable*



La permeabilidad en el concreto permeable según el ACI 522R se puede medir mediante un permeámetro de carga variable que controla el tiempo que demora en pasar el agua de un punto a otro medido en una probeta graduada (Neithalath, 2004).

En la figura 9 se puede apreciar al permeámetro de carga variable fabricado para esta investigación y aplicado a los 28 días de curado de las muestras cilíndricas de concreto permeable, siguiendo lo indicado por el ACI 522R-10.

**Figura 9**  
*Permeámetro de carga variable*



#### **2.2.1.4. Variables influyentes en las propiedades del concreto permeable.**

Las variables que influyen en las propiedades del concreto permeable son: granulometría, dosis de cemento, relación agua / cemento y contenido de vacíos, por lo mismo la resistencia y permeabilidad del concreto permeable estarán determinadas por el tipo de mezcla que se utilizará.

*Granulometría.* Es la distribución del tamaño de partícula de un agregado determinado por el análisis de tamices ASTM C136, el agregado chancado debe utilizarse con ausencia casi total de finos, ya que harían la mezcla impermeable; el tamaño del grano debe ser bastante uniforme para obtener un porcentaje elevado de vacíos y el tamaño máximo de agregado es de 19 mm, para permitir una adecuada terminación superficial (ACI, 2010).

*Dosis de cemento.* Dosis altas de cemento produce un concreto permeable más resistente, pero reduce su porcentaje de vacíos y pierde su capacidad de infiltración. Dependiendo de los requerimientos de resistencia y permeabilidad, se recomienda una dosis que varía en el rango de 350-400 kg/m<sup>3</sup> (ACI, 2010).

*Relación agua / cemento.* Una cantidad insuficiente de agua dará como resultado una mezcla inconsistente y con una baja resistencia. Las cantidades excesivas de agua producirán una pasta que sellará los vacíos en la mezcla y además



de lavar el cemento de la superficie del agregado dará como resultado una resistencia deficiente al desgaste superficial, se sabe que la relación a/c es una covariable, determinada por la cantidad, el tipo de cemento y granulometría utilizada. El criterio para determinar este valor suele ser la cantidad de agua con la que la pasta adquiere un brillo metálico. Los hormigones permeables deben dosificarse con una relación a/c relativamente baja normalmente entre 0,26 a 0,40 (ACI, 2010).

*Contenido de vacíos.* Su influencia se basa en tres factores principales: Esfuerzo de compactación, uniformidad de los agregados y la inclusión o ausencia del agregado fino.

### 2.2.2 Vías urbanas

Según el Texto único ordenado del Reglamento Nacional de tránsito, las vías urbanas son vías dentro del ámbito urbano, destinadas a la circulación de vehículos y peatones.

La Norma CE.010 contempla como vías urbanas a las vías colectoras, locales, arteriales y expresas según la función que prestan, detallaremos las siguientes:

*Vías colectoras.* Son aquellas que sirven para llevar el tránsito de las vías locales a las arteriales, dando servicio tanto al tránsito vehicular, como acceso hacia las propiedades adyacentes, se usan para todo tipo de vehículos (*Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos, 2010*).

*Vías locales.* Son aquellas que tienen por objetivo el acceso directo a las áreas residenciales, comerciales e industriales y circulación dentro de ellas, debiendo llevar únicamente su tránsito propio, generado tanto de ingreso como de salida (*Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos, 2010*).

**Tabla 4**

*Sistema Vial Urbano de la Ciudad de Tacna*

<b>Estructura</b>	<b>Clasificación</b>
Red Vial Primaria	Vías Internacionales Vías interregionales Vías interprovinciales Vías arteriales
Red Vial Secundaria	Vías Colectoras Vías locales

*Nota.* Adaptado del Plan de Acondicionamiento Territorial y Plan de Desarrollo Urbano 2014-2023

El Sistema Vial Urbano de Tacna, está estructurado de acuerdo a su función en red vial primaria y secundaria utilizando la clasificación vial normativa establecida en el Plan de Acondicionamiento Territorial y Plan de Desarrollo Urbano 2014-2023 como vemos en la tabla 4. La red vial secundaria conformada por las vías urbanas, llamadas colectoras y locales (Municipalidad Provincial de Tacna, 2014).

La Norma CE.010 indica los requisitos mínimos de los elementos que las componen, que se muestran en la Figura 10. Se aprecia que el concreto debe tener un módulo de rotura MR igual o superior a 3,4 MPa (34 kg/cm<sup>2</sup>) para que sea usado como capa de rodadura en dichos pavimentos (*Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos*, 2010).

**Figura 10**  
*Requisitos mínimo para pavimentos*

Elemento		Tipo de Pavimento		
		Flexible	Rígido	Adoquines
Sub-rasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
		Espesor compactado: ≥ 250 mm – Vías locales y colectoras ≥ 300 mm – Vías arteriales y expresas		
Sub-base		CBR ≥ 40 %	CBR ≥ 30 %	
Base		CBR ≥ 80 %	N.A.*	CBR ≥ 80%
Imprimación/capa de apoyo		Penetración de la Imprimación ≥ 5 mm	N.A.*	Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm.
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	≥ 50 mm	≥ 150 mm	≥ 60 mm
	Vías colectoras	≥ 60 mm		≥ 80 mm
	Vías arteriales	≥ 70 mm		NR**
	Vías expresas	≥ 80 mm	≥ 200 mm	NR**
Material		Concreto asfáltico ***	MR ≥ 34 Kg/cm <sup>2</sup> (3,4 MPa)	f <sub>c</sub> ≥ 380 Kg/cm <sup>2</sup> (38 MPa)

*Nota.* Reproducido de la Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos 2010

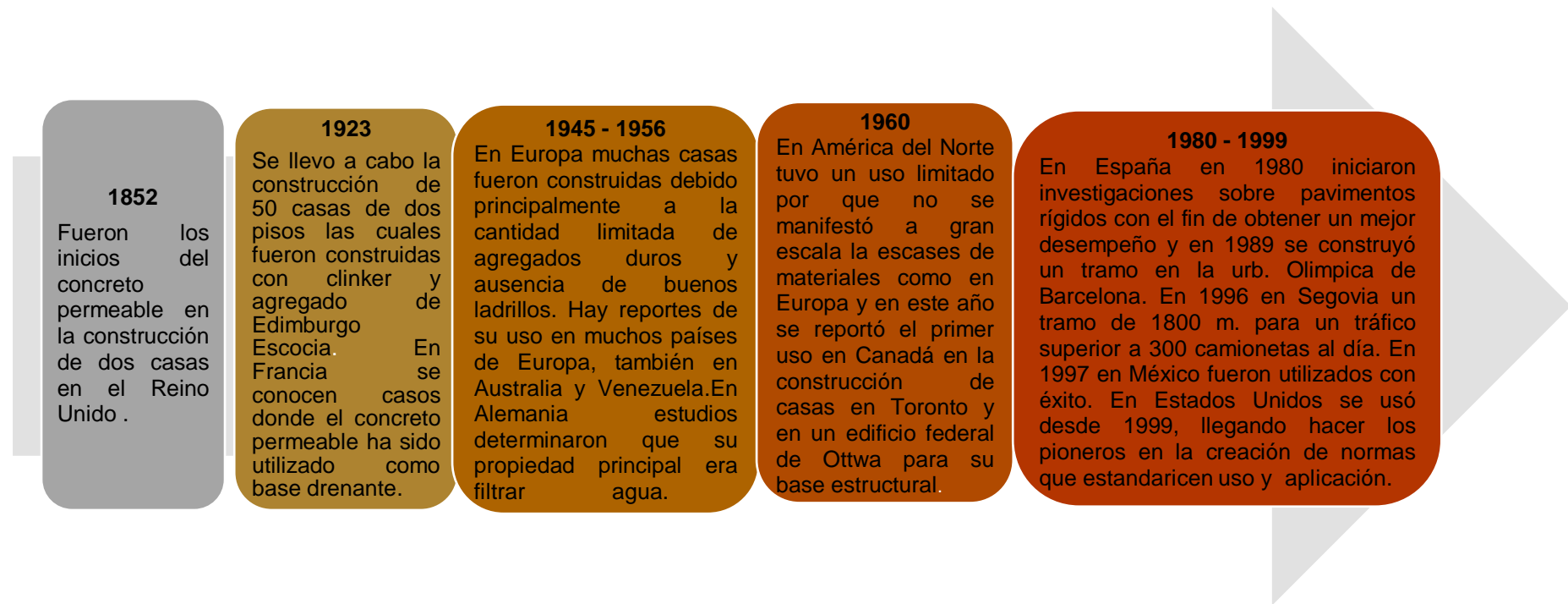
La resistencia máxima a la flexión se denomina módulo de rotura MR, cuyo cálculo es utilizado como dato de entrada en el diseño de elementos que trabajan a flexión. En la actualidad, esta propiedad es comúnmente utilizada en el diseño de pavimentos de concreto para poder determinar la resistencia a la flexión, aunque en el Tacna no está muy difundido el ensayo para obtener el MR, por lo que, cuando no se disponen de ensayos a flexión, se puede realizar una correlación como lo indica el Comité Europeo del Concreto, quien recomienda una relación entre la resistencia a la compresión en kg/cm<sup>2</sup> y un valor K (que oscila entre 2,5 a 2,7) para poder calcular el MR, con la siguiente ecuación (1) lo que permite calcular el MR con el valor K y la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión hallada (Huertas & Michael, 2017).

$$MR = 2.6\sqrt{f'c} \quad (1)$$

Por otra parte la aplicación del concreto permeable se remonta fundamentalmente a la década de 1950, después de la segunda guerra mundial como vemos en las figuras 11 y 12 que corresponde a las líneas de tiempo que confeccionamos sobre la aplicación del concreto permeable desde 1952 a 2022.

### Figura 11

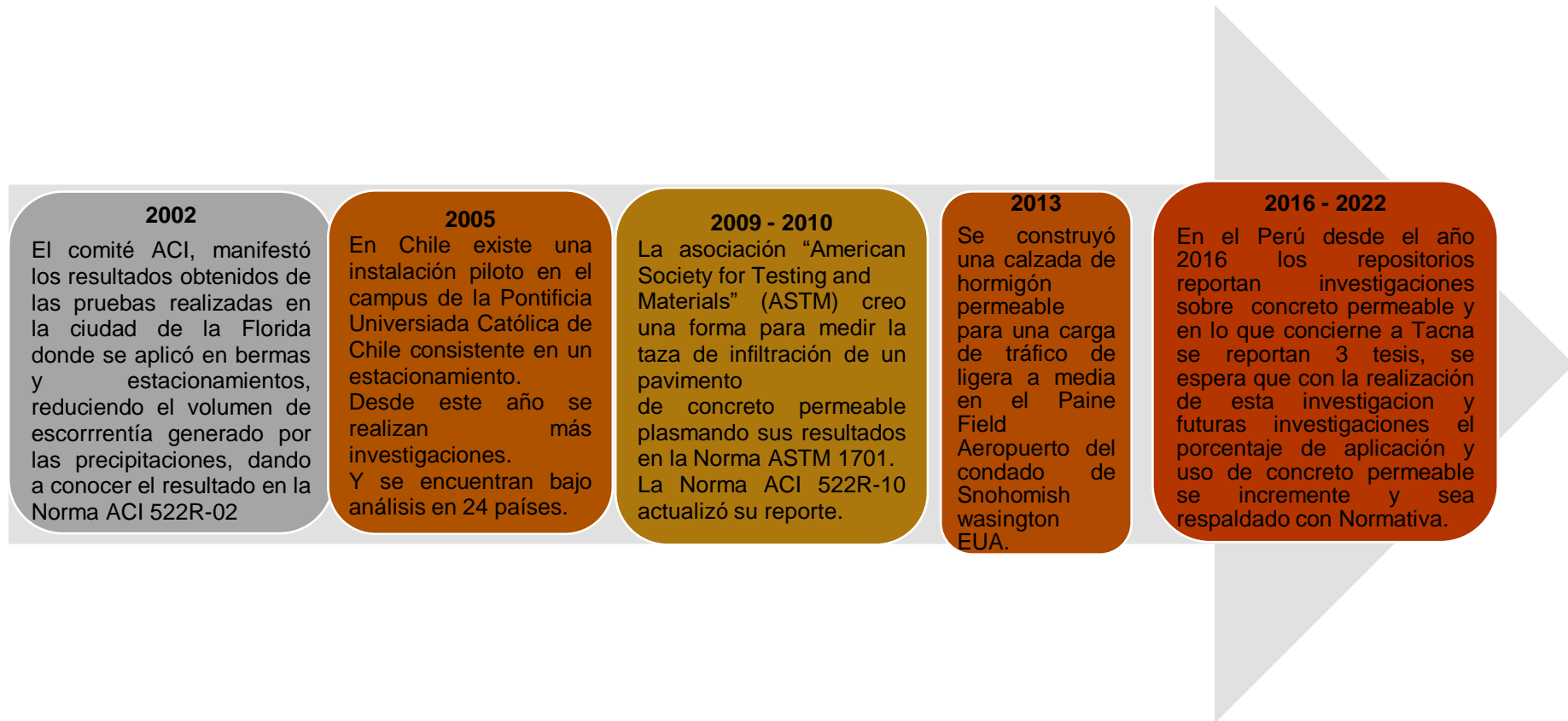
*Línea de tiempo de la aplicación de concreto permeable del año 1952 al año 1999*



*Nota. Solo el texto adaptado de (Bonicelli & Pianeta, 2019)(Chaiña & Villanueva, 2017).*

## Figura 12

*Línea de tiempo del concreto permeable del año 2002 al año 2022*



*Nota. Solo el texto adaptado de (Bonicelli & Pianeta, 2019)(Chaiña & Villanueva, 2017).*

## **2.3. Definición de términos**

### **2.3.1. Acera o vereda**

Parte de la vía ubicada entre la pista y el límite de la propiedad, destinada al uso peatonal. Puede ser de concreto simple, asfalto, unidades intertrabadas (adoquines) o cualquier otro material apropiado (*Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos, 2010*).

### **2.3.2. ACI**

American Concrete Institute (ACI, 2010).

### **2.3.3. Agregado**

Es un conjunto de partículas de origen natural o artificial, con forma tamaño y distribución de tamaños apropiado que pueden ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la presente norma, se les llama también áridos (NTP 400.037.2014, 2014).

### **2.3.4. Agregado fino**

Es el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, o una combinación de ellas que pasa por el tamiz normalizado N°4 (4,75 mm) y queda retenido en el tamiz normalizado 74  $\mu\text{m}$  (N° 200), que cumple con los límites establecidos en la presente norma (NTP 400.037.2014, 2014).

### **2.3.5. Agregado grueso**

Es el agregado retenido en el tamiz normalizado N°4 (4,75 mm) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, y que cumple con los límites establecidos en la presente norma y consistirá en grava, piedra chancada, concreto reciclado, o la combinación de ellos, conforme a los requisitos de esta norma (NTP 400.037.2014, 2014).

### **2.3.6. Arena**

Es el agregado fino proveniente de la desintegración natural de las rocas (NTP 400.037.2014, 2014).

### **2.3.7. ASTM**

Association for testing materials

### **2.3.8. Ciclovía**

Espacio dentro de una vía urbana destinado exclusivamente al tránsito de bicicletas (Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos, 2010).

### **2.3.9. Concreto permeable**

El término “concreto permeable” generalmente describe un material de granulometría abierta con asentamiento casi nulo que consta de cemento portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivos y agua (ACI, 2010).

### **2.3.10. Estacionamiento**

Superficie pavimentada, con o sin techo, destinada exclusivamente al parqueo de vehículos (Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos, 2010).

### **2.3.11. Gradación**

La gradación de los agregados usados en la elaboración de concreto permeable son usualmente de un solo tamaño o gradados entre  $\frac{3}{4}$  " y  $\frac{3}{8}$  " de pulgada (19 y 9.5 mm), pudiendo ser canto rodado o piedra chancada.

### **2.3.12. Granulometría**

La granulometría se determina de acuerdo con la norma ASTM C136, es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices. El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre. (Rivva López, 2000).

**2.3.13. Grava**

Es el agregado grueso, proveniente de la desintegración natural de materiales pétreos, encontrándose corrientemente en canteras y lechos de ríos, depositado en forma natural (NTP 400.037.2014, 2014).

**2.3.14. Losa de concreto de cemento portland**

Superficie de rodadura y principal elemento estructural en los pavimentos rígidos (Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos, 2010).

**2.3.15. Pavimento**

Estructura compuesta por capas que se apoya en toda su superficie sobre el terreno preparado para soportar durante un lapso denominado período de diseño y dentro de un rango de serviciabilidad. Esta definición incluye pistas, estacionamientos, aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclovías (Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos, 2010).

**2.3.16. Piedra chancada o triturada**

Se le denomina así al agregado grueso obtenido por trituración artificial o mecánica de rocas o gravas, escorias u otros (NTP 400.037.2014, 2014).

**2.3.17. Piedra chancada huso 67**

Según la Norma ASTM C33 es aquella cuyas partículas tiene como tamaño máximo nominal 3/4" y tamaño predominante 1/2". La clasificación de agregados según la Norma ACI 522R-10, que se utilizan para el concreto permeable y en este caso piedra chancada huso 67 (ACI, 2010).

**2.3.18. Tamaño máximo**

Según la NTP 400.037, es el que corresponde a la menor abertura de tamiz que permite el paso de la totalidad del agregado. De manera práctica representa el tamaño de la partícula más grande que tiene el material (Kanashiro & Monzón, 2020).

**2.3.19. Tamaño máximo nominal**

Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido del agregado entre 5 % y 10 % (NTP 400.037.2014, 2014).

**2.3.20. Vías urbanas**

Espacio destinado al tránsito de vehículos y/o personas que se encuentra dentro del límite urbano. Según la función que prestan se clasifican en: Vías expresas, Vías arteriales, *Vías colectoras* y *Vías locales* (Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos, 2010).



## CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Diseño de Investigación

Este estudio es de tipo experimental, debido a que se identificaron los resultados mediante ensayos de laboratorio de mezclas de concreto permeable, visualizando y evaluando su incidencia en las propiedades del concreto permeable de las muestras cilíndricas ensayadas a diferentes edades, evaluando las razones de su comportamiento al modificar la variación del porcentaje de agregado fino y de piedra chancada.

Corroborar lo dicho Hernández, que denomina a la investigación experimental porque en un estudio de este tipo se crea el contexto y se controla intencionalmente o se manipula una o más variables independientes, y luego se observa el efecto de esta manipulación sobre una o más variables dependientes (Hernández & Mendoza, 2019).

### 3.2. Acciones y actividades

La metodología involucrada en el desarrollo de esta investigación fue la implementada por la Norma del reporte ACI 522R-10 (ver anexo 1) para el *diseño de mezclas de concreto permeable*, cuyo éxito se supeditó a las propiedades de los materiales particulares utilizados.

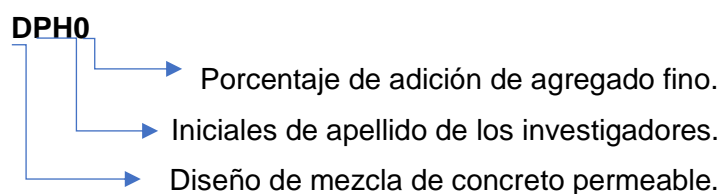
Ante la problemática que se identificó en el estudio y haciendo uso del método científico se planteó objetivos e hipótesis que fueron alcanzados y confirmados con los resultados obtenidos en la presente investigación.

Por lo indicado a continuación se describen las acciones y actividades realizadas que también serán evidenciadas en anexos y en el panel fotográfico

- Se recabó información referente al tema, a través de las bases de datos bibliográficos de artículos de revistas, tesis, libros y congresos con el objetivo de reunir toda la información actualizada referente al estudio organizándolas en el gestor bibliográfico Mendeley.
- Se ubicó la cantera Arunta en la Ciudad de Tacna, se seleccionó al proveedor de los agregados, se procedió a adquirir y extraer el agregado fino y la piedra chancada huso 67 en la Cantera Arunta ubicada en el paraje Arunta del Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, de la Provincia y Departamento de Tacna, dentro del cauce actual de la quebrada Río seco, a la que se accede a través de

las avenidas como Alexander Von Humbolt y Avenida Bohemia Tacneña, el material extraído se encontró depositado en grandes bancos, siendo retirado de la parte inferior, media y superior de las pilas de agregados, con la finalidad de obtener un buen muestreo, como lo indica la NTP 400.010-16 y se embolsaron en sacos de plástico de aproximadamente 50 kg (se puede apreciar en el anexo 20).

- Se efectuaron ensayos físicos, químicos y granulométricos de los agregados, según lo indicado en la NTP y ASTM, verificando si estos cumplían con los requisitos de mezclas de concreto permeable para lograr un mejor comportamiento en la relación resistencia / permeabilidad, para ello se utilizaron tamices normalizados; balanza y horno calibrados; herramientas y equipos tal como detallan las normas y como se evidencia en los anexos 3 al anexo 19. La normativa usada fue para los ensayos de humedad la Norma NTP 339.185-13, para Peso Específico y Absorción del Agregado Fino la Norma NTP 400.022-13, el Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso la Norma NTP 400.021-13, el Peso Unitario y Contenido de Vacíos la Norma NTP 400.017-11, Granulometría por tamizado la Norma NTP 400.012-013, Abrasión Los Ángeles la norma NTP 400.019-02 y para la cantidad de finos la Norma NTP 400.018-13. Con lo que se caracterizó a los agregados de la cantera Arunta, para establecer su calidad, proporciones apropiadas y determinándose el comportamiento esperado.
- Se buscó la metodología para la realización del diseño de mezclas de concreto permeable, encontrándose una metodología usada por varios investigadores y aceptado por la comunidad científica y publicada en varios artículos por lo que se eligió la metodología propuesta por la Norma ACI 522R-10 para el *diseño de mezclas de concreto permeable*, que acompañamos en el anexo 21.
- Se fabricaron y curaron las muestras cilíndricas de concreto permeable según lo indicado en la NTP 339.033-2015, para ello se utilizó una mezcladora de concreto eléctrica de 210 litros, moldes de probeta de 0,30 x 0,15 m y de 0,20 x 0,10 m, varilla metálica, balanza, cono de Abrams y demás herramientas detalladas en la norma y que se evidencia en el anexo 20. Las muestras cilíndricas fueron codificadas de la siguiente manera:



- En el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad Privada de Tacna, se realizó los ensayos utilizando el equipo de prensa digital marca Forney, para determinar la resistencia a la compresión a los 7 días, 21 días y 28 días, según lo indicado en la norma NTP 339.034 y como se evidencia en el anexo 20, se ensayaron 3 muestras cilíndricas de 0,15 m x 0,30 m, por diseño de mezcla de concreto permeable, para cada día antes mencionado, los cuales fueron DPH0, DPH10 y DPH20, al realizar los ensayos fue necesario coronarlos con un sistema que consta de dos retenedores de refrentado de aleación de acero y dos almohadillas de neopreno de 13 mm de grosor que están en contacto con las superficies superior e inferior de las muestras cilíndricas de concreto. Las almohadillas evitan las irregularidades, distribuyendo la carga uniformemente para garantizar unos resultados de resistencia fiables y para que los extremos sean perfectamente planos, paralelos y perpendiculares al eje del cilindro,
- Se fabricó un permeámetro de carga variable para los ensayos de permeabilidad aplicados a las muestras cilíndricas de concreto permeable de 0,20 m x 0,10 m a los 28 días de curado.
- Se realizó el ensayo de contenido de vacíos en estado endurecido del concreto permeable.
- Se procesaron los resultados logrados, haciendo uso del software Excel 2019.
- Se utilizó el software IBM SPSS statistics 25 para poder comprender el comportamiento de las variables numéricas y su distribución, así mismo realizar el cálculo de la mediana, la media y la moda y las medidas de dispersión, su valor mínimo y máximo y que tan alejados están del punto central, así como el rango y su desviación estándar
- Se construyeron tablas y gráficos con los resultados obtenidos para su análisis.
- Se analizaron los resultados obtenidos según los objetivos planteados.
- Se establecieron las conclusiones y recomendaciones referidas al estudio realizado.

A continuación se describen las acciones y actividades realizadas para el cumplimiento de cada objetivo planteado.

*Acciones y actividades para el Objetivo 1.* Determinar las características granulométricas, físicas y químicas del agregado fino y piedra chancada huso 67 para ser empleados en el diseño de concreto permeable para vías urbanas.

**Tabla 5***Acciones y actividades para el Objetivo 1*

<b>Como se estudió</b>	<b>Que se realizó</b>	<b>Cuando se realizó</b>	<b>Donde se realizó</b>
A los materiales empleados que fueron agregados fino y piedra chancada huso 67 de la cantera Arunta se les realizó ensayos de laboratorio según la normativa antes descrita.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis granulométrico.</li> <li>• Abración Los Ángeles</li> <li>• Peso específico</li> <li>• Peso unitario suelto</li> <li>• Peso unitario varillado</li> <li>• Contenido de Humedad</li> <li>• Ensayos químicos</li> </ul>	Los ensayos se realizaron el 18 y 19 de noviembre 2022	En el laboratorio TECOSUR en la Ciudad de Tacna.

*Acciones y actividades para el Objetivo 2.* Determinar qué manera influye la adición de agregado fino en diferentes porcentajes en la resistencia a la compresión del concreto permeable para vías urbanas.

**Tabla 6***Acciones y actividades para el Objetivo 2*

<b>Como se estudió</b>	<b>Que se realizó</b>	<b>Cuando se realizó</b>	<b>Donde se realizó</b>
A las muestras cilíndricas de concreto permeable se les realizaron ensayos de laboratorio para determinar parámetros principales de la calidad de las mezclas diseñadas, y asegurarnos de que satisfagan los requisitos mínimos de diseño establecidos en la norma NTP, ASTM y ACI.	• Asentamiento usando el cono de Abrams.	22 nov. 2022	Laboratorio UPT
	• Resistencia a la compresión a los 7 días, 21 días y 28 días de curado.	29 nov. 2022 13 dic. 2022 20 dic. 2022	Laboratorio UPT
	• Permeabilidad	26 dic. 2022	Laboratorio Tecosur
	• Contenido de vacíos	27 dic. 2022	Laboratorio Tecosur
	• Prueba de infiltración en las losetas de concreto permeable.	23 nov. 2022	Laboratorio UPT

*Acciones y actividades para el Objetivo 3.* Determinar de qué manera influye el uso de piedra chancada huso 67 en la permeabilidad del concreto permeable para vías urbanas.

**Tabla 7***Acciones y actividades para el Objetivo 3*

<b>Cómo se estudió</b>	<b>Qué se realizó</b>	<b>Cuando se realizó</b>	<b>Donde se realizó</b>
A las muestras cilíndricas de concreto permeable se les realizaron ensayos de laboratorio para determinar parámetros principales de la calidad de las mezclas diseñadas, y asegurarnos de que satisfagan los requisitos mínimos de diseño establecidos en la norma NTP, ASTM y ACI.	• Permeabilidad	28 dic. 2022	Laboratorio Tecosur
	• Prueba de infiltración en las losetas de concreto permeable.	23 nov. 2022	Laboratorio UPT
	• Contenido de vacíos	28 dic. 2022	Laboratorio Tecosur

**Acciones y actividades para el Objetivo 4.** Realizar la evaluación de los costos económicos del concreto permeable y del concreto convencional con similares características y uso.

**Tabla 8***Acciones y actividades para el Objetivo 4*

<b>Cómo se estudió</b>	<b>Qué se realizó</b>	<b>Cuando se realizó</b>	<b>Donde se realizó</b>
Realizando la evaluación económica para determinar el costo del m <sup>3</sup> del concreto permeable en comparación con el concreto convencional.	• Análisis de costos unitarios para la elaboración de un m <sup>3</sup> de concreto convencional con un f'c= 175 kg/cm <sup>2</sup> con el rendimiento que se usa en nuestra zona en comparación con un m <sup>3</sup> de concreto permeable diseñado en el presente estudio.	10 ene. 2023	En gabinete

### **3.3. Materiales y/o instrumentos**

Las variables que se medirán con los materiales e instrumentos se presentan en la tabla 9 a continuación.

**Tabla 9***Variables, instrumentos y procedimientos utilizados*

<b>Variables que se medirán</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Procedimientos</b>	<b>Indicadores</b>
Porcentaje de agregado fino y piedra chancada huso 67	Balanza electrónica marca Ohaus, modelo R31P30	Peso de las cantidades de agregados según dosificación	kg
Propiedades del concreto permeable	Máquina mezcladora eléctrica de 210 L.	Elaboración de mezclas de concreto permeable	kg
Propiedades del concreto permeable	Moldes para probetas de concreto	Muestreo de la mezcla de concreto permeable	unid.
Resistencia a la compresión	Equipo de prensa digital para rotura de probetas marca Forney	Ensayo resistencia a la compresión en muestras cilíndricas de concreto permeable	kg/cm <sup>2</sup>
Permeabilidad	Permeámetro de carga variable fabricado para la investigación según el ACI 522R-10	Ensayo de permeabilidad en muestras cilíndricas de concreto permeable	cm/s
Variable independiente y dependiente	Software Excel versión 2019	Ingreso de datos obtenidos para creación de tablas y gráficos	-
Variable independiente y dependiente	Software IBM SPSS statistics 25	Ingreso de datos para el cálculo de la mediana, media, moda y las medidas de dispersión	-

### 3.4. Población y/o muestra de estudio

La presente investigación tuvo como población 36 muestras cilíndricas de mezcla de concreto permeable de medidas de 150 mm x 300 mm, de 100 mm x 200 mm y 03 losas circulares de 450 mm de diámetro por 100 mm de alto.

El tipo de muestreo fue no probabilístico, los métodos de recolección de datos se establecieron con la observación directa y la medición. Los instrumentos para la recolección de datos fueron formatos de laboratorio para el registro de resultados de ensayos como instrumentos de análisis de datos se utilizaron el software Excel 2019 y el Software IBM SPSS statistics 25.

### 3.5. Operacionalización de variables

Tabla10

## Operacionalización de Variables de la Investigación

Variable Independiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala de medición	Método de análisis de datos
Porcentaje de Agregado fino	Es el resultado de la disgregación de las rocas, la mayoría de las partículas (95 %) pasa por el tamiz #4 y queda retenido en el #200. El agregado fino en poco porcentaje puede aumentar la resistencia a la compresión, pero como consecuencia de su uso la permeabilidad disminuye.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Granulometría</li> <li>• Peso unitario</li> <li>• Humedad</li> <li>• Peso específico</li> <li>• Ensayo químico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>0 %</li> <li>10 %</li> <li>20 %</li> </ul>	De intervalo	Ensayos y análisis de laboratorio
Porcentaje de piedra chancada huso 67	Según la Norma ASTM C33 es aquel cuyas partículas tiene como tamaño máximo nominal de 3/4 " a 4,75 mm. La clasificación de agregados según la Norma ACI 522R-10, que se utilizan para el concreto permeable (ACI, 2010).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Granulometría</li> <li>• Peso unitario</li> <li>• Humedad</li> <li>• Peso específico</li> <li>• Ensayo químico</li> <li>• Abrasión Los Ángeles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>100 %</li> <li>90 %</li> <li>80 %</li> </ul>	De intervalo	Ensayos y análisis de laboratorio
Variable Dependiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala de medición	Método de análisis de datos
Propiedades del concreto permeable	El concreto permeable es un concreto con asentamiento cercano a cero, fabricado con cemento portland, agua, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, posee un alto contenido de vacíos entre 15 % a 35 % lo que permite el paso del agua por sus poros interconectados (ACI, 2010).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades del concreto en estado fresco</li> <li>• Propiedades del concreto en estado endurecido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de agua</li> <li>• Cantidad de cemento</li> <li>• Cantidad de agregados</li> <li>• Asentamiento de concreto con el cono de Abrams en pulgadas</li> <li>• Contenido de vacíos del concreto permeable</li> <li>• Ensayo de resistencia a la compresión kg/cm<sup>2</sup></li> <li>• Ensayo de permeabilidad cm/s</li> <li>• Ensayo de infiltración L/cm/s</li> </ul>	De intervalo	Ensayos y análisis de laboratorio

### **3.6. *Procesamiento y análisis de datos***

Para el procesamiento de datos se utilizó el programa estadístico Software IBM SPSS statistics 25, para probar el diseño de las mezclas con las mejores características y comportamiento en la relación resistencia / permeabilidad, y para el procesamiento de datos y creación de tablas y gráficos el software Excel versión 2019.



## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Se desarrolló el diseño y elaboración de mezclas de concreto permeable con diferentes porcentajes de adición de agregado fino, pudiéndose evaluar su influencia en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto permeable y mostrar los resultados de los ensayos realizados a los agregados de la cantera Arunta, resultados de las propiedades del concreto permeable que se encuentran en las normas ASTM C39, NTP 339.034 y ACI 522R-10. Los mencionados resultados se presentarán en tablas y figuras, en tablas comparativas entre la mezcla patrón DPH0, mezcla DPH10 y mezcla DPH20, sometidos a esfuerzos de compresión, infiltración, permeabilidad y de evaluación de los costos.

### 4.1. Síntesis de los ensayos realizados a los agregados de la Cantera Arunta

En la tabla 11 se presenta una síntesis de los resultados obtenidos de la caracterización del agregado fino y piedra chancada huso 67 de la cantera Arunta, los cuales cumplen con los requisitos de la NTP 400.037 y se consideran adecuadas para su uso en concreto permeable para vías urbanas.

**Tabla 11**

*Características granulométricas, físicas y químicas del agregado fino y piedra chancada huso 67 de la Cantera Arunta*

<b>Características</b>	<b>Unidad</b>	<b>Agregado fino</b>	<b>Piedra chancada huso 67</b>
Tamaño máximo nominal	pulg	-	3/4
Contenido de humedad	%	1,53	0,920
Peso específico	gr/cc	2,628	2,657
Absorción	%	1,60	1,060
Peso unitario suelto	gr/cc	1,646	1,410
Peso unitario varillado	gr/cc	1,778	1,542
Abrasión ( % de desgaste)	%	-	21,70
Módulo de fineza	-	2,8	-
Sólidos solubles totales	%	-	0,079

### 4.2. Asentamiento según adición de agregado fino

El ensayo de asentamiento o también llamado revenimiento, se efectuó en estado fresco, se midió el slump, siguiendo lo indicado en la norma NTP 339.035, se presenta a continuación en la tabla 12, los resultados en pulgadas, en mm y el tipo de consistencia

de cada mezcla en estudio. En la figura 13 presentamos la curva formada con los resultados de este ensayo.

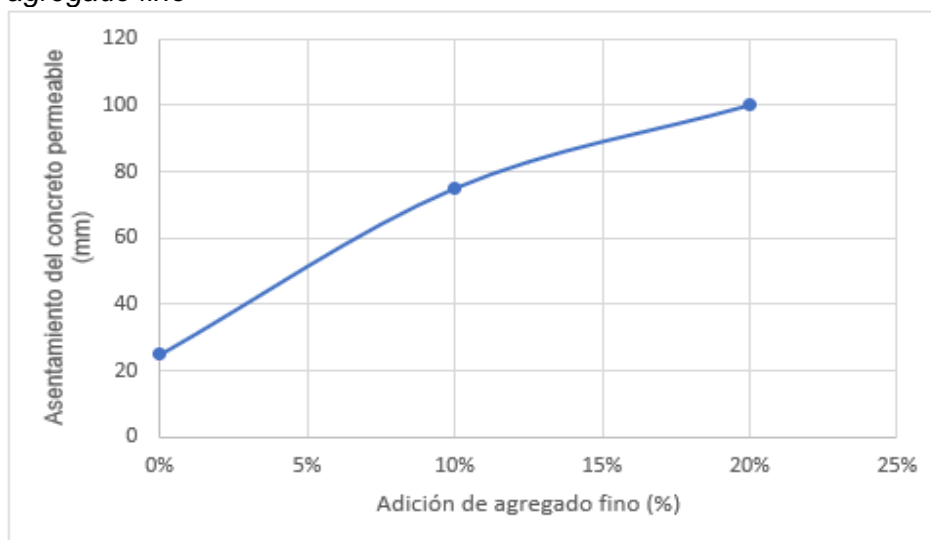
**Tabla 12**

*Asentamiento de las mezclas de concreto permeable con adición de agregado fino en 0 %, 10 % y 20 %*

Mezcla	% de agregado fino	Asentamiento Pulg	Asentamiento mm	Consistencia
DPH0	0%	1"	25	Plástico/ rígido
DPH10	10%	3"	75	Plástico/ rígido
DPH20	20%	4"	100	Plástico

**Figura 13**

*Resultados de asentamiento según los porcentajes de adición de agregado fino*



Con estos resultados de asentamiento de las mezclas diseñadas, no se tuvieron que realizar ajustes por que cumplan con el grado de manejabilidad requerido, ya que para este tipo de concreto este ensayo solo es referencial pero necesario.

#### **4.3. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto permeable de 150 mm de diámetro x 300 mm de alto**

Los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, los detallamos en la tabla 13, donde se muestra las variaciones de las mezclas, la mezcla DPH0-9 alcanzó una resistencia a la compresión a los 28 días de 80,16 kg/cm<sup>2</sup> (7,86 Mpa), también la mezcla DPH1-8 llegó a obtener 120,76 kg/cm<sup>2</sup> (11,84 Mpa) y la mezcla DPH2-7 alcanzó una

resistencia a la compresión superior de 188,20 kg/cm<sup>2</sup> (18,46 Mpa), todos estos resultados estan dentro de los rangos indicados en la norma ACI 522R-10.

**Tabla 13**

*Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de concreto permeable a los 7, 21 y 28 días*

N°	Muestra	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad días	Área cm <sup>2</sup>	Lectura KN	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia Mpa	Tipo de rotura
1	DPH 0-1	22/11/2022	29/11/2022	7	176,714	74,41	42,94	4,21	c
2	DPH 0-2	22/11/2022	29/11/2022	7	176,714	67,12	38,93	3,80	d
3	DPH 0-3	22/11/2022	29/11/2022	7	176,714	67,90	39,18	3,84	d
4	DPH 0-4	22/11/2022	13/12/2022	21	176,714	108,48	62,60	6,14	d
5	DPH 0-5	22/11/2022	13/12/2022	21	176,714	77,33	44,62	4,38	c
6	DPH 0-6	22/11/2022	13/12/2022	21	176,714	89,13	51,43	5,04	d
7	DPH 0-7	22/11/2022	20/12/2022	28	176,714	120,75	69,68	6,83	d
8	DPH 0-8	22/11/2022	20/12/2022	28	176,714	109,06	62,93	6,17	d
9	DPH 0-9	22/11/2022	20/12/2022	28	176,714	138,92	<b>80,16</b>	<b>7,86</b>	b
10	DPH 1-1	22/11/2022	29/11/2022	7	176,714	126,73	73,13	7,17	d
11	DPH 1-2	22/11/2022	29/11/2022	7	176,714	96,15	55,48	5,44	d
12	DPH 1-3	22/11/2022	29/11/2022	7	176,714	103,93	59,97	5,88	c
13	DPH 1-4	22/11/2022	13/12/2022	21	176,714	166,21	95,91	9,41	c
14	DPH 1-5	22/11/2022	13/12/2022	21	176,714	160,92	92,86	9,11	d
15	DPH 1-6	22/11/2022	13/12/2022	21	176,714	173,64	100,20	9,83	b
16	DPH 1-7	22/11/2022	20/12/2022	28	176,714	172,08	99,30	9,74	c
17	DPH 1-8	22/11/2022	20/12/2022	28	176,714	209,27	<b>120,76</b>	<b>11,84</b>	c
18	DPH 1-9	22/11/2022	20/12/2022	28	176,714	183,63	105,96	10,39	d
19	DPH 2-1	22/11/2022	29/11/2022	7	176,714	205,55	118,61	11,63	b
20	DPH 2-2	22/11/2022	29/11/2022	7	176,714	220,35	127,15	12,47	d
21	DPH 2-3	22/11/2022	29/11/2022	7	176,714	175,12	101,05	9,91	d
22	DPH 2-4	22/11/2022	13/12/2022	21	176,714	248,99	143,68	14,09	d
23	DPH 2-5	22/11/2022	13/12/2022	21	176,714	239,84	138,40	13,57	d
24	DPH 2-6	22/11/2022	13/12/2022	21	176,714	242,72	140,06	13,74	b
25	DPH 2-7	22/11/2022	20/12/2022	28	176,714	326,15	<b>188,20</b>	<b>18,46</b>	c
26	DPH 2-8	22/11/2022	20/12/2022	28	176,714	261,18	150,71	14,78	c
27	DPH 2-9	22/11/2022	20/12/2022	28	176,714	315,64	182,14	17,86	d

La descripción del tipo de fractura es como sigue (a) cono, (b) cono y separación,(c) cono y corte, (d) corte y (e) columnar.

**Tabla 14***Estadística descriptiva de resistencia a la compresión a los 7 días*

Parámetro a los 7 días	Porcentaje de adición de agregado fino		
	0 % Mezcla patrón	10 % DPH10	20 % DPH20
Media	40,28	62,86	115,60
Mediana	39,18	59,97	118,61
Desviación estándar	2,31	9,17	13,31
Mínimo	38,73	55,48	101,05
Máximo	42,94	73,13	127,15

**Tabla 15***Estadística descriptiva de resistencia a la compresión a los 21 días*

Parámetro a los 21 días	Porcentaje de adición de agregado fino		
	0 % Mezcla patrón	10 % DPH10	20 % DPH20
Media	52,88	96,32	140,71
Mediana	51,43	95,91	140,06
Desviación estándar	9,08	3,69	2,70
Mínimo	44,62	92,86	138,40
Máximo	62,60	100,20	143,68

**Tabla 16***Estadística descriptiva de resistencia a la compresión a los 28 días*

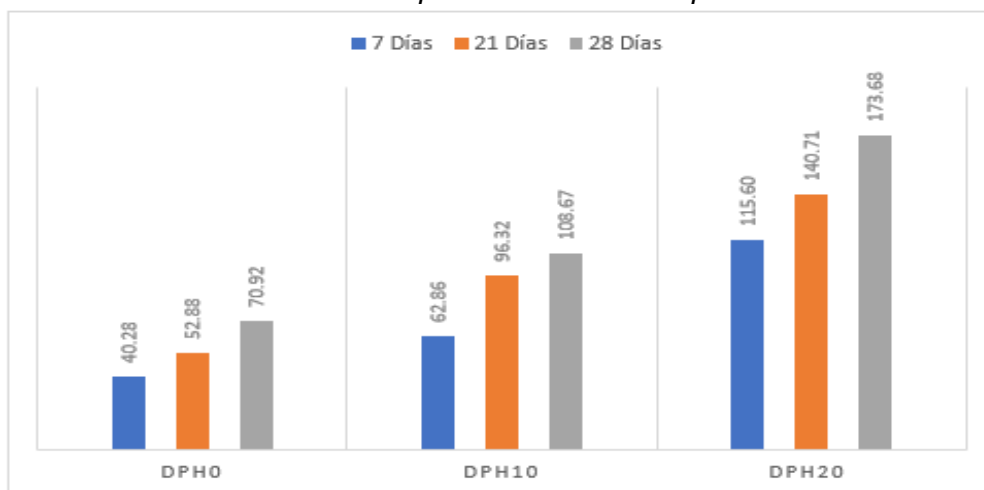
Parámetro a los 28 días	Porcentaje de adición de agregado fino		
	0 % Mezcla patrón	10 % DPH10	20 % DPH20
Media	70,92	108,67	173,68
Mediana	69,68	105,96	182,14
Desviación estándar	8,68	10,98	20,12
Mínimo	62,93	99,30	150,71
Máximo	80,16	120,76	188,20

Los resultados que se muestran en la tabla 14, tabla 15 y tabla 16, nos permiten orientar el análisis de los resultados obtenidos, para su descripción global de las muestras cilíndricas de concreto permeable y nos proporcionan evidencias objetivas para responder a las interrogantes planteadas por lo que aplicamos la estadística

descriptiva haciendo uso del software IBM SPSS statistics 25 y como primera información nos mostró la distribución de los valores de la variable dependiente en las siguientes medidas como son media, mediana, desviación estándar o típica, el valor mínimo y el valor máximo.

**Figura 14**

*Media de la resistencia a la compresión del concreto permeable*



En la figura 14 se representa la media calculada estadísticamente para cada uno de los tres diseños de mezcla de concreto permeable a los 7, 21 y 28 días, donde apreciamos el mayor incremento de resistencia a la compresión que obtuvo la mezcla DPH 20 a los 28 días y fue de 173,68 kg/cm<sup>2</sup> (17.03 Mpa).

#### **4.4. Cálculo del módulo de rotura MR por correlación**

A continuación en la tabla 17, se realiza el cálculo de la resistencia máxima a la flexión que se denomina módulo de rotura MR, para la capa de rodadura (que trabaja a flexión) de pavimentos de concreto permeable para ser usado en vías urbanas y como en este estudio no se realizaron ensayos a flexión en el concreto permeable, procedimos hacer el cálculo por correlación entre la resistencia a la compresión y un valor K (que oscila entre 2,0 a 2,7) con la ecuación que propone el Comité Europeo del Concreto, el valor K depende de las características del material y en nuestro medio no existen estudios referenciales para el valor K por lo que se consideraron las recomendaciones de los estudios revisados que indican un valor para K de 2,6.

Tabla 17

Cálculo del Módulo de rotura MR por correlación para DPH0 DPH10 y DPH20

Correlación	MR=2.6√(f'c)		
	0 % DPH0 Mezcla patrón	10 % DPH10	20 % DPH20
Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>	70,92	108,67	173,68
K	2,6	2,6	2,6
MR	21,90	27,10	34,26

Apreciamos en la tabla anterior que la mezcla DPH 20 obtuvo un MR de 34,26 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo lo que indica la Norma CE 0.10 que el concreto debe tener un módulo de rotura MR igual o superior a 3,4 MPa (34 kg/cm<sup>2</sup>) para que sea usado como capa de rodadura en pavimentos de concreto de vías locales y colectoras.

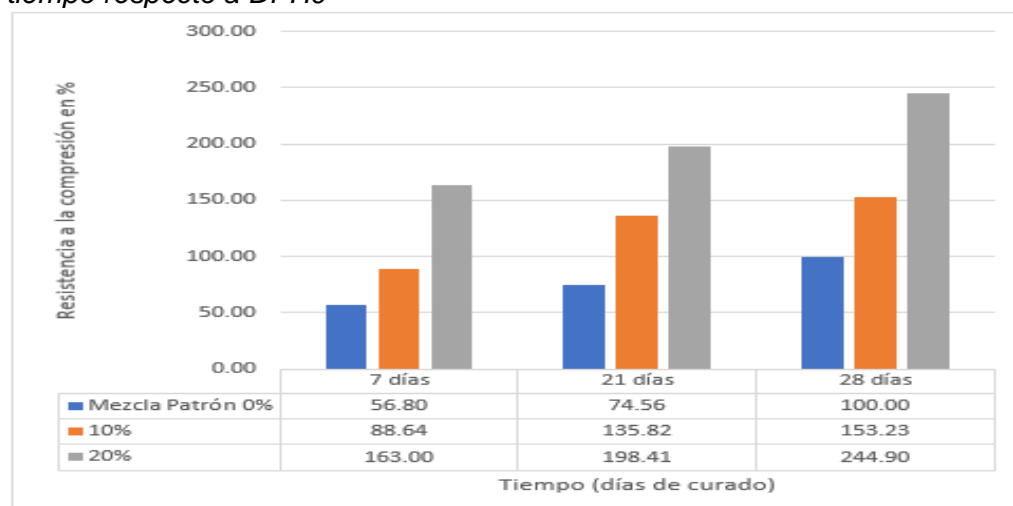
#### 4.5. Influencia de la adición de agregado fino en 0 %, 10 % y 20 % en la resistencia a la compresión del concreto permeable

Comparación del incremento de resistencia a la compresión en el tiempo:

La figura 15 que se muestra la gráfica el incremento de resistencia a la compresión en el tiempo de curado, para las mezclas de concreto permeable, respecto a la mezcla patrón DPH0 (0 % de agregado fino).

**Figura 15**

Comparación porcentual del incremento de resistencia a la compresión en el tiempo respecto a DPH0



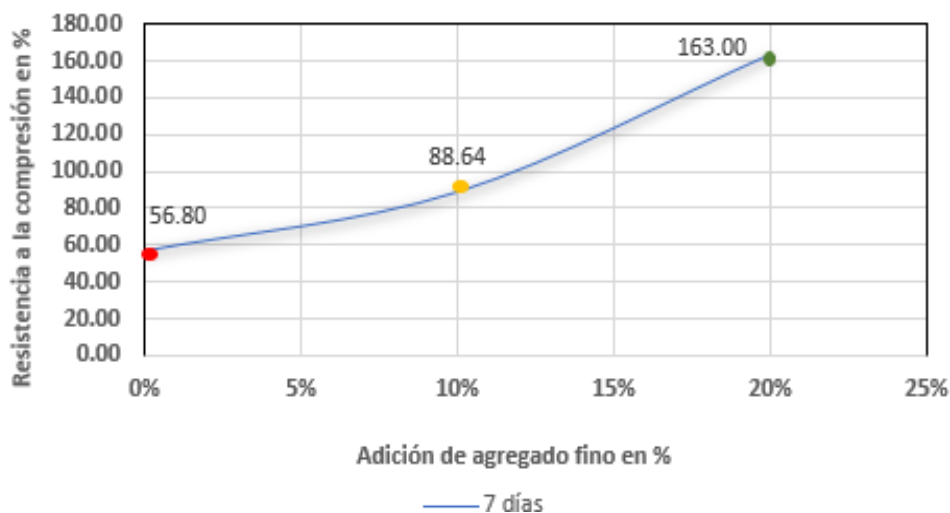
En la figura anterior se evidenció que las mezclas con adición de agregado fino en 10 % DPH10 y 20 % DPH20, superaron la resistencia alcanzada por la mezcla patrón y que en general presentan un comportamiento similar en cuanto al desarrollo de la resistencia en el tiempo en términos porcentuales y que en promedio las mezclas con adición de agregado fino alcanzaron una resistencia de un 126 % a los 7 días, de 167 % a los 21 días y de 200 % a los 28 días respecto a la mezcla patrón (0 % de agregado fino).

*Influencia al día 7 de curado, respecto a la mezcla patrón DPH0 f'c a los 28 días 70,92 kg/cm<sup>2</sup>:*

Con los datos anteriores se construyó la curva de desarrollo para poder comparar las resistencias a la compresión obtenidas en la mezcla patrón DPH0 y en las mezclas DPH10 y DPH20. Por lo que se tiene la figura 16 siguiente:

**Figura 16**

*Comparación porcentual de resistencia a la compresión a los 7 días respecto a la mezcla patrón DPH0*



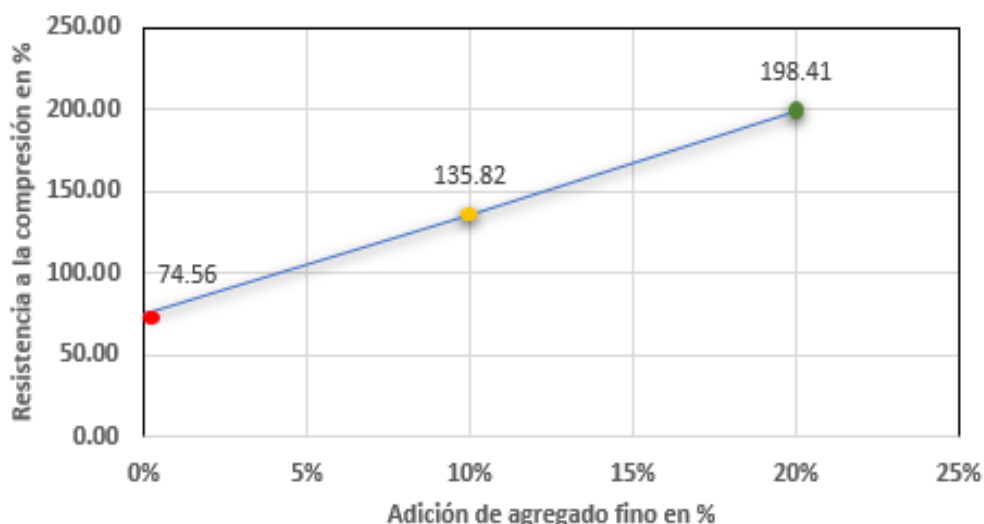
La curva evidencia que las mezclas de concreto permeable con adición de agregado fino y piedra chancada huso 67, tuvieron un comportamiento variable, desarrollaron resistencias superiores a la obtenida en la mezcla patrón DPH0, y que la resistencia más alta obtenida para el día 7 se logró en la mezcla DPH20, llegando a alcanzar el 163 % de resistencia a la compresión, 106.20 % más que la resistencia obtenida en la mezcla patrón.

*Influencia al día 21 de curado, respecto a la mezcla patrón DPH0 f'c a los 28 días 70,92 kg/cm<sup>2</sup>:*

Con la información de la figura 15 se fabricó la curva de desarrollo para poder comparar las resistencias a la compresión obtenidas en la mezcla patrón DPH0 y en las mezclas DPH10 y DPH20. La figura 17 muestra estos resultados:

**Figura 17**

*Comparación porcentual de resistencia a la compresión a los 21 días respecto a la mezcla patrón DPH0*



La figura 17 demuestra que las resistencias a la compresión obtenidas en las mezclas DPH10, DPH20, superan la resistencia a la compresión alcanzada en la mezcla patrón DPH0 y que la resistencia más alta obtenida para el día 21 se logró con la mezcla DPH20 llegando a alcanzar el 198.41 % de resistencia a la compresión, 123.85 % más que la resistencia obtenida en la mezcla patrón.

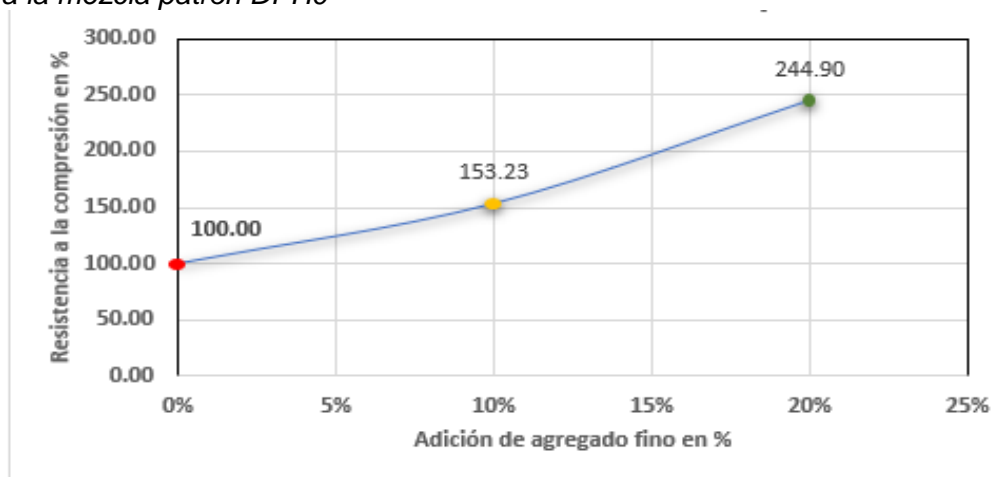
*Influencia al día 28 de curado, respecto a la mezcla patrón DPH0 f'c a los 28 días 70,92 kg/cm<sup>2</sup>:*

Con los valores de la figura 15, se construyó la curva de desarrollo para poder comparar las resistencias a la compresión obtenidas en la mezcla patrón DPH0 y en las mezclas DPH10 y DPH20. Por lo que se tiene la figura 18 siguiente:

**Figura 18**



*Comparación porcentual de resistencia a la compresión a los 28 días respecto a la mezcla patrón DPH0*



La figura 18 muestra que las mezclas de concreto permeable con adición de agregado fino y piedra chancada huso 67, desarrollaron resistencias superiores a la obtenida en la mezcla patrón, lo cual sucedió también en el análisis de los días anteriores y que la resistencia más alta obtenida para el día 28 se logró con la mezcla DPH20, llegando a alcanzar notablemente un 244.90 % de resistencia a la compresión, mostrándose un incremento de 144.90 % por encima de la resistencia a la compresión obtenida en la mezcla patrón DPH0.

**Tabla 18**

*Adición óptima de agregado fino*

<b>Mezcla patrón de concreto permeable f'c a los 28 días 70,92 kg/cm<sup>2</sup></b>							
<b>DPH10</b>				<b>DPH20</b>			
Días de curado	% de agregado fino	Resistencia alcanzada	Incremento	Días de curado	% de agregado fino	Resistencia alcanzada	Incremento
7	10 %	88,64 %	<b>31,84 %</b>	7	20 %	163,00 %	<b>106,20 %</b>
21	10 %	135,82 %	<b>61,26 %</b>	21	20 %	198,41 %	<b>123,85 %</b>
28	10 %	153,23 %	<b>53,23 %</b>	28	20 %	244,90 %	<b>144,90 %</b>

En la tabla 18 evidenciamos que con la adición de 10 % y 20 % de agregado fino se muestran incrementos de resistencia a la compresión a edades tempranas y para los 28 días se presentan los mayores incrementos respecto a la mezcla patrón. De todo ello se evidencia que la influencia de la adición de agregado fino en el incremento de la resistencia a la compresión cada vez es mayor conforme pasan los días. Esta información se complementa con lo descrito en los anteriores acápite, donde la

resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días en mezclas con adición de agregado fino tiende a ser superiores a la resistencia a la compresión alcanzada en la mezcla patrón.

Ahora, para determinar la adición óptima de agregado fino se estableció por el criterio que el día 7 de curado se supere el 70 % de la resistencia a la compresión y que a los 28 días no se vea afectada. Por lo dicho anteriormente, las adiciones de agregado fino que cumplen con esta condición se dan en ambas adiciones es decir 10 % y 20 %, sin embargo, con la adición de 20 % de agregado fino se obtuvieron los mejores resultados, lo que nos indica que es la adición más óptima.

#### 4.6. Resultados de permeabilidad del concreto permeable

El ensayo de permeabilidad se realizar usando la Norma ACI 522R-10 se obtuvieron los siguientes resultados para los diseños de mezcla DPH0, DPH10 y DPH20 de 0 %, 10 % y 20 % de adición de agregado fino respectivamente, como vemos en la tabla 19, tabla20 y tabla 21.

##### 4.6.1. Ensayo de permeabilidad de la mezcla patrón DPH0

**Tabla 19**

*Permeabilidad de la mezcla patrón DPH0*

Variable	Unidad	Coefficiente de permeabilidad
L	cm	20
A	cm <sup>2</sup>	7,85
a	cm <sup>2</sup>	7,85
T	s	20,55
H1	cm	30
H2	cm	24
K	cm/s	0,217

##### 4.6.2. Ensayo de permeabilidad de la mezcla DPH10

**Tabla 20**

*Permeabilidad de la mezcla DPH10*

Variable	Unidad	Coefficiente de permeabilidad
L	cm	20
A	cm <sup>2</sup>	7,85
A	cm <sup>2</sup>	7,85
T	s	29,98
H1	cm	30
H2	cm	24
k	cm/s	0,149

#### 4.6.3. Ensayo de permeabilidad para DPH20

**Tabla 21**

*Permeabilidad de la mezcla DPH20*

Variable	Unidad	Coefficiente de permeabilidad
L	cm	20
A	cm <sup>2</sup>	7,85
A	cm <sup>2</sup>	7,85
T	s	27,96
H1	cm	30
H2	cm	24
k	cm/s	0,139

#### 4.6.4. Resumen de ensayos de permeabilidad de los diseños de mezclas DPH0, DPH10 y DPH20

Podemos apreciar el resumen de los resultados de permeabilidad en la tabla 22, donde la mezcla DPH0 obtuvo el mayor coeficiente de permeabilidad con un 0,217 cm/s

**Tabla 22**

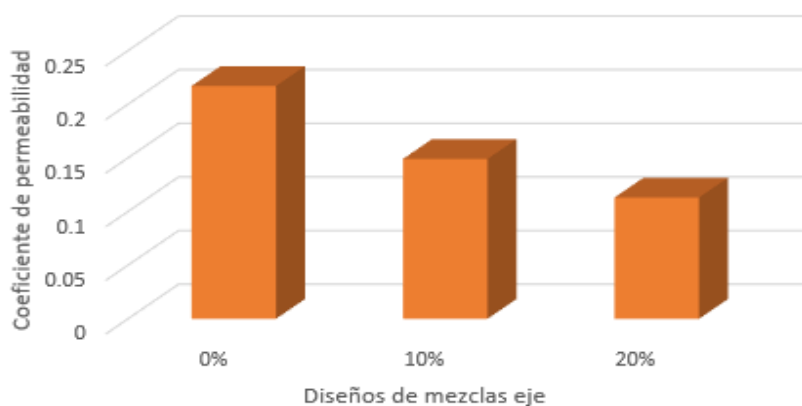
*Permeabilidad para DPH0, DPH10 y DPH20*

% de finos	Variable	Unidad	Coefficiente de permeabilidad
<b>DPH0</b>	K	cm/s	0,217
<b>DPH10</b>	K	cm/s	0,149
<b>DPH20</b>	K	cm/s	0,139

En la figura 19, apreciamos el gráfico de barras correspondiente a los resultados de permeabilidad de las mezclas DPH0, DPH10 y DPH20

**Figura 19**

*Permeabilidad para los diseños de mezcla DPH0, DPH10 y DPH20*



#### 4.7. Ensayo de absorción, densidad y porcentaje de vacíos

El ensayo de absorción, densidad y porcentaje de vacíos se realizaron usando la norma ASTM C1754 y se obtuvieron los siguientes resultados para los diseños de mezcla con 0 %, 10 % y 20 % de agregado fino, como apreciamos en la tabla 23, tabla 24 y tabla 25.

##### 4.7.1. Ensayo de absorción, densidad y porcentaje de vacíos para DPH0

**Tabla 23**

*Absorción, densidad y porcentaje de vacíos para DPH0*

Descripcion	Unidad	Resultado
(A) Masa del Espécimen seco	Gr	8952
(B) Masa del Espécimen Saturado (Inmersión)	Gr	9243
(C) Masa del Espécimen Saturado (Hervido)	Gr	9294
(D) Masa Aparente Sumergido	Gr	5542
Absorción después de la Inmersión	%	3,25
Densidad después de la Inmersión	g/cc	2,46
Volumen de poros permeables (vacíos)	%	9,12

##### 4.7.2. Absorción, densidad y porcentaje de vacíos para DPH10

**Tabla 24**

*Absorción, densidad y porcentaje de vacíos para DPH10*

Descripcion	Unidad	Resultado
(A) Masa del Espécimen seco	Gr	10411
(B) Masa del Espécimen Saturado (Inmersión)	Gr	10651
(C) Masa del Espécimen Saturado (Hervido)	Gr	10715
(D) Masa Aparente Sumergido	Gr	6623
Absorción después de la Inmersión	%	2,31
Densidad después de la Inmersión	g/cc	2,60
Volumen de poros permeables (vacíos)	%	7,43

##### 4.7.3. Absorción, densidad y porcentaje de vacíos para DPH20

**Tabla 25**

*Absorción, densidad y porcentaje de vacíos para DPH20*

Descripcion	Unidad	Resultado
(A) Masa del Espécimen seco	Gr	10631
(B) Masa del Espécimen Saturado (Inmersión)	Gr	10883
(C) Masa del Espécimen Saturado (Hervido)	Gr	10914
(D) Masa Aparente Sumergido	Gr	6698
Absorción después de la Inmersión	%	2,37
Densidad después de la Inmersión	g/cc	2,58
Volumen de poros permeables (vacíos)	%	3,71

#### 4.7.4. Absorción para DPH0, DPH10 y DPH20

Los resultados de absorción para los diseños de mezclas DPH0, DPH10 y DPH20, los apreciamos en la tabla 26 y gráficamente en la figura 20.

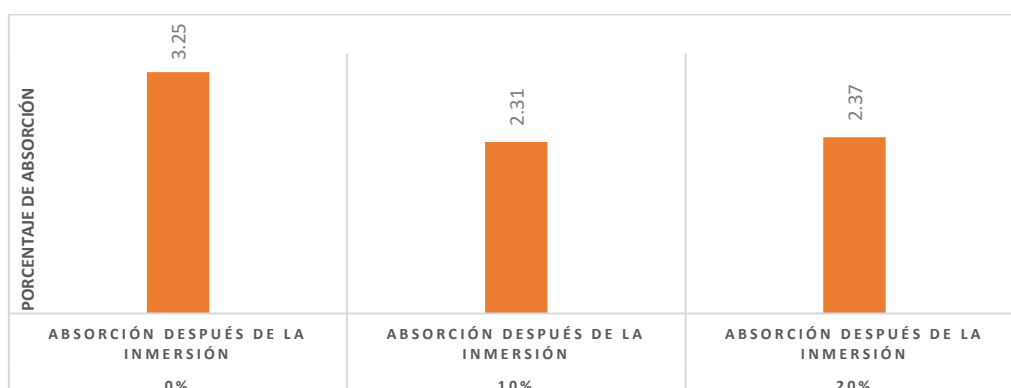
**Tabla 26**

*Ensayo de Absorción para DPH0, DPH10 y DPH20*

Diseño de mezcla	Descripción	Unidad	Absorción
DPH0	Absorción después de la Inmersión	%	3,25
DPH10	Absorción después de la Inmersión	%	2,31
DPH20	Absorción después de la Inmersión	%	2,37

**Figura 20**

*Absorción para DPH0, DPH10 y DPH20*



#### 4.7.5. Densidad para DPH0, DPH10 y DPH20

Los resultados de densidad para los diseños de mezclas DPH0, DPH10 y DPH20, los apreciamos en la tabla 27 y gráficamente en la figura 21.

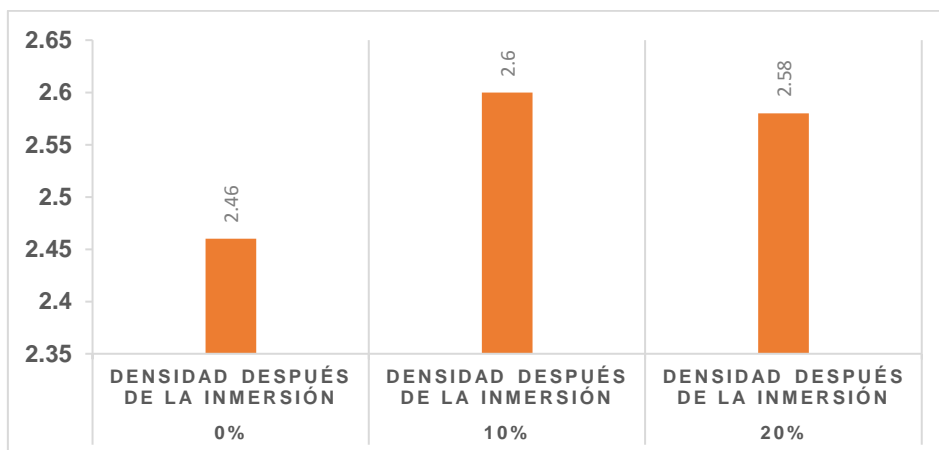
**Tabla 27**

*Ensayo de Densidad para DPH0, DPH10 y DPH20*

Diseño de mezcla	Descripción	Unidad	Densidad
DPH0	Densidad después de la Inmersión	g/cc	2,46
DPH10	Densidad después de la Inmersión	g/cc	2,60
DPH20	Densidad después de la Inmersión	g/cc	2,58

**Figura 21**

#### Densidad para DPH0, DPH10 y DPH20



#### 4.7.6. Porcentaje de vacíos para DPH0, DPH10 y DPH20

Los resultados de porcentaje de vacíos para los diseños de mezclas DPH0, DPH10 y DPH20, los apreciamos en la tabla 28 y gráficamente en la figura 22.

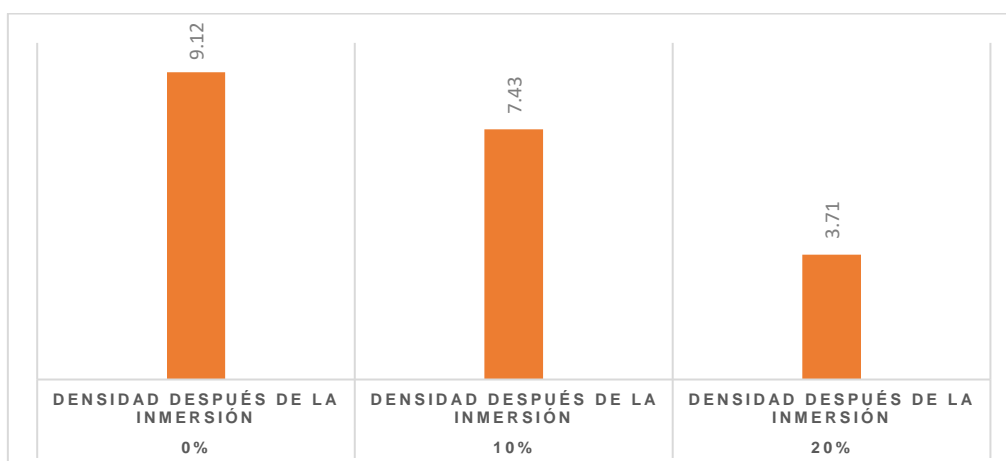
**Tabla 28**

*Ensayo de Contenido de Vacíos para DPH0, DPH10 y DPH20*

Porcentaje	Descripción	Unidad	Resultado
0 %	Volumen de poros permeables (vacíos)	%	9,12
10 %	Volumen de poros permeables (vacíos)	%	7,43
20 %	Volumen de poros permeables (vacíos)	%	3,71

**Figura 22**

*Contenido de vacíos para DPH0, DPH10 y DPH20 en (%)*

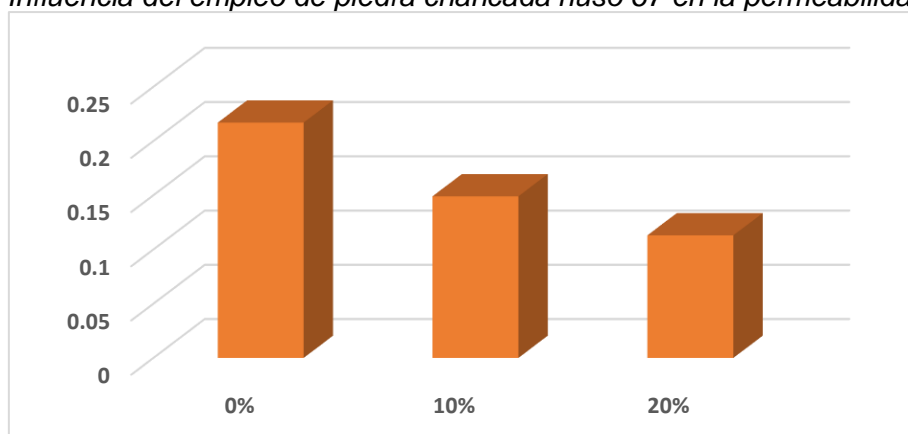


#### 4.8. Influencia del empleo de piedra chancada huso 67 en la permeabilidad del concreto permeable

El empleo de piedra chancada huso 67, tuvo un buen comportamiento en la permeabilidad del concreto permeable para vías urbanas ya que los resultados obtenidos en el ensayo de permeabilidad fueron satisfactorios y dentro del rango que indica la Norma ACI 522R-10, para DPH0, DPH10 y DPH 20, se obtuvo como resultado 0,217 cm/s, 0,149 cm/s y 0,139 cm/s respectivamente, como podemos apreciar en la figura 23.

**Figura 23**

*Influencia del empleo de piedra chancada huso 67 en la permeabilidad*



#### 4.9. Resultados y evaluación del análisis de costos unitarios del concreto permeable y concreto convencional con similares características

Los resultados obtenidos para la fabricación de un m<sup>3</sup> de concreto permeable, se muestran en la tabla 29 y gráficamente en la figura 24, ascendiendo este a S/. 259,17.

##### 4.9.1. Costo para 1m<sup>3</sup> de concreto permeable

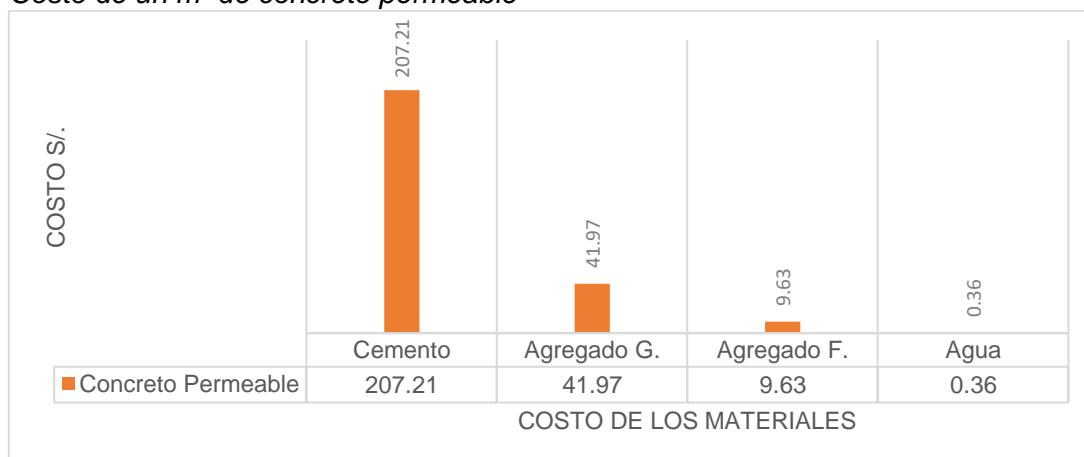
**Tabla 29**

*Análisis de costos unitarios por m<sup>3</sup> de concreto permeable*

Materiales	Und.	Cantidad	C.U.	Parcial S/.
Cemento	Bol	9,21	22,50	207,21
Agregado G.	M3	0,72	58,00	4,97
Agregado F.	M3	0,10	95,00	9,63
Agua	M3	0,13	2,88	0,36
<b>TOTAL</b>				<b>259,17</b>

**Figura 24**

Costo de un m<sup>3</sup> de concreto permeable



#### 4.9.2. Costo para 1m<sup>3</sup> de concreto convencional de una resistencia promedio

Los resultados obtenidos para la fabricación de un m<sup>3</sup> de concreto convencional, se muestran en la tabla 30 y gráficamente en la figura 25, ascendiendo este a S/. 299,86.

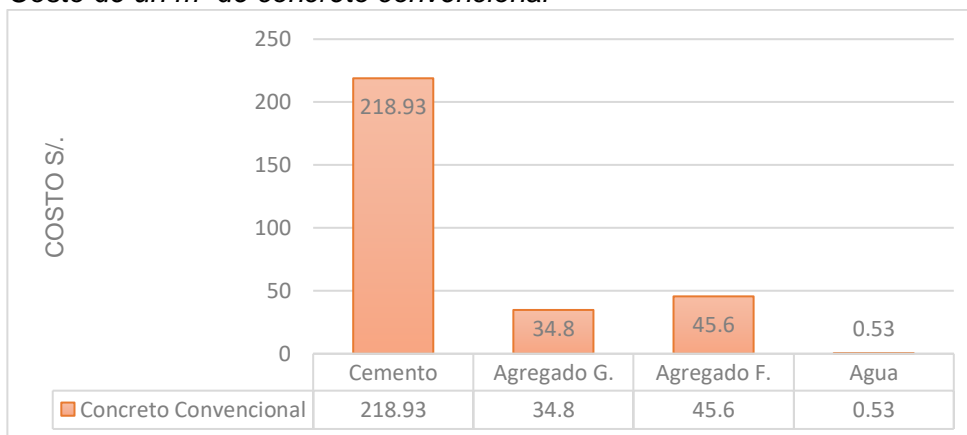
**Tabla 30**

Análisis de costos por m<sup>3</sup> de concreto convencional

Materiales	Und	Cantidad	C.U.	Parcial
Cemento	Bol	9,73	22,5	218,93
Agregado G.	M3	0,60	58,00	34,80
Agregado F.	M3	0,48	95,00	45,60
Agua	M3	0,185	2,88	0,53
<b>TOTAL</b>				<b>299,86</b>

**Figura 25**

Costo de un m<sup>3</sup> de concreto convencional



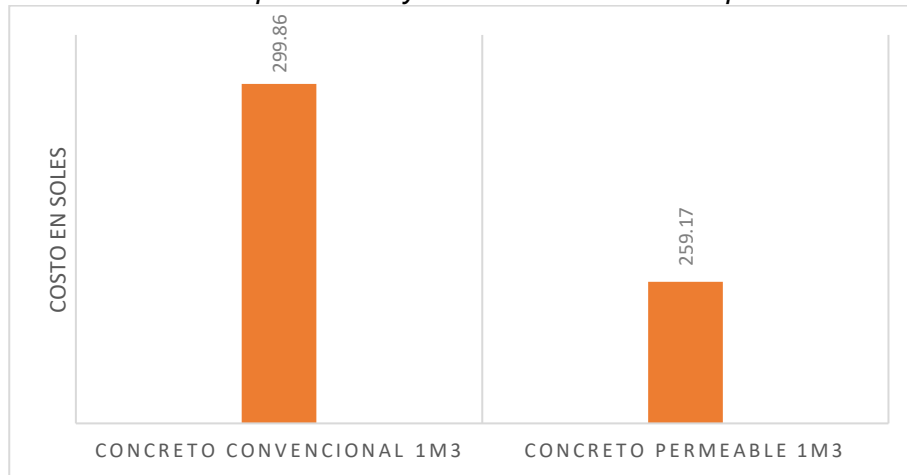


#### 4.9.3. Resumen de costos de concreto permeable y concreto convencional

Los resultados obtenidos para la fabricación de un m<sup>3</sup> de concreto permeable en comparación a un m<sup>3</sup> de concreto convencional, se muestran gráficamente en la figura 26, donde podemos observar que el concreto permeable genera menores costos que el concreto convencional

**Figura 26**

*Costo de concreto permeable y concreto convencional por 1 m<sup>3</sup>*



## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

### 5.1. Caracterización del agregado fino y piedra chancada huso 67 de la cantera Arunta

Los resultados obtenidos en la caracterización granulométrica, física y química de los agregados de la cantera Arunta, cumplen con los requisitos de la NTP 400.037-14 y ASTM D448 en concordancia con Zavaleta et al. 2020 y se consideran adecuadas para su uso en concreto permeable para vías urbanas.

La caracterización física realizada a los agregados de la cantera Arunta, exhibió las óptimas condiciones para la elaboración de diseños de mezcla de concreto permeable, en lo referente a los resultados de absorción del agregado fino 1,60 % y piedra chancada 1,06 % que indican su buena calidad, determinado también por Zavaleta et al. 2020, respecto al peso específico los valores altos presentan un buen comportamiento ya que los valores bajos se interpretan como agregados absorbentes y frágiles, los resultados de peso específico para el agregado fino fueron de 2,63 gr/cc y para la piedra chancada 2,66 gr/cc, se fundamentan estos resultados altos al haber usado una granulometría con diferentes tamaños de piedra, así mismo la revisión documental de Sánchez-Mendieta et al. 2021 evidenció que con densidades que varían entre 1,64 gr/cc y 1,81 gr/cc, de los pesos de los agregados para las diferentes mezclas se lograron resistencias a la compresión entre 101,97 y 203,94 kg/cm<sup>2</sup> (10 a 20 MPa) y permeabilidad de 0,80 a 1,0 cm/s, se justifican estos resultados debido al uso de la relación  $b/b_0$  que es la relación del volumen de agregado grueso varillado en seco por el volumen sólido de agregado grueso que compensa automáticamente los efectos del peso específico según lo establece el ACI 522R-10; en relación a la humedad al no haber un rango establecido para el porcentaje de humedad en los materiales como los agregados, se debe considerar que no sea menor a la absorción, los resultados en este estudio fueron similares, por lo que no fue necesario ni compensar ni disminuir el agua para el diseño de mezcla que se comprobó con la trabajabilidad que se logró en las mezclas.

El agregado grueso resultó duro, limpio y de buena calidad confirmado con el método de Abrasión Los Ángeles cuyo resultado fue de 21,70 %, y está dentro del rango requerido de agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico estipulado en la Norma Técnica CE.010

La granulometría fue primordial en las propiedades que tendrá el concreto permeable, tal como se determinó por análisis de tamices de acuerdo con la norma ASTM C136, y se utilizó piedra chancada entre 3/4" (19,05 mm) a N°4 (4,76 mm) huso

67, así como lo recomienda la Norma ACI 522R-10, los estudios de Cabello et al. 2015 y Elango et al. 2021, que indican que este tamaño favorece las propiedades de resistencia a la compresión en comparación con granulometrías de tamaños y densidad de partículas más pequeñas.

## **5.2. Influencia del agregado fino en diferentes porcentajes en la resistencia a la compresión**

Paucar & Morales comprobaron que el mejor diseño de concreto permeable fue producido con agregado grueso de tamaño igual a 3/4" (10 % de agregado fino), siendo el tamaño más idóneo, consiguiendo 145,21 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión y 1,21 cm/s de coeficiente de permeabilidad, nuestros resultados superaron esta resistencia a la compresión con el diseño de mezcla DPH20 ya que alcanzamos 173,68 kg/cm<sup>2</sup>, y fue el mejor desempeño que obtuvimos, podemos señalar que a mayor cantidad de agregado fino mayor resistencia; lo contrario sucedió con la permeabilidad por que con la mezcla DPH 10 alcanzamos 0,149, resultado en el límite inferior del rango establecido en la Norma ACI522R-10, ponemos a consideración el estudio en nuestra Región de Tarqui & Riquelme que obtuvieron 151,10 kg/cm<sup>2</sup> usando piedra chancada de 1/2" y agregado fino, respecto a la permeabilidad obtuvieron 0,25 cm/s, lo que nos indica respecto al empleo de piedra chancada que alcanza el rango de permeabilidad pero en el límite inferior que indica el ACI 522R-10.

Con el estudio de Debnath & Sarkar 2019 se reafirmó que la presencia del árido fino en 10 %, 15 % y 20 % proporcionó una buena trabazón intergranular en la mezcla porosa aumentando su capacidad estructural y un mejor grado de resistencia a la compresión de mezclas permeables, siendo la tendencia general que la resistencia a la compresión aumenta casi linealmente con los adiciones crecientes de agregado fino. Sin embargo, León Altamirano y Rosero Sangucho 2016 obtuvieron resistencias a la compresión de 250,85 kg/cm<sup>2</sup> incorporando agregado fino en una cantidad igual a la cantidad de cemento. aproximadamente 10 %, usando aditivos superplastificantes y agregado grueso de 3/8".

Resultados diferentes obtuvieron Hung et al. 2021 que usaron agregados de 2 a 10 mm de tamaño y solo 5 % de agregado fino alcanzando resistencias de 183,55 kg/cm<sup>2</sup>, concluyendo que con áridos más pequeños la superficie y el área de adherencia de los áridos con la pasta de cemento aumentan a medida que el tamaño de los áridos disminuye, lo que es beneficioso para la resistencia a la compresión del hormigón permeable. Igualmente Fernández & Navas 2011 recomendaron el empleo de un 8 % de agregado fino en la mezcla exhibió resultados adecuados y optimó las cualidades del

concreto permeable en estado fresco y en estado endurecido. Lo mismo demostró Chaiña & Villanueva 2017 concluyendo que el uso de agregado fino fue muy trascendental en su investigación, permitiendo que el material fino se combine de una mejor manera con la pasta de cemento logrando una mejor adherencia entre los agregados y que el diseño realizado sin agregado fino y con 10% de vacíos, proporcionó una resistencia a la compresión de  $f'c = 115 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días, a diferencia de nuestro estudio que obtuvimos en la mezcla patrón DPH0  $70,92 \text{ kg/cm}^2$ . Se debe tener un especial cuidado con el nivel de compactación debido a que permite contener un mayor contenido de pasta en la mezcla y variar los resultados de resistencia a la compresión y de permeabilidad.

## CONCLUSIONES

Las mezclas de concreto permeable DPH0 (mezcla patrón), DPH10 y DPH20 con adición de agregado fino en 0 %, 10 % y 20 % fueron realizadas en el mes de noviembre de 2022 en las instalaciones del Laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad Privada de Tacna, en la Ciudad de Tacna. Para su elaboración se utilizó agregado fino y piedra chancada huso 67 de la cantera Arunta, cemento Yura tipo I y agua. El diseño y la dosificación de las mezclas de concreto permeable fueron realizadas en base a la metodología desarrollada por la Norma ACI 522R-10. Del análisis de los resultados obtenidos se extraen las siguientes conclusiones:

La caracterización del agregado fino y piedra chancada huso 67 realizada a los agregados de la cantera Arunta, exhibió la calidad y las óptimas condiciones para la elaboración de diseños de mezcla de concreto permeable para vías urbanas y cumplen con los requisitos de la NTP 400.037-14 y ASTM D448. La granulometría con diferentes tamaños de piedra y el tamaño del agregado favoreció las propiedades de resistencia a la compresión, estando dentro del rango indicado en la metodología.

El diseño de la mezcla patrón DPH0 que alcanzó una resistencia a la compresión a los 28 días de 70,92 kg/cm<sup>2</sup>, se obtuvo con la dosificación en peso de piedra chancada 8,06 kg, cemento 2,07 kg, agua 0,66 kg, de ello se determinó que la metodología y el procedimiento de diseño según la Norma ACI 522R-10 es muy tradicional, pues el rango mínimo de resistencia a la compresión que especifica es el 40,30 % de la mezcla patrón, es decir 28,55 kg/cm<sup>2</sup>. La calidad de concreto permeable obtenido con la adición de 10 % de agregado fino DPH10  $f'c=108,67$  kg/cm<sup>2</sup> se obtuvo con la dosificación en peso de piedra chancada 7,57 kg, agregado fino 0,76 kg, cemento 2,07 kg, agua 0,66 kg y logró un incremento de resistencia a la compresión a edades tempranas del 88,64 % al 153,23 % a los 28 días, respecto a la mezcla patrón. La calidad de concreto permeable obtenido con la adición de 20 % de agregado fino DPH20  $f'c=173,68$  kg/cm<sup>2</sup>, se obtuvo con la dosificación en peso de piedra chancada 6,99 kg, agregado fino 0,68 kg, cemento 2,07 kg, agua 0,66 kg y logró un incremento de resistencia a la compresión a edades tempranas del 163 % al 245 % a los 28 días, alcanzando el mayor desarrollo de la resistencia a la compresión respecto a la mezcla patrón, siendo esta la adición óptima.

De los resultados obtenidos se puede determinar que influye de manera positiva el empleo de piedra chancada huso 67 en la permeabilidad del concreto permeable para vias urbanas ya que tenemos un resultado de 0,217 cm/s para un diseño de mezcla de 0 % y de 0,149 cm/s para un diseño de mezcla de 10 % y un valor de 0,139 cm/s para el diseño de mezcla de 20 %, el rango que indica la Norma ACI 522R-10 es de 0,14 cm/s a 1,22 cm/s, estando nuestros resultados dentro del rango.

Del análisis de costos entre pavimentos de concreto permeable del que se obtuvo un costo de S/. 259,17 y pavimentos de concreto convencional de similares características de uso un costo de S/. 299,86. Se puede indicar que el pavimento permeable es 13,57 % menos costoso que el concreto convencional, por lo tanto el pavimento permeable genera menores costos que el concreto convencional, así como también lo indica Chaiña & Villanueva 2017 en su investigación.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda a las Entidades involucradas en la infraestructura vial de nuestro País, desarrollar Normativas y regulaciones que aseguren los controles para darle al pavimento de concreto permeable la funcionalidad requerida, así mismo la difusión de este estudio para la aplicación y uso del concreto permeable por sus ventajas descritas, cabe resaltar que en el Perú actualmente se tiene menos del 20 % del total de la infraestructura vial pavimentada.

Se recomienda a la comunidad de investigadores, tesisistas, relacionados al sector construcción, a empresas concreteras, profundizar estudios de concreto permeable usando agregados como canto rodado y materiales reciclables, asimismo aditivos superplastificantes, teniendo en cuenta también el tipo de compactación aplicada al concreto permeable e indagar otras metodologías para el diseño y dosificación del concreto permeable para evaluar sus propiedades.

Debido que el porcentaje de vacíos depende en gran medida de la granulometría del material, se recomienda a los futuros tesisistas que realicen pruebas de mezcla para lograr el porcentaje de vacíos deseado para el diseño.

Se recomienda también profundizar el tema de costos de concreto permeable y concreto convencional para similares aplicaciones y usos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI. (2010). Report on Pervious Concrete, ACI 522R-10. In *American Concrete Institute* (Vol. 10, Issue Reapproved).
- Adams, R. F., & Member, C. (2001). *ACI 221R-2*. 96(Reapproved), 1–29.
- Arce, M. (2019). *Recuperación de aguas pluviales en la Ciudad de Arequipa utilizando concreto permeable en vías públicas*. Universidad Privada de Tacna.
- Barth, F., Allen, J. H., Barlow, J. P., Brander, M. E., Darwin, D., Fowler, D. W., Halvorsen, G. T., Hansen, W., Haynes, H., Liu, T. C., Frosch, R. J., Rhoads, R. J., & Schrader, E. K. (2001). *ACI 224 Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón Informado por el Comité*. 1–53.
- Bonicelli, A., & Pianeta, L. R. (2019). Performance and Applications of Pervious Concrete Pavement Material as an Overlay on Existent Concrete Slabs. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/3/032061>
- Cabello, S., Campuzano, L., Espinoza, J., & Sánchez, C. (2015a). Concreto poroso: constitución, variables influyentes y protocolos para su caracterización. *Cumbres*, 1(1), 64–69. <https://doi.org/10.48190/cumbres.v1n1a9>
- Cabello, S., Campuzano, L., Espinoza, J., & Sánchez, C. (2015b). Concreto poroso: constitución y variable Influyentes y protocolos para su caracterización. *CUMBRES Revista Científica*, 64–69.
- Castro, S., & Guavara, T. (2017). *Diferencia de compresión y permeabilidad del concreto permeable elaborado con canto rodado frente al de piedra chancada, cantera Mashcon, Cajamarca, 2017*.
- Chaiña, J., & Villanueva, Y. (2017). *Diseño de concreto permeable, para pavimentos rígidos, utilizando piedra huso 67 y arena gruesa de la cantera La Poderosa, para la ciudad de Arequipa*.
- Chindapasirt, P., Hatanaka, S., Chareerat, T., Mishima, N., & Yuasa, Y. (2008). Cement paste characteristics and porous concrete properties. *Construction and Building Materials*, 22(5), 894–901. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.12.007>
- Comité ACI 211.3R-02. (2009). *Guía para la selección d eproporciones para hormigón - n Slump* (Vol. 02).



- Ćosić, K., Korat, L., Ducman, V., & Netinger, I. (2015). Influence of aggregate type and size on properties of pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 78, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.073>
- De Solominihac, H., Videla, C., Fernández, B., & Castro, J. (2007). Desarrollo de mezclas de hormigón poroso para pavimentos urbanos permeables. *Materiales de Construcción*, 57(287), 23–36. <https://doi.org/10.3989/mc.2007.v57.i287.54>
- Debnath, B., & Sarkar, P. P. (2019). Permeability prediction and pore structure feature of pervious concrete using brick as aggregate. *Construction and Building Materials*, 213, 643–651. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.099>
- Elango, K. S., Gopi, R., Saravanakumar, R., Rajeshkumar, V., Vivek, D., & Raman, S. V. (2021). Properties of pervious concrete - A state of the art review. *Materials Today: Proceedings*, 45(xxxx), 2422–2425. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.839>
- Fernández, R., & Navas, A. (2011). Concreto permeable Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. *Infraestructura Vial*, 24, 40–49.
- Guizado, A., & Curi, E. (2017). *Evaluación del concreto permeable como una alternativa de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noreste del Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2019). *Metodología de la investigación*.
- Huertas, D., & Michael, J. (2017). *Determinación del valor K mediante la correlación entre módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto hidráulico con materiales pétreos procedentes del Río Sumapaz d ela zona del Alto Magdalena en el sector denominado La gran Gran Curva* [Universidad Piloto de Colombia]. [http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5788/jaramillo\\_huertas\\_final\\_icontec\\_FC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5788/jaramillo_huertas_final_icontec_FC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Hung, V. V., Seo, S. Y., Kim, H. W., & Lee, G. C. (2021). Permeability and strength of pervious concrete according to aggregate size and blocking material. *Sustainability (Switzerland)*, 13(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/su13010426>
- ICG. (2022). *Manual de la construcción*.
- Kanashiro, V. J., & Monzón, C. E. (2020). *Determinación Del Rango Óptimo De Agregado Fino En Concreto Permeable Evaluado a Partir De Curvas De Aproximación Para Su Aplicación En Pavimentos Especiales, Cusco 2019* (p. 280). [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50737/Cusma\\_GM-](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50737/Cusma_GM-)

SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Laguna, J., & Piedrahita, O. (2017). *Estudio comparativo de mezclas de concreto poroso usando materiales disponibles en Cartagena de Indias para uso de pavimentos en parqueaderos*. Universidad de Cartagena.
- León Altamirano, C. A., & Rosero Sangucho, G. E. (2016). *Optimización del diseño de una mezcla de hormigón permeable a partir de tres distintas graduaciones*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7870/1/T-UCE-0011-243.pdf>
- Municipalidad Provincial de Tacna. (2014). *PDU 2014 Plan de Desarrollo Urbano 2014-2023 de Tacna* (p. 170). <https://www.miciudad.pe/wp-content/uploads/PLAN-DESARROLLO-URBANO-PROVINCIAL-TACNA.pdf>
- Norma CE. 010 pavimentos urbanos. (2010). 68. <http://www.vivienda.gob.pe/%5Cnhttp://app.knovel.com/>
- NTP 400.037.2014. (2014). NTP 400.037: AGREGADOS. "Especificaciones normalizadas para agregados en concreto." In *Norma Técnica Peruana: Vol. 3a Edición*.
- Paucar, Y., & Morales, F. (2018). Influencia del agregado grueso de la cantera del Río Ichu en el concreto permeable para pavimentos de bajo tránsito  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup>. In *Universidad Nacional de Huancavelica*. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1642>
- Perez, D. (2009). Estudio experimental de concretos permeables con agregados andesíticos. *Universidad Nacional Autónoma de México*, 157.
- Príncipe, M. A. (2018). *Comportamiento del concreto permeable con 20% de vacíos utilizando agregado grueso de tres canteras - Huaráz*. 143. [http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/7952/Tesis\\_58052.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/7952/Tesis_58052.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ryan, R. J., Gaynor, R. D., Gendrich, J. G., & Teodoru, G. V. (1999). *ACI 305R-99 Hot Weather Concreting*.
- Saavedra, F. (2019). *Resistencia de un concreto permeable  $f'c = 175$  kg/cm<sup>2</sup> sustituyendo 5%, 10% y 15% de relave por agregado fino*.
- Sánchez-Mendieta, C., Galán, J. J., & Martínez-Lage, I. (2021). Physical and hydraulic properties of porous concrete. *Sustainability (Switzerland)*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/su131910562>
- Yu, F., Sun, D., Wang, J., & Hu, M. (2019). Influence of aggregate size on compressive

strength of pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 209, 463–475.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.140>

ACI-UNISON Capítulo estudiantil. (2021, octubre 13). *Conferencia "CONCRETO PERMEABLE" por Ing. Genaro Salinas* [Video]. YouTube.  
<https://youtu.be/povXWynyQYU>

**ANEXOS**

Anexo 1. NORMA DE DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE ACI 522R-10

**ACI 522R-10**  
**(Reapproved 2011)**

**Report on Pervious Concrete**

Reported by ACI Committee 522



**American Concrete Institute®**

Copyright American Concrete Institute  
Provided to you under license with ACI  
No reproduction or networking permitted without license from ACI

Downloaded from University of Texas at Dallas (128.193.1.114) on 08/11/14. User email: wangye  
Not for Resale, 01/08/2015 12:08:32 WST

DaneshLink.com

## Anexo 2. FICHA TÉCNICA DE CEMENTO YURA TIPO I



**CEMENTO PORTLAND TIPO I**

42.5 kg

El Cemento Portland YURA TIPO I es elaborado con Clinker de Alta Calidad y Yeso, molidos industrialmente hasta lograr un alto grado de finura. Cumple con la norma NTP 334.008 y la ASTM C150. Su fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001.

### 1 USOS Y APLICACIONES

El Cemento Portland YURA TIPO I, puede ser utilizado en todo tipo de construcción, que no requiere de propiedades especiales.

### 2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUERIMIENTOS QUÍMICOS	CEMENTO PORTLAND YURA TIPO I	NORMA TÉCNICA NTP 334.008 - ASTM C150
Óxido de Magnesio, MgO, %	2.0 - 4.0	6.00 Máximo
Tríóxido de Azufre, SO <sub>3</sub> , %	1.8 - 2.5	3.00 Máximo
Pérdida por ignición o al Fuego, P.F. %	0.1 - 2.5	3.00 Máximo
Residuo Insoluble, R.I. %	< 1.5	1.50 Máximo

CEMENTO  
**YURA**  
FICHA TÉCNICA 2022  
V.1

www.yura.com.pe

REQUERIMIENTOS FÍSICOS	CEMENTO PORTLAND YURA TIPO I	NORMA TÉCNICA NTP 334.008 - ASTM C150
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	3.10 - 3.15	-
Finura (Superficie específica - blaine), cm <sup>2</sup> /g	3000 - 3700	2600 mínimo
Expansión en autoclave, %	0.0 - 0.2	0.80 máximo
Tiempo de Fraguado Vicat Inicial, minutos	140 - 190	45 - 375
Contenido de aire del mortero, %	4 - 8	12.00 máximo
Resistencia a la compresión, Kg/cm <sup>2</sup>		Mínimo
03 días	250 - 350	122
07 días	310 - 420	194
28 días	400 - 470	286

### 3 PRESENTACIONES DISPONIBLES

<b>BOLSA 42.5 KG</b>	Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.
<b>BIG BAG 1.0 TM</b>	Para proyectos de constructoras que tienen planta de concreto. Facilita la manipulación de grandes volúmenes.
<b>BIG BAG 1.5 TM</b>	Para proyectos mineros y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.
<b>GRANEL</b>	Abastecido en bombonas para descargar en silos contenedores.

### 4 ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones se recomienda:

- Almacenar bajo techo, separado del suelo y de las paredes.
- Protegerlos contra la humedad o corrientes de aire húmedo.
- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.
- No apilar más de 10 bolsas de altura en 2 pallet de altura.

### Anexo 3. ENSAYO DE DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL CONCRETO ENDURECIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLA DPH0 (MEZCLA PATRÓN)



#### LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Consultoría y control de calidad en proyectos de ingeniería  
Garantía, eficiencia y seguridad

PRP-06-029R/Abril 2022/Rev.00

#### INFORME DE ENSAYO

DOCUMENTO CON VALOR OFICIAL

Página: 1 de 1

#### MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS EN PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL HORMIGÓN (CONCRETO) EN EL HORMIGÓN (CONCRETO) ENDURECIDO

INFORME N°: LSCP - 23 - 001

PROYECTO : Influencia del agregado fino y piedra chancada huso 67 en las propiedades del concreto permeable para vías urbanas, Tacna, 2022

SOLICITANTE : Bach. Isable Karyne Peralta Rodríguez - Bach. Diego Armando Huamolle Rengifo

DIRECCIÓN : -

UBICACIÓN : Tacna - Tacna - Tacna

FECHA DE RECEPCIÓN: 20 de Enero de 2023

MUESTRA : Probeta con 0% de agregado fino

FECHA DE EJECUCIÓN: 21 de Enero de 2023

ENSAYADO EN: Laboratorio de suelos, concreto y asfalto

FECHA DE EMISIÓN: 26 de Enero de 2023

Material: Concreto endurecido

Método de secado: Por horno

Datos adicionales: -

Condición Inicial: Muestra seca

	Muestra 1	Muestra 2
(A) Masa del Especimen seco (g):	8952	-
(B) Masa del Especimen Saturado (Inmersión) (g):	9243	-
(C) Masa del Especimen Saturado (Hervido) (g):	9294	-
(D) Masa Aparente sumergido (g):	5542	-
Absorción después de la inmersión (%)	3.25	-
Absorción después de la inmersión y hervido (%)	3.82	-
Densidad seca (g/cc)	2.39	-
Densidad después de la inmersión (g/cc)	2.46	-
Densidad después de la inmersión y hervido (g/cc)	2.48	-
Densidad aparente (g/cc)	2.63	-
Volumen de poros permeables (vacíos) (%)	9.12	-

#### Observación:

- El material fue proporcionado por el solicitante.

- Esta prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de Ingeservicios S.A.C.

- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.

- Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistemade calidad de la entidad que lo produce.

Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracín – Tacna

052284808 - 955688070  
info@ingeservicios.com.pe

www.ingeservicios.com.pe  
RUC 20449438834

## Anexo 4. ENSAYO DE DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL CONCRETO ENDURECIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLA DPH10



### LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Consultoría y control de calidad en proyectos de ingeniería  
Garantía, eficiencia y seguridad

PRP-06-029R/Abril 2022/Rev.00

#### INFORME DE ENSAYO

DOCUMENTO CON VALOR OFICIAL

Pagina: 1 de 1

### MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS EN PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL HORMIGÓN (CONCRETO) EN EL HORMIGÓN (CONCRETO) ENDURECIDO

INFORME N°: LSCP - 23 - 002

PROYECTO: Influencia del agregado fino y piedra chancada huso 67 en las propiedades del concreto permeable para vías urbanas, Tacna, 2022

SOLICITANTE: Bach. Isabell Karyne Peralta Rodríguez - Bach. Diego Armando Huamolle Rengifo

DIRECCIÓN: -

UBICACIÓN: Tacna - Tacna - Tacna

FECHA DE RECEPCIÓN: 20 de Enero de 2023

MUESTRA: Probeta con 10% de agregado fino

FECHA DE EJECUCIÓN: 21 de Enero de 2023

ENSAYADO EN: Laboratorio de suelos, concreto y asfalto

FECHA DE EMISIÓN: 26 de Enero de 2023

Material: Concreto endurecido

Método de secado: Por horno

Datos adicionales: -

Condición inicial: Muestra seca

	Muestra 1	Muestra 2
(A) Masa del Especimen seco (g):	10411	-
(B) Masa del Especimen Saturado (Inmersión) (g):	10651	-
(C) Masa del Especimen Saturado (Hervido) (g):	10715	-
(D) Masa Aparente sumergido (g):	6623	-
Absorción después de la inmersión (%)	2.31	-
Absorción después de la inmersión y hervido (%)	2.92	-
Densidad seca (g/cc)	2.54	-
Densidad después de la inmersión (g/cc)	2.60	-
Densidad después de la inmersión y hervido (g/cc)	2.62	-
Densidad aparente (g/cc)	2.75	-
Volumen de poros permeables (vacíos) (%)	7.43	-

#### Observación:

- El material fue proporcionado por el solicitante.

- Esta prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de IngeServicios S.A.C.

- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.

- Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Av. Colpa N° 8, sector Pago Olanque Distrito de Gregorio Albarracín - Tacna

05284898 - 959668070  
info@ingeservicios.com.pe

www.ingeservicios.com.pe  
RUC 20449438834



## Anexo 5. ENSAYO DE DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL CONCRETO ENDURECIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLA DPH20



### LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Consultoría y control de calidad en proyectos de ingeniería  
Garantía, eficiencia y seguridad

PRP-06-029R/Abril 2022/Rev.00

#### INFORME DE ENSAYO

DOCUMENTO CON VALOR OFICIAL

Pagina: 1 de 1

#### MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS EN PORCENTAJE DE VACÍOS EN EL HORMIGÓN (CONCRETO) EN EL HORMIGÓN (CONCRETO) ENDURECIDO

INFORME N°: LSCP - 23 - 003

PROYECTO : Influencia del agregado fino y piedra chancada huso 67 en las propiedades del concreto permeable para vías urbanas, Tacna, 2022

SOLICITANTE : Bach. Isable Karyne Peralta Rodriguez - Bach. Diego Armando Huamolle Rengifo

DIRECCIÓN : -

UBICACIÓN : Tacna - Tacna - Tacna

FECHA DE RECEPCIÓN: 20 de Enero de 2023

MUESTRA : Probeta con 20% de agregado fino

FECHA DE EJECUCIÓN: 21 de Enero de 2023

ENSAYADO EN: Laboratorio de suelos, concreto y asfalto

FECHA DE EMISIÓN: 26 de Enero de 2023

Material: Concreto endurecido

Método de secado: Por horno

Datos adicionales: -

Condición inicial: Muestra seca

	Muestra 1	Muestra 2
(A) Masa del Especimen seco (g):	10631	-
(B) Masa del Especimen Saturado (Inmersión) (g):	10883	-
(C) Masa del Especimen Saturado (Hervido) (g):	10914	-
(D) Masa Aparente sumergido (g):	6698	-
Absorción después de la inmersión (%)	2.37	-
Absorción después de la inmersión y hervido (%)	2.66	-
Densidad seca (g/cc)	2.52	-
Densidad después de la inmersión (g/cc)	2.58	-
Densidad después de la inmersión y hervido (g/cc)	2.59	-
Densidad aparente (g/cc)	2.70	-
Volumen de poros permeables (vacíos) (%)	6.71	-

#### Observación:

- El material fue proporcionado por el solicitante.

- Esta prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de Ingeservicios S.A.C.

- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.

- Los resultados del informe de ensayo solo están relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Av. Collpa N° 8, sector Pago Otanique Distrito de Gregorio Albarracín - Tacna

052284898 - 959668070  
info@ingeservicios.com.pe

www.ingeservicios.com.pe  
RUC 20449438834

## Anexo 6. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO DE LA CANTERA ARUNTA

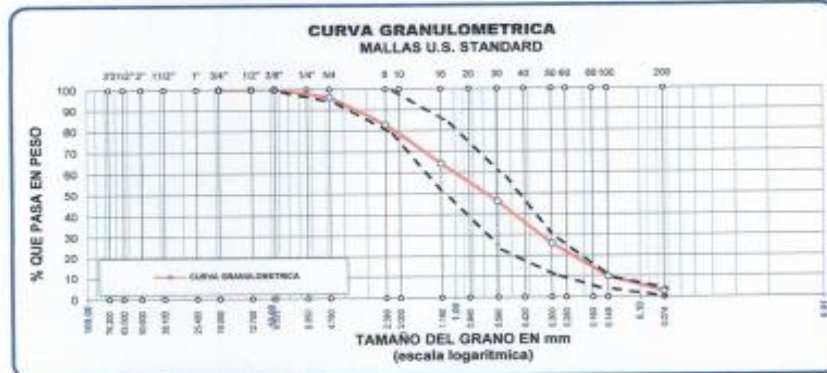


### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM C - 136

**TESIS** : INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA HUSO 67 EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA VIAS URBANAS, TACNA 2022.  
**ALUMNOS** : KARYNE PERALTA RODRIGUEZ CODIGO : 2007029911  
 DIEGO ARMANDO HUAMOLLE RENGIFO CODIGO : 2010038946  
**ENTIDAD** : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL / FAING DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA.  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE POCOLLAY ; PROVINCIA DE TACNA ; DEPARTAMENTO DE TACNA.  
**FECHA** : TACNA , 18 DE NOVIEMBRE DEL 2022

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						Muestra : Agregado Fino
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100	
1/4"	6.350						
Nº4	4.750	21.40	3.86	3.86	96.11	95 100	
Nº8	2.380	74.80	13.59	17.47	82.53	80 100	
Nº10	2.000						
Nº18	1.180	100.10	18.18	35.65	64.35	50 65	
Nº20	0.850						
Nº30	0.595	96.80	19.09	53.74	46.26	35 60	
Nº40	0.425						
Nº60	0.300	111.60	20.27	74.01	25.99	10 35	
Nº80	0.250						
Nº100	0.149	89.40	16.24	90.25	9.75	2 10	
Nº200	0.074	38.60	7.01	97.26	2.74	0 5	
		15.10	2.74	100.00	0.00		
<b>TOTAL</b>		<b>550.60</b>					

**Peso de la Muestra** : 550.60 gr.  
**Modulo de Fineza** : 2.8  
**OBSERVACIONES** : La muestra consiste de arena sarandada de lecho de rio de perfil sub angular y sub redondeado



Oswaldo Martín Aguilar Pacci  
 TEC. LABORATORISTA  
 MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y AMBIENTES



JOSE UTRILLA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 105241

AV. LUIS BASADRE N°1 A - TACNA - TACNA  
 celular: 984238009 - 952887017

Email: [tecotur.tacna@gmail.com](mailto:tecotur.tacna@gmail.com)  
 Facebook: [tecotur TACNA](https://www.facebook.com/tecotur.TACNA)

## Anexo 7. ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL DEL AGREGADO FINO DE LA CANTERA ARUNTA



**TESIS** : INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA HUSO 67 EN LAS PROPIEDADES  
 DEL CONCRETO PERMEABLE PARA VIAS URBANAS, TACNA 2022.  
**ALUMNOS** : KARYNE PERALTA RODRIGUEZ CODIGO : 2007026911  
 DIEGO ARMANDO HUAMOLLE RENGIFO CODIGO : 2010038946  
**ENTIDAD** : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL / FAING DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA.  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE POCOLLAY ; PROVINCIA DE TACNA ; DEPARTAMENTO DE TACNA.  
**FECHA** : TACNA , 18 DE NOVIEMBRE DEL 2022

### ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL

MUESTRA N°		AGREGADO FINO (ARUNTA)	
		1	2
Recipiente N°		0.0	0.0
Peso del recipiente	gr.	596.2	603.6
Peso del recipiente + la muestra húmeda	gr.	587.3	594.4
Peso del recipiente + la muestra seca	gr.	8.9	9.2
Peso del Agua	gr.	587.3	594.4
Peso de la muestra seca neta	gr.	1.51	1.55
Porcentaje de humedad	%	1.53	
Promedio	%		

  
 Oswaldo Martín Aguilar Pacsi  
 TEC. LABORATORISTA  
 MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y FUNDAMENTOS



  
 JOSÉ VÍCTOR CATOR  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP 156241

## Anexo 8. ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO DE LA CANTERA ARUNTA



**TESIS** : INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA HUGO 67 EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA VIAS URBANAS. , TACNA 2022.  
**ALUMNOS** : KARYNE PERALTA RODRIGUEZ CODIGO : 2007029911  
 DIEGO ARMANDO HUAMOLLE RENGIFO CODIGO : 2010038946  
**ENTIDAD** : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL / FAING DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA.  
**UBICACION** : DISTRITO DE POCOLLAY ; PROVINCIA DE TACNA ; DEPARTAMENTO DE TACNA.  
**FECHA** : TACNA , 18 DE NOVIEMBRE DEL 2022

### ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DE LA ARENA NORMA ASTM C-128

MUESTRA N°		1	2
Peso de la fola + muestra + Agua	gr.	774.1	750.0
Peso de la fola + Agua	gr.	850.1	626.2
Peso de la muestra (asa)	gr.	200.0	200.0
Volumen desplazado	cc.	76.0	76.2
Peso especifico	gr/cc.	2.632	2.625
Promedio	gr.cc.	2.628	

### ENSAYO DE ABSORCION DE LA ARENA

MUESTRA N°		1	2
Peso de la muestra (asa)	gr.	207.8	205.8
Peso de la muestra seca	gr.	204.5	202.6
Peso del Agua	gr.	3.3	3.2
Porcentaje de Absorción	%	1.61	1.58
Promedio	%	1.60	

**OBSERVACIONES:** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

  
 Oswaldo Martínez Aguilar Pacco  
 TEC. LABORATORISTA  
 MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y ARMADOS



  
 JOSE URBINA TACORA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 106241

## Anexo 9. ENSAYO DE PESOS UNITARIOS DEL AGREGADO FINO DE LA CANTERA ARUNTA



**TESIS** : INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA HUSO 67 EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA VIAS URBANAS. TACNA 2022.  
**ALUMNOS** : KARYNE PERALTA RODRIGUEZ CODIGO : 2007029911  
 DIEGO ARMANDO HUAMOLLE RENGIFO CODIGO : 2010038946  
**ENTIDAD** : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL / FAING DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA.  
**UBICACION** : DISTRITO DE POCOLLAY ; PROVINCIA DE TACNA ; DEPARTAMENTO DE TACNA.  
**FECHA** : TACNA , 18 DE NOVIEMBRE DEL 2022

### ENSAYO DE PESOS UNITARIOS NORMA ASTM C - 29

Agregado Fino (Arena) Cantera : Arunta MUESTRA N°		SUELTO			VARILLADO		
		1	2	3	1	2	3
Peso del molde + la muestra seca	gr.	12,120	12,350	11,850	12,555	12,528	12,519
Peso del molde	gr.	6,790	6,790	6,790	6,790	6,790	6,790
Peso de la muestra seca neta	gr.	5,330	5,560	5,060	5,765	5,738	5,729
Volumen del molde	cc.	3,230	3,230	3,230	3,230	3,230	3,230
Peso Unitario	gr/cc.	1,650	1,721	1,567	1,785	1,776	1,774
Promedio	gr/cc.		1,646			1,778	

**OBSERVACIONES:** Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

  
 Oswaldo Aguilar Facci  
 TEC. LABORATORISTA  
 MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS



  
 José Wladimir Cordero  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 186041

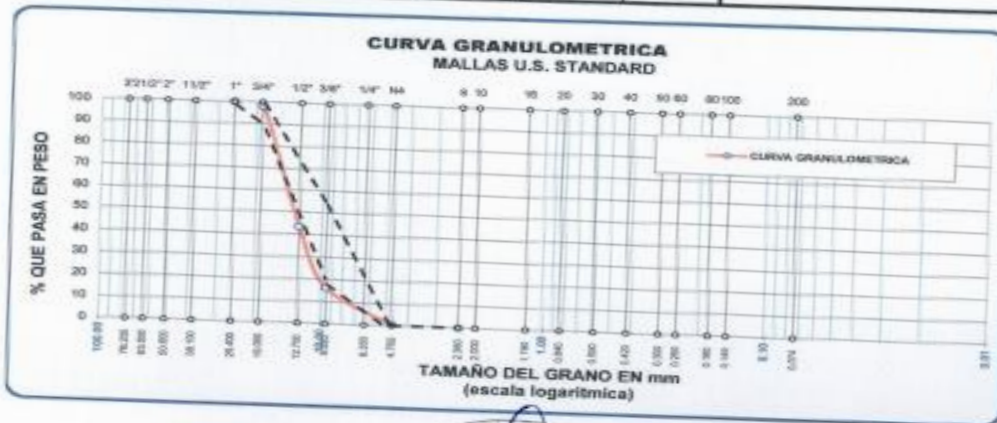
**Anexo 10. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE PIEDRA CHANCADA HUSO 67 DE LA CANTERA ARUNTA**



**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO  
ASTM C - 136**

**TESIS :** INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA HUSO 67 EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA VIAS URBANAS, TACNA 2022.  
**ALUMNOS :** KARYNE PERALTA RODRIGUEZ CODIGO : 2007029911  
 DIEGO ARMANDO HUAMOLLE RENGIFO CODIGO : 2010038946  
**ENTIDAD :** ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL / FAING DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA.  
**UBICACIÓN :** DISTRITO DE POCOLLAY ; PROVINCIA DE TACNA ; DEPARTAMENTO DE TACNA.  
**FECHA :** TACNA , 18 DE NOVIEMBRE DEL 2022

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC. 67	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						<b>Muestra : Agregado Grueso</b>  <b>Peso de la Muestra:</b> 5932.1 gr <b>Tamaño Máximo</b> 3/4" La muestra consiste de piedra chancada , proporcionada por el peticionario
2 1/2"	63.500						
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	100	
3/4"	19.050	105.20	1.77	1.77	98.23	90 100	
1/2"	12.700	3242.30	54.67	56.44	43.56		
3/8"	9.525	1599.60	26.97	83.42	16.58	20 55	
1/4"	6.350						
No#4	4.750	948.50	15.99	99.41	0.59	0 10	
No#5	3.360	35.00	0.59	100.00	0.00	0 5	
No#10	2.000						
No#16	1.190						
No#20	0.840						
No#30	0.600						
No#40	0.420						
No 50	0.300						
No#60	0.250						
No#80	0.180						
No#100	0.149						
No#200	0.074						
<b>TOTAL</b>		<b>5930.80</b>					



Oswaldo Martín Aguilar Paez  
 TECN. LABORATORISTA  
 MECANICA DE SUELOS, CONCRETOS Y REVIVIENTOS



JOSE WILSON ESCOBAR  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 100241

**Anexo 11. ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL DE PIEDRA CHANCADA  
HUSO 67 DE LA CANTERA ARUNTA**



TESIS : INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA HUSO 67 EN LAS PROPIEDADES  
 DEL CONCRETO PERMEABLE PARA VIAS URBANAS. , TACNA 2022.  
 ALUMNOS : KARYNE PERALTA RODRIGUEZ CODIGO : 2007029911  
 DIEGO ARMANDO HUAMOLLE RENGIFO CODIGO : 2010038946  
 ENTIDAD : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL / FAING DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA.  
 UBICACIÓN : DISTRITO DE POCOLLAY ; PROVINCIA DE TACNA ; DEPARTAMENTO DE TACNA.  
 FECHA : TACNA , 18 DE NOVIEMBRE DEL 2022

**ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL**

MUESTRA N°	AGREGADO GRUESO (ARUNTA)	
	1	2
Recipiente N°		
Peso del recipiente	gr. 42.2	52.3
Peso del recipiente + la muestra húmeda	gr. 1,038.2	1,071.8
Peso del recipiente + la muestra seca	gr. 1,029.3	1,062.1
Peso del Agua	gr. 8.9	9.5
Peso de la muestra seca neta	gr. 987.1	1,009.8
Porcentaje de humedad	% 0.90	0.94
Promedio	% 0.92	

  
 Oswaldo Martín Aguilar Pacca  
 TEC. LABORATORISTA  
 MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS



  
 José Yauri  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 100241

**Anexo 12. ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE PIEDRA  
CHANCADA HUSO 67 DE LA CANTERA ARUNTA**



TESIS : INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA HUSO 67 EN LAS PROPIEDADES  
DEL CONCRETO PERMEABLE PARA VIAS URBANAS, TACNA 2022.

ALUMNOS : KARYNE PERALTA RODRIGUEZ CODIGO : 2007029911  
DIEGO ARMANDO HUAMOLLE RENGIFO CODIGO : 2010038946

ENTIDAD : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL / FAING DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA.

UBICACIÓN : DISTRITO DE POCOLLAY ; PROVINCIA DE TACNA ; DEPARTAMENTO DE TACNA.

FECHA : TACNA , 18 DE NOVIEMBRE DEL 2022

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA**  
NORMA ASTM C-127

MUESTRA N°		1	2
Peso de la muestra en el aire	gr.	1,010.0	1,050.0
Peso de la muestra en el agua	gr.	629.5	655.2
Volumen Desplazado	cc.	380.5	394.8
Peso especifico	gr/cc.	2.655	2.659
Promedio	gr/cc.	2.657	

**ENSAYO DE ABSORCION DE LA GRAVA**

MUESTRA N°		1	2
Peso de la muestra (asa)	gr.	1,068.5	1,089.7
Peso de la muestra seca	gr.	1,057.9	1,058.0
Peso del Agua	gr.	10.7	11.7
Porcentaje de Absorción	%	1.01	1.11
Promedio	%	1.06	

OBSERVACIONES: las muestras fueron proporcionadas por el solicitante..

Oswaldo Martín Aguilar Pacci  
TEC. LABORATORISTA  
MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y ARMAZONES



JOSE VILLOTA  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 16024



**Anexo 13. ENSAYO DE PESOS UNITARIOS DE PIEDRA CHANCADA  
HUSO67 DE LA CANTERA ARUNTA**



TESIS : INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA HUSO 67 EN LAS PROPIEDADES  
 DEL CONCRETO PERMEABLE PARA VIAS URBANAS. TACNA 2022.  
 ALUMNOS : KARYNE PERALTA RODRIGUEZ CODIGO : 2007029911  
 DIEGO ARMANDO HUAMOLLE RENGIFO CODIGO : 2010038946  
 ENTIDAD : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL / FAING DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA.  
 UBICACIÓN : DISTRITO DE POCOLLAY ; PROVINCIA DE TACNA ; DEPARTAMENTO DE TACNA.  
 FECHA : TACNA , 16 DE NOVIEMBRE DEL 2022

**ENSAYO DE PESOS UNITARIOS**  
NORMA ASTM C - 29

Agregado Grueso (Grava) Canteras Arunta	SUELTO			VARILLADO		
	1	2	3	1	2	3
<b>MUESTRA TRES CUARTOS</b>						
Peso del molde + la muestra seca	gr. 12,143	12,133	12,182	12,690	12,589	12,687
Peso del molde	gr. 7,476	7,479	7,478	7,478	7,478	7,476
Peso de la muestra seca neta	gr. 4,667	4,654	4,706	5,214	5,113	5,211
Volumen del molde	cc. 3,410	3,410	3,410	3,410	3,410	3,410
Peso Unitario	gr/cc. 1,369	1,365	1,380	1,529	1,499	1,528
Promedio	gr/cc.	1,371			1,519	

  
 Oswaldo Martín Aguilar Pacci  
 TEC. LABORATORISTA  
 MECANICA DE SUELOS, CIMENTOS Y PAVIMENTOS



  
 JOSÉ WILFREDO CACERES  
 INGENIERO CIVIL  
 C.P. 100241

## Anexo 14. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE PIEDRA CHANCADA HUSO 67 DE LA CANTERA ARUNTA



### ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

**TESIS** : INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA HUSO 67 EN LAS PROPIEDADES  
 DEL CONCRETO PERMEABLE PARA VÍAS URBANAS. , TACNA 2022  
**ALUMNOS** : KARYNE PERALTA RODRIGUEZ CODIGO : 2007025911  
 DIEGO ARMANDO HUAMOLLE RENGIFO CODIGO : 2010036946  
**ENTIDAD** : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL / FAING DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA.  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE POCOLLAY ; PROVINCIA DE TACNA ; DEPARTAMENTO DE TACNA.  
**FECHA** : TACNA , 18 DE NOVIEMBRE DEL 2022

MUESTRA	SOLIDOS SOLUBLES TOTALES ; NTP 339-152 - 2002	
	%	P.P.M
MATERIAL DE SUB BASE GRANULAR	0.0342	342.00

**OBSERVACIONES** : Las muestras fueron proporcionadas por el solicitante.

  
 Oswaldo Martín Aguilar Pacci  
 TEC. LABORATORISTA  
 MECÁNICA DE SUELOS, CIMENTOS Y FUNDACIONES



  
 José Vargas Córdova  
 INGENIERO CIVIL  
 105241

**Anexo 15. ENSAYO DE DESGASTE POR ABRASIÓN DE PIEDRA  
CHANCADA HUSO 67 DE LA CANTERA ARUNTA**



**ENSAYO PARA LA DETERMINACION DEL DESGASTE POR  
ABRASION DEL AGREGADO GRUESO UTILIZANDO LA MAQUINA  
"LOS ANGELES" ASTM C-31**

TESIS : INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA HUSO 67 EN LAS PROPIEDADES  
DEL CONCRETO PERMEABLE PARA VIAS URBANAS. TACNA 2022.

ALUMNOS : KARYNE PERALTA RODRIGUEZ CODIGO : 2007029911  
DIEGO ARMANDO HUAMOLLE RENGIFO CODIGO : 2010038946

ENTIDAD : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL / FAING DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA.

UBICACION : DISTRITO DE POCOLLAY ; PROVINCIA DE TACNA ; DEPARTAMENTO DE TACNA.

FECHA : TACNA , 18 DE NOVIEMBRE DEL 2022

DESCRIPCION		PESO EN GRAMOS	DESGASTE 590 REVOL.
PASANTE	RETENIDO	GRANULOMETRIA "B"	
1 1/2"	1"	gr.	*****
1"	3/4"	gr.	*****
3/4"	1/2"	2501.3 gr.	*****
1/2"	3/8"	2500.1 gr.	*****
TOTAL		5001.4 gr.	1,085.3 gr.
PORCENTAJE DE DESGASTE			21.70 %

**OBSERVACIONES**

Las muestras fueron proporcionada por el solicitante.

Oswaldo Marín Aguilar Pacci  
TEC. LABORATORISTA  
MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS



INGENIERO CIVIL  
CIP 106241

**Anexo 16. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE BALANZA ELECTRÓNICA  
DE 4000G MARCA OHAUS**

		<b>CALIBRACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS</b> RUC: 20606479680
<b>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN</b> <b>CA- LM - 025 - 2022</b>		
<i>Área de Metrología</i> <i>Laboratorio de Masas</i>		Página 1 de 4
<b>1. Expediente</b>	<b>099-2022</b>	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
<b>2. Solicitante</b>	<b>TECOSUR S.R.L.</b>	
<b>3. Dirección</b>	<b>CALLE 2 DE MAYO NRO 1-A PAGO AYMARA            PROLONGACION - TACNA - TACNA</b>	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
<b>4. Equipo de medición</b>	<b>BALANZA ELECTRÓNICA</b>	
<b>Capacidad Máxima</b>	<b>4000 g</b>	
<b>División de escala (d)</b>	<b>0.10 g</b>	
<b>Div. de verificación (e)</b>	<b>0.10 g</b>	
<b>Clase de exactitud</b>	<b>II</b>	CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
<b>Marca</b>	<b>OHAUS</b>	
<b>Modelo</b>	<b>TAJ4001</b>	
<b>Número de Serie</b>	<b>7130240285</b>	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
<b>Capacidad mínima</b>	<b>0.10 g</b>	
<b>Procedencia</b>	<b>U.S.A.</b>	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
<b>Identificación</b>	<b>NO INDICA</b>	
<b>5. Fecha de Calibración</b>	<b>2022-01-20</b>	
<b>Fecha de Emisión</b>	<b>Jefe del Laboratorio de Metrología</b>	<b>Sello</b>
<b>2022-01-21</b>	 <b>MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES</b>	
☎ 977 997 385 - 913 028 621 ☎ 913 028 622 - 913 028 623 ☎ 913 028 624	☉ Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima ☉ comercial@calibratec.com.pe ☑ CALIBRATEC SAC	

## Anexo 17. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE BALANZA ELECTRÓNICA DE 4000G MARCA OHAUS



**CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

RUC: 20606479680

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA- LM - 025 - 2022

*Área de Metrología  
Laboratorio de Masas*

Página 2 de 4

#### 6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-011: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y Clase II" del SNM- INACAL

#### 7. Lugar de calibración

Las instalaciones del cliente.  
CALLE 2 DE MAYO NRO 1-A PAGO AYMARA PROLONGACION - TACNA - TACNA

#### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	23.1°C	23.1°C
Humedad Relativa	51%	51%

#### 9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
METROIL	JUEGO DE PESAS 1 kg a 5 kg (Clase de Exactitud: F1)	M-0726-2021
METROIL	JUEGO DE PESAS 1 mg a 1 kg (Clase de Exactitud: F1)	M-0689-2021
METROIL	TERMOHIGROMETRO DIGITAL BOECO	T-1774-2021

#### 10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.



☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillon Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC

## Anexo 18. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE HORNO A&A INSTRUMENTS



# CALIBRATEC S.A.C.

LABORATORIO DE METROLOGIA

**CALIBRACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

RUC: 20606479680

---

*Área de Metrología*

*Laboratorio de Temperatura*

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

#### CA - LT - 011 - 2022

Página 1 de 5

<b>1. Expediente</b>	099-2022	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.</p> <p>CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
<b>2. Solicitante</b>	TECOSUR S.R.L.	
<b>3. Dirección</b>	CALLE 2 DE MAYO NRO 1-A PAGO AYMARA PROLONGACION - TACNA - TACNA	
<b>4. Equipo</b>	HORNO	
Alcance Máximo	300 °C	
Marca	A&A INSTRUMENTS	
Modelo	STHX-2A	
Número de Serie	14424	
Procedencia	CHINA	
Identificación	NO INDICA	
Ubicación	NO INDICA	

Descripción	Controlador / Selector	Instrumento de medición
Alcance	30 °C a 300 °C	30 °C a 300 °C
División de escala / Resolución	0.1 °C	0.1 °C
Tipo	CONTROLADOR ELECTRONICO	TERMOMETRO DIGITAL

**5. Fecha de Calibración** 2022-01-20

Fecha de Emisión: 2022-01-21

Jefe del Laboratorio de Metrología



MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES

Sello



---

☎ 977 997 385 - 913 028 621

☎ 913 028 622 - 913 028 623

☎ 913 028 624

📍 Av. Chillon Lote 50 B - Comas - Lima - Lima

✉ comercial@calibratec.com.pe

🏢 CALIBRATEC SAC

## Anexo 19. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE HORNO A&A INSTRUMENTS



# CALIBRATEC S.A.C.

**LABORATORIO DE METROLOGIA**

**CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

RUC: 20606479680

---

*Área de Metrología*  
*Laboratorio de Temperatura*

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

## CA - LT - 011 - 2022

Página 2 de 5

---

**6. Método de Calibración**

La calibración se efectuó por comparación directa con termómetros patrones calibrados que tienen trazabilidad a la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT 90), se consideró como referencia el Procedimiento para la Calibración de Medios Isotérmicos con aire como Medio Termostático PC-018; 2da edición; Junio 2009, del SNM-INDECOPI.

**7. Lugar de calibración**

Las instalaciones del cliente.  
CALLE 2 DE MAYO NRO 1-A PAGO AYMARA PROLONGACION - TACNA - TACNA

**8. Condiciones Ambientales**

	Inicial	Final
Temperatura	23.3°C	23.3°C
Humedad Relativa	64 %	64 %

**9. Patrones de referencia**

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado y/o Informe de calibración
MSG - LABORATORIO ACREDITADO REGISTRO: LC-038	TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL DE 10 CANALES TERMOPARES TIPO T - DIGISENSE	LTT21-0008
METROIL - LABORATORIO ACREDITADO REGISTRO: LC-001	THERMOHIGROMETRO DIGITAL BOECO MODELO: HTC-8	T-1774-2021



**10. Observaciones**

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de **CALIBRADO**.
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

---

☎ 977 997 385 - 913 028 621

☎ 913 028 622 - 913 028 623

☎ 913 028 624

📍 Av. Chillon Lote 50 B - Comas - Lima - Lima

✉ comercial@calibratec.com.pe

🏢 CALIBRATEC SAC

## Anexo 20. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

Adquisición y extracción de agregado fino y piedra chancada huso 67 de la Cantera Arunta en sacos de 50 kg.



Disposición del material para los ensayos físicos, químicos y granulométricos de los agregados



Fabricación y curado de muestras cilíndricas de concreto permeable en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad Privada de Tacna.





En el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad Privada de Tacna, se utilizó el equipo de prensa digital marca Forney, para determinar la resistencia a la compresión a los 7 días, 21 días y 28 días.



## Ensayo de infiltración



## Anexo 21

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE**  
**REFERENCIA: MÉTODO Y DOSIFICACIÓN BASADO EN LA NORMA ACI**  
**522R-10**

## PARAMETROS DE DISEÑO

- a) Piedra chancada huso 67.
- b) Cemento Portland Yura tipo I ( ficha técnica en anexo 2).
- c) Porcentaje de adición de agregado fino (0 %, 10 % y 20 %) y b/bo (0,99, 0,93 y 0,86) respectivamente.
- d) % de vacios teórico 17 % para un MR teórico de 34 kg/cm<sup>2</sup>.
- e) Tipo de compactación ligero 25 golpes 3 capas.
- f) Proporción agua cemento 0,32 (inicial).
- g) Resultado de ensayos de laboratorio de los material a utilizar

<b>Materiales /ensayos</b>	<b>Piedra chancada huso 67</b>	<b>Agregado fino</b>	<b>Cemento Portland Yura tipo I</b>	<b>Agua</b>
Peso específico gr/cc	2,657	2,628	3,13	1
Absorción %	1,06	1,60		
Peso unitario suelto gr/cc	1,371	1,646		
Peso unitario varillado gr/cc	1,519	1,778		
Humedad natural %	0,99	1,53		
Porcentaje de desgaste	21,70 %			
Sólidos solubles totales	0,0852			

**CONCRETO PERMEABLE CON PIEDRA CHANCADA HUSO 67 Y ADICIÓN DE 0 % DE AGREGADO FINO**

Se enumeran los pasos a seguir para el diseño de mezcla

1. Peso del agregado grueso (Recomendado en la tabla 6.1 del ACI 522R-10)  
b/bo : 0,99 para 0 % de agregado fino)

$$W a seco = P.U.C grava \times \frac{b}{bo} \times V total$$

$$W a seco = 1,519 \frac{gr}{cc} \times 0,99 \times 1000000cc$$

$$W a seco = 1503810 gr$$

$$W a seco = 1503,81 kg$$

2. Ajuste del peso del agregado  $\frac{3}{4}$ "

$$W a húmedo = W a seco \times \% absorción$$

$$W a húmedo = 1503,81 \times 1,06$$

$$W a húmedo = 1594,04 kg$$

3. Volumen de Pasta

$$V pasta = \% pasta \times Vtotal$$

$$V \text{ pasta} = \% 25 \times 1 \text{ m}^3$$

$$V \text{ pasta} = 0,25 \text{ m}^3$$

Para un 17 % de vacíos teórico (Recomendado en la figura 6.2 y 6.3 del ACI 522R-10) con compactación ligera, el % de pasta será de 25 %

#### 4. Contenido de cemento

$$V \text{ pasta} = V \text{ cemento} + V \text{ agua}$$

$$V \text{ pasta} = \frac{W \text{ cem}}{Y \text{ cem}} + \frac{W \text{ agua}}{Y \text{ agua}}$$

$$V \text{ pasta} = \frac{W \text{ cem}}{Y \text{ cem}} + \frac{\frac{a}{c} W \text{ cem}}{Y \text{ agua}}$$

$$W \text{ cem} = \frac{V \text{ pasta}}{\frac{1}{Y \text{ cem}} + \frac{\frac{a}{c}}{Y \text{ agua}}} + \frac{W \text{ agua}}{Y \text{ agua}}$$

$$W \text{ cem} = \frac{0,25 \text{ m}^3}{\frac{1}{3130 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + \frac{0,32}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

$$W \text{ cem} = 390,99 \text{ Kg}$$

Por antecedentes de investigaciones iniciaremos con una relación  $a/c = 0,32$  podemos aumentar hasta 0,36 ya que a partir de 0,40 la pasta es líquida y según la metodología una mezcla sin aditivos debe considerar una relación  $a/c$  de 0,32 a 0,40

#### 5. Contenido de agua

$$W \text{ agua} = \frac{a}{c} (W \text{ cem})$$

$$W \text{ agua} = 0,32 (390,99 \text{ kg})$$

$$W \text{ agua} = 125,12 \text{ kg}$$

#### 6. Contenido de agregado

$$W \text{ arena} = W \text{ húmedo} \times \% \text{ arena}$$

$$W \text{ arena} = 1594,04 \text{ kg} \times 0$$

$$W \text{ arena} = 0 \text{ kg}$$

$$W \text{ grava} = W \text{ húmedo}$$

$$W \text{ grava} = 1594,04 \text{ kg}$$

#### 7. Resumen de volumen de los materiales

$$V \text{ grava} = \frac{1594,04 \text{ kg}}{2657 \text{ kg/m}^3} = 0,5999 \text{ m}^3$$

$$V_{arena} = 0 \text{ m}^3$$

$$V_{cemento} = \frac{390,99 \text{ Kg}}{3130 \text{ kg/m}^3} = 0,12491 \text{ m}^3$$

$$V_{agua} = \frac{125,12 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,12512 \text{ m}^3$$

8. Volumen de la mezcla

$$V_s = 0,84993 \text{ m}^3$$

9. Corroborando % de vacios

$$\% \text{ vacios} = \frac{V_{total} - V_s}{V_{total}} \times 100$$

$$\% \text{ vacios} = \frac{1 \text{ m}^3 - 0,84993 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} \times 100$$

$$\% \text{ vacios} = 15$$

$$15 \% < 17 \%$$

(pero esta dentro del rango establecido para concreto permeable que es de 15 % a 35 %)

### **CONCRETO PERMEABLE CON PIEDRA CHANCADA HUSO 67 Y ADICIÓN DE 10 % DE AGREGADO FINO**

PASOS A SEGUIR:

1. Peso del agregado grueso.

$$W \text{ a seco} = P.U.C \text{ grava} \times \frac{b}{b_0} \times V_{total}$$

$$W \text{ a seco} = 1,519 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} \times 0,93 \times 1000000 \text{ cc}$$

$$W \text{ a seco} = 1412670 \text{ gr}$$

$$W \text{ a seco} = 1412,67 \text{ kg}$$

2. Ajuste del peso del agregado  $\frac{3}{4}$ "

$$W \text{ a húmedo} = W \text{ a seco} \times \% \text{ absorción}$$

$$W \text{ a húmedo} = 1412,67 \times 1,06$$

$$W \text{ a húmedo} = 1497,43 \text{ kg}$$

3. Volumen de Pasta

$$V \text{ pasta} = \% \text{ pasta} \times V_{\text{total}}$$

$$V \text{ pasta} = \% 25 \times 1 \text{ m}^3$$

$$V \text{ pasta} = 0,25 \text{ m}^3$$

#### 4. Contenido de cemento

$$V_{\text{pasta}} = V_{\text{cemento}} + V_{\text{agua}}$$

$$V_{\text{pasta}} = \frac{W_{\text{cem}}}{Y_{\text{cem}}} + \frac{W_{\text{agua}}}{Y_{\text{agua}}}$$

$$V_{\text{pasta}} = \frac{W_{\text{cem}}}{Y_{\text{cem}}} + \frac{\frac{a}{c} W_{\text{cem}}}{Y_{\text{agua}}}$$

$$W_{\text{cem}} = \frac{V_{\text{pasta}}}{\frac{1}{Y_{\text{cem}}} + \frac{\frac{a}{c}}{Y_{\text{agua}}}} + \frac{W_{\text{agua}}}{Y_{\text{agua}}}$$

$$W_{\text{cem}} = \frac{0,25 \text{ m}^3}{\frac{1}{3130 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + \frac{0,32}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

$$W_{\text{cem}} = 390,99 \text{ Kg}$$

#### 5. Contenido de agua

$$W_{\text{agua}} = \frac{a}{c} (W_{\text{cem}})$$

$$W_{\text{agua}} = 0,32 (390,99 \text{ kg})$$

$$W_{\text{agua}} = 125,12 \text{ kg}$$

#### 6. Contenido de agregado fino

$$W_{\text{arena}} = W_{\text{a húmedo}} \times \% \text{ arena}$$

$$W_{\text{arena}} = 1497,43 \text{ kg} \times 10 \%$$

$$W_{\text{arena}} = 149,74 \text{ kg}$$

$$W_{\text{grava}} = W_{\text{a húmedo}} \times (100 \% - \% \text{ arena})$$

$$W_{\text{grava}} = 1497,43 \text{ kg} \times (100 \% - 10 \%)$$

$$W_{\text{grava}} = 1347,69 \text{ kg}$$

#### 7. Resumen de volumen de los materiales

$$V_{\text{grava}} = \frac{1347,69 \text{ kg}}{2657 \text{ kg/m}^3} = 0,50722 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{arena}} = \frac{149,74 \text{ kg}}{2628 \text{ kg/m}^3} = 0,05698 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{cemento}} = \frac{390,99 \text{ Kg}}{3130 \text{ kg/m}^3} = 0,12491 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{125,12 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,12512 \text{ m}^3$$

8. Volumen de la mezcla

$$V_s = 0,81423 \text{ m}^3$$

9. Corroborando % de vacios

$$\% \text{ vacios} = \frac{V_{\text{total}} - V_s}{V_{\text{total}}} \times 100$$

$$\% \text{ vacios} = \frac{1 \text{ m}^3 - 0,81423 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} \times 100$$

$$\% \text{ vacios} = 18,58$$

18.58% > 17% (El % de vacios teórico establecido inicialmente dentro del rango)

### **CONCRETO PERMEABLE CON PIEDRA CHANCADA HUSO 67 Y ADICIÓN DE 20 % DE AGREGADO FINO**

1. Peso del agregado grueso (Recomendado en la tabla 6.1 del ACI 522R-10)  
b/bo : 0,86 para 20% de agregado fino)

$$W_{\text{a seco}} = P.U.C \text{ grava} \times \frac{b}{bo} \times V_{\text{total}}$$

$$W_{\text{a seco}} = 1,519 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} \times 0,86 \times 1000000 \text{cc}$$

$$W_{\text{a seco}} = 1306340 \text{ gr}$$

$$W_{\text{a seco}} = 1306,34 \text{ kg}$$

2. Ajuste del peso del agregado  $\frac{3}{4}$  "

$$W_{\text{a húmedo}} = W_{\text{a seco}} \times \% \text{ absorción}$$

$$W_{\text{a húmedo}} = 1306,34 \times 1,06$$

$$W_{\text{a húmedo}} = 1384,72 \text{ kg}$$

3. Volumen de Pasta

$$V_{\text{pasta}} = \% \text{ pasta} \times V_{\text{total}}$$

$$V_{\text{pasta}} = \% 25 \times 1 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{pasta}} = 0,25 \text{ m}^3$$

para un 17 % de vacíos teórico (Recomendado en la figura 6.2 y 6.3 del ACI 522R-10) con compactación ligera, el % de pasta será de 25 %

#### 4. Contenido de cemento

$$V_{pasta} = V_{cemento} + V_{agua}$$

$$V_{pasta} = \frac{W_{cem}}{Y_{cem}} + \frac{W_{agua}}{Y_{agua}}$$

$$V_{pasta} = \frac{W_{cem}}{Y_{cem}} + \frac{\frac{a}{c} W_{cem}}{Y_{agua}}$$

$$W_{cem} = \frac{V_{pasta}}{\frac{1}{Y_{cem}} + \frac{\frac{a}{c}}{Y_{agua}}} + \frac{W_{agua}}{Y_{agua}}$$

$$W_{cem} = \frac{0,25 \text{ m}^3}{\frac{1}{3130 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + \frac{0,32}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

$$W_{cem} = 390,99 \text{ Kg}$$

Por antecedentes de investigaciones iniciaremos con una relación a/c = 0,32 podemos aumentar hasta 0,36 ya que a partir de 0,40 la pasta es líquida y según la metodología una mezcla sin aditivos debe considerar una relación a/c de 0,32 a 0,40

#### 5. Contenido de agua

$$W_{agua} = \frac{a}{c} (W_{cem})$$

$$W_{agua} = 0,32 (390,99 \text{ kg})$$

$$W_{agua} = 125,12 \text{ kg}$$

#### 6. Contenido de agregado

$$W_{arena} = W_{a \text{ húmedo}} \times \% \text{ arena}$$

$$W_{arena} = 1384,72 \text{ kg} \times 20 \%$$

$$W_{arena} = 276,944 \text{ kg}$$

$$W_{grava} = W_{a \text{ húmedo}} \times (100 \% - \% \text{ arena})$$

$$W_{grava} = 1384,72 \text{ kg} \times 80 \%$$

$$W_{grava} = 1107,776 \text{ kg}$$

#### 7. Resumen de volumen de los materiales

$$V_{grava} = \frac{1107,776 \text{ kg}}{2657 \text{ kg/m}^3} = 0,41692 \text{ m}^3$$



$$V_{arena} = \frac{276,944 \text{ kg}}{2628 \text{ kg/m}^3} = 0,10538 \text{ m}^3$$

$$V_{cemento} = \frac{390,99 \text{ Kg}}{3130 \text{ kg/m}^3} = 0,12491 \text{ m}^3$$

$$V_{agua} = \frac{125,12 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,12512 \text{ m}^3$$

8. Volumen de la mezcla

$$V_s = 0,77233 \text{ m}^3$$

9. Corroborando % de vacios

$$\% \text{ vacios} = \frac{V_{total} - V_s}{V_{total}} \times 100$$

$$\% \text{ vacios} = \frac{1 \text{ m}^3 - 0,77233 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} \times 100$$

$$\% \text{ vacios} = 22,77$$

$$22,77 \% > 17 \%$$

(pero esta dentro del rango establecido para concreto permeable que es de 15 % a 35 %)

## Anexo 22. MATRIZ DE CONSISTENCIA

### “INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO Y PIEDRA CHANCADA HUSO 67 EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA VÍAS URBANAS, TACNA, 2022”

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿Cómo influye la adición de agregado fino y piedra chancada huso 67 de la Cantera Arunta en las propiedades del concreto permeable para vías urbanas en Tacna?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <p><b>P.E.1.</b> ¿Cuáles son las características granulométricas, físicas y químicas del agregado fino y piedra chancada huso 67 de la Cantera Arunta para ser empleados en el diseño de concreto permeable para vías urbanas?</p> <p><b>P.E.2.</b> ¿De qué manera influye la adición de agregado fino en diferentes porcentajes en la resistencia a la compresión del concreto permeable para vías urbanas?</p> <p><b>P.E.3.</b> ¿De qué manera influye el empleo de piedra chancada huso 67 en la permeabilidad del concreto permeable para vías urbanas?</p> <p><b>P.E.4.</b> ¿Cuál es la diferencia de los costos unitarios para la elaboración de un m<sup>3</sup> de concreto permeable en comparación con un m<sup>3</sup> de concreto convencional?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Determinar cómo influye la adición de agregado fino y piedra chancada huso 67 de la Cantera Arunta en las propiedades del concreto permeable para vías urbanas en Tacna.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <p><b>O.E.1.</b> Determinar las características granulométricas, físicas, químicas del agregado fino y piedra chancada huso 67 de la Cantera Arunta para ser empleados en el diseño de concreto permeable para vías urbanas.</p> <p><b>O.E.2.</b> Determinar qué manera influye la adición de agregado fino en diferentes porcentajes en la resistencia a la compresión del concreto permeable para vías urbanas.</p> <p><b>O.E.3.</b> Determinar de qué manera influye el empleo de piedra chancada huso 67 en la permeabilidad del concreto permeable para vías urbanas.</p> <p><b>O.E.4.</b> Realizar la evaluación de los costos unitarios de concreto permeable y de concreto convencional con similares características y uso.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>Con la adición de agregado fino en 20 % se logrará un mejor comportamiento y equilibrio en la relación resistencia / permeabilidad del concreto permeable para vías urbanas en Tacna.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p><b>H.E.1.</b> El agregado fino y piedra chancada huso 67 de la Cantera Arunta tendrán características adecuadas para ser empleados en el diseño de concreto permeable para vías urbanas.</p> <p><b>H.E.2.</b> La adición de agregado fino en 20% logrará mejorar significativamente la resistencia a la compresión del concreto permeable en comparación a los otros porcentajes para vías urbanas.</p> <p><b>H.E.3.</b> El empleo de piedra chancada huso 67, tendrá un buen comportamiento en la permeabilidad del concreto permeable para vías urbanas.</p> <p><b>H.E.4.</b> El concreto permeable generará menores costos que el concreto convencional.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>Porcentaje de agregado fino</p> <p>Porcentaje de piedra chancada huso 67</p> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>Propiedades del concreto permeable</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 %</li> <li>• 10 %</li> <li>• 20 %</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 100 %</li> <li>• 90 %</li> <li>• 80 %</li> </ul> <p><b>En estado fresco:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asentamiento (pulgadas)</li> </ul> <p><b>En estado endurecido:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a la compresión f'c (Kg/cm<sup>2</sup>)</li> <li>• Coeficiente de permeabilidad (cm/s)</li> <li>• Infiltración l/min/m<sup>2</sup></li> <li>• Densidad</li> <li>• Absorción</li> <li>• Porcentaje de vacíos</li> </ul>	<p>ASTM 642</p> <p>NTP 339.034-15 ASTM C39 y NTP 339.034. ACI 522R-10.</p> <p>ASTM C 128 ASTM C29/ 29M</p>

METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA	CONSIDERACIONES ÉTICAS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ANÁLISIS ESTADÍSTICO
<p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> Investigación Aplicada</p> <p><b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b> Explicativo</p> <p><b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b> Experimental, debido a la manipulación intencional de variables para cumplir el objetivo general y los objetivos específicos</p>	<p><b>MUESTRA</b> Cuantificar el agregado fino, piedra chancada huso 67, cemento y agua</p> <p>27 probetas de concreto permeable de 150 mm de diámetro por 300 mm de alto</p> <p>09 probetas de concreto permeable de 100 mm de diámetro por 200 mm de alto</p> <p>03 losas circulares de 450 mm de diámetro por 100 mm de alto</p> <p><b>TIPO DE MUESTREO</b> No Probabilístico</p>	<p>Los aspectos éticos se reflejarán en la citación de todas las investigaciones que se tomarán como referencia para el desarrollo de la tesis, así como la presentación de los ensayos debidamente firmados por el técnico laboratorista del lugar donde se realizarán. A ello se sumará la evidencia fotográfica del desarrollo de la presente tesis.</p>	<p>BEHAR (2008), nos dice que la Técnica en toda investigación es notable, y que dichos desarrollos nos permitirán cerciorarnos el problema que hemos propuesto. Realizaremos la investigación mediante la técnica de observación directa.</p> <p>Para la implementación de ensayos en laboratorio y análisis de resultados con:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formatos de análisis granulométrico por tamizado ASTM C33-83 y NTP 339.090.</li> <li>• Formatos del ensayo de abrasión con Máquina de los ángeles, ASTM C131.</li> <li>• Formatos del ensayo peso específico ASTM C 128.</li> <li>• Formatos para absorción ASTM C 128.</li> <li>• Formatos del ensayo de peso unitario y porcentaje de vacíos ASTM C29/ 29M.</li> <li>• Formatos del ensayo de permeabilidad, ASTM C131.</li> <li>• Formatos de control de resistencia a la compresión.</li> <li>• Formatos de control de Coeficiente de permeabilidad.</li> </ul>	<p>Para el diseño experimental de mezclas se utilizó el software IBM SPSS statistics 25 y el software Excel 2019 para probar el diseño con las mejores características y comportamiento de resistencia y permeabilidad, los resultados obtenidos se analizaron con tablas y gráficos.</p>