

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Uso de pavimentos permeables para la mitigación de desastres en la
ciudad de Casma**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTORES:

Bach. Cruz Silva, Tania Makely

Bach. Paredes de la Cruz, Giancarlo Javier

ASESOR:

Dr. León Bobadilla, Abner Itamar

DNI .32942184

Código ORCID. 0000-0003-2949 6591

NUEVO CHIMBOTE –PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Uso de pavimentos permeables para la mitigación de desastres en la ciudad de
Casma”**

**INFORME FINAL DE TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

REVISADO Y APROBADO POR:

Dr. Abner Itamar León Bobadilla

Asesor

DNI: 32942184

ORCID: 0000-0003-2949-6591

NUEVO CHIMBOTE –PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Uso de pavimentos permeables para la mitigación de desastres en la ciudad de
Casma”**

**INFORME FINAL DE TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

REVISADO Y APROBADO POR LOS SIGUIENTES JURADOS:

Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Presidente
DNI: 32770844
ORCID: 0000-0002-4180-9362

Dr. Atilio Rubén López Carranza
Secretario
DNI: 32965940
ORCID: 0000-0002-3631-2001

Dr. Abner Itamar León Bobadilla
Integrante
DNI: 32942184
ORCID: 0000-0003-2949-6591

NUEVO CHIMBOTE –PERÚ

2025



FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil
- EPIC -

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 13 días del mes de octubre del año dos mil veinticinco, siendo las 18:00 horas, en el Laboratorio de Topografía del edificio de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 483-2025-UNS-CFI, con fecha 03.09.2025, integrado por los siguientes docentes: **Ms. Julio César Rivasplata Díaz** (Presidente), **Dr. Atilio Rubén López Carranza** (Secretario), **Dr. Abner Itamar León Bobadilla** (Integrante), **Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla** (Accesitaria), en base a la Resolución Decanal N° 693-2025-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: “**USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA**”, presentado por los Bachilleres **PAREDES DE LA CRUZ GIANCARLO JAVIER** con cód. N° 0201513036 y **CRUZ SILVA TANIA MAKELY** con cód. N° 0201413016, quienes fueron asesorados por el docente **Dr. Abner Itamar León Bobadilla** según lo establece la T. Resolución Decanal N° 877-2023-UNS-FI, de fecha 22.12.2023.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
PAREDES DE LA CRUZ GIANCARLO JAVIER	16	REGULAR

Siendo las 19:00 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 13 de octubre de 2025.


Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Presidente
Dr. Atilio Rubén López Carranza
Secretario
Dr. Abner Itamar León Bobadilla
Integrante



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil
- EPIC -

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 13 días del mes de octubre del año dos mil veinticinco, siendo las 18:00 horas, en el Laboratorio de Topografía del edificio de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 483-2025-UNS-CFI, con fecha 03.09.2025, integrado por los siguientes docentes: Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Presidente), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Secretario), Dr. Abner Itamar León Bobadilla (Integrante), Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Accesitaria), en base a la Resolución Decanal N° 693-2025-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: “USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA”, presentado por los Bachilleres PAREDES DE LA CRUZ GIANCARLO JAVIER con cód. N° 0201513036 y CRUZ SILVA TANIA MAKELY con cód. N° 0201413016, quienes fueron asesorados por el docente Dr. Abner Itamar León Bobadilla según lo establece la T. Resolución Decanal N° 877-2023-UNS-FI, de fecha 22.12.2023.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
CRUZ SILVA TANIA MAKELY	16	REGULAR

Siendo las 19:00 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 13 de octubre de 2025.


Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Presidente


Dr. Atilio Rubén López Carranza
Secretario


Dr. Abner Itamar León Bobadilla
Integrante

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
Rectorado: Av. Pacífico N° 508 – Urb. Buenos Aires
Campus Universitario: Av. Universitaria s/n – Urb. Bellamar
Central telefónica: (51)-43-310445 - Nuevo Chimbote – Ancash – Perú

www.uns.edu.pe



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: Giancarlo Javier Paredes De La Cruz
Título del ejercicio: USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACION DE ...
Título de la entrega: Uso de pavimentos permeables para la mitigacion de desastre...
Nombre del archivo: turnitin.docx
Tamaño del archivo: 6.27M
Total páginas: 75
Total de palabras: 13,309
Total de caracteres: 73,518
Fecha de entrega: 17-oct-2025 09:11a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2784021540

I. INTRODUCCIÓN

Uso de pavimentos permeables para la mitigación de desastres en la ciudad de casma

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	18%	4%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
3	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
5	issuu.com Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Nacional de Trujillo Trabajo del estudiante	<1%
9	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1%
10	Eduardo García Haba. "Análisis del comportamiento hidráulico y ambiental a largo plazo de pavimentos permeables y de su potencial para el control de microplásticos en la gestión avanzada de escorrentías"	<1%

DEDICATORIA

Dedico este logro a mis padres, Javier Paredes y Lily de la Cruz, por ser mi mayor inspiración y el ejemplo vivo de que el esfuerzo, la perseverancia y el amor pueden abrir cualquier camino. Gracias por cada sacrificio silencioso, por cada palabra de aliento y por enseñarme que los sueños se alcanzan con trabajo y fe. A mis abuelos, tíos y primos, gracias por estar siempre ahí para sostenerme en los momentos difíciles y celebrar conmigo cada pequeño logro, por su paciencia, apoyo incondicional y por recordarme siempre quién soy y de dónde vengo.

PAREDES DE LA CRUZ, Giancarlo Javier

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi mamá, Marina Silva, por ser mi mayor inspiración y el ejemplo más claro de que el esfuerzo, la perseverancia y el amor pueden abrir cualquier camino. Gracias por cada sacrificio, por tus palabras de aliento y por enseñarme que los sueños se alcanzan con dedicación y valentía.

A mis abuelos, Francisco y Josefa, por su cariño incondicional, por su apoyo constante y por mostrarme, con su vida, que la perseverancia y la unión familiar son la fuerza más grande para salir adelante. Este logro también es de ustedes, porque con su amor y ejemplo han sido el motor que me impulsó a seguir hasta llegar aquí.

CRUZ SILVA, Tania Makely

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy gracias a Dios por guiarme y sostenerme incluso en los momentos más difíciles, por darme la fortaleza y la claridad para seguir adelante.

A mis padres, que siempre creyeron en mí y me brindaron su apoyo incondicional, siendo mi motor y mi refugio en este camino.

A mi docente y asesor de tesis, por su paciencia, orientación y valiosas sugerencias que hicieron posible el desarrollo de este trabajo.

A cada persona que, de una u otra manera, fue parte de este proceso, les expreso mi sincera gratitud. Sé que no fue casualidad que Dios los pusiera en mi vida en este momento tan importante.

PAREDES DE LA CRUZ, Giancarlo Javier

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida, por ser mi fortaleza y motivación en cada etapa de este camino. Gracias por permitirme llegar hasta este momento y cumplir uno de mis grandes sueños.

A mi madre, **Marina Silva Macalupú**, por su esfuerzo y sacrificio para que yo pudiera estudiar y crecer como persona y profesional. Cada logro alcanzado es también suyo, porque detrás de cada paso que doy está su amor y su ejemplo de superación.

A mi asesor, por su orientación y valiosa contribución a este trabajo, brindándome su tiempo y conocimiento de manera desinteresada

CRUZ SILVA, Tania Makely

ÍNDICE

DEDICATORIA	viii
DEDICATORIA	ix
AGRADECIMIENTO	x
AGRADECIMIENTO	xi
ÍNDICE	xii
RESUMEN	xxx
ABSTRACT	xxxi
1. Introducción.....	33
1.1 Descripción del problema.....	33
1.2 Formulación del problema.....	34
1.2.1 Problema General	34
1.2.2 Problemas Específicos	34
1.3 Objetivos.....	34
1.3.1 Objetivo General.....	34
1.3.2 Objetivos Específicos	35
1.4 Formulación de la Hipótesis	35
1.5 Justificación e Importancia	35
1.5.1 Justificación Técnica	36
1.5.2 Justificación Económica	36

1.5.3 Justificación Social	37
1.6 Limitación del trabajo.....	37
1.6.1 Limitación Espacial	37
1.6.2 Limitación Temporal	37
2. Marco teórico.....	39
2.1 Antecedentes.....	39
2.1.1 Internacional	39
2.1.2 Nacional.....	40
2.1.3 Local.	41
2.2 Marco Conceptual.....	41
2.2.1 Concreto Permeable.....	41
2.2.2 Propiedades del Concreto Permeable.	42
2.2.2.1 Resistencia.....	42
2.2.2.1.1 Resistencia a la compresión.....	42
2.2.2.1.2 Resistencia a la flexión.....	43
2.2.2.2 Módulo de Elasticidad.....	44
2.2.2.3 Contracción.	44
2.2.2.4 Permeabilidad.....	44
2.2.2.5 Porcentaje de Vacíos.	45
2.2.3 Diseño de Mezcla	46
2.2.4 Norma ACI 522R-10	46
2.2.5 Drenaje Pluvial.	47
2.2.6 Relación entre infiltración, escorrentía y mitigación de desastres	48
2.2.7 Comportamiento hidráulico de pavimentos permeables	48

2.2.8 Importancia del mantenimiento de los pavimentos permeables	49
3. Metodología.....	51
3.1 De acuerdo al enfoque.	51
3.2 Alcance	51
3.3 Diseño de la investigación.....	52
3.4 Población	52
3.5 Muestra	52
3.6 Variables de estudio.....	54
3.6.1 Variable Independiente	54
3.6.2 Variable Dependiente	54
3.7 Operacionalización o categorización de la variable	54
3.7.1 Definición conceptual de la variable	54
3.7.1.1 Variable independiente.....	54
3.7.1.1.3 Diseño de estructura de pavimento permeable	54
3.7.1.2 Variable Dependiente	54
3.7.1.2.1 Mitigación de desastres	54
3.7.2 Definición conceptual de la variable	54
3.7.2.1 Variable independiente.....	54
3.7.2.1.1 Diseño de estructura de pavimento permeable	54
3.7.2.2 Variable Dependiente	55
3.7.2.2.1 Mitigación de desastres	55
3.8 Técnicas e Instrumento de Recolección de Datos	55
3.8.1 Técnicas	55
3.8.1.1 Experimentación.....	55
3.8.1.2 Observación.....	55

3.8.2 Instrumento de Recolección de Datos	55
3.8.2.1 Ensayo de resistencia a la compresión (NTP 339.034)	56
3.8.2.2 Ensayo de capacidad de infiltración (ACI 522R-10).....	56
3.8.2.3 Exploración de suelos (Manual de Carreteras, MTC)	57
3.8.2.4 Conteo vehicular clasificado	57
4. Resultados y discusión.....	59
4.1 Identificación de las zonas de uso del pavimento rígido permeable según las condiciones de tráfico	59
4.1.1 Análisis del tráfico vehicular	61
4.2 Diseño estructural del pavimento rígido permeable según ACI 522R-10.....	71
4.2.1 Caracterización del transito	71
4.2.2 Caracterización del suelo	72
4.2.3 Características de materiales y mezcla	73
4.2.4 Determinación de espesores de capa	74
4.2.4.1 Esquema de la estructura del Pavimento Permeable Propuesto	75
Figura 7. <i>Estructura de Pavimento Rígido Permeable</i>	75
4.2.5 Ensayo de Infiltración del concreto permeable	75
4.2.6 Recomendaciones constructivas	77
4.3 Propuesta de diseño del sistema de drenaje pluvial complementario.....	78
4.3.1 Datos pluviométricos como base del diseño.....	78
4.3.2 Máximos diarios anuales de precipitación.....	82
4.3.3 Curva Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) Regional.....	83
4.3.4 Determinación del tiempo de concentración y de la intensidad de diseño	85
4.3.4.1 Determinación del tiempo de concentración usando la fórmula de Kirpich	85

$Tc = 0.01947 \cdot L^{0.77} \cdot S - 0.385$	85
Datos:	86
$L = 320.51 \text{ m}$	86
$S = 0.0133 \text{ m/m}$	86
$Tc = 0.01947 \cdot 320.51^{0.77} \cdot 0.0133 - 0.385$	86
$Tc = 0.01947 \cdot 79.3 \cdot 5.28$	86
$Tc = 8.74 \approx 9 \text{ minutos} = 0.15 \text{ h}$	86
4.3.5 Cálculo del caudal de diseño	86
4.3.6 Cálculo de diámetro de tubería	88
4.3.7 Verificación de velocidad	90
Después de elegir el diámetro, calcularemos la velocidad de flujo:.....	90
4.3.8 Excavación y profundidad de instalación	91
4.3.9 Cajas de Inspección	92
4.3.10 Estructura de descarga del drenaje pluvial.	93
4.4 Discusión de resultados	96
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
5.1 CONCLUSIONES.....	99
5.2 Recomendaciones	101
6. Referencias bibliográficas	104
7. Anexos.	108
7.1 Anexo 1.....	108
7.2 Anexo 2.....	109
7.3 Anexo 3.....	110
7.4 Anexo 4.....	111

7.5 Anexo 5.....	112
7.6 Anexo 6.....	113
7.7 Anexo 7.....	114
7.8 Anexo 8.....	115
7.9 Anexo 9.....	159
7.10 Anexo 10.....	203
7.11 Anexo 11.....	204

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Relación general entre vacíos, resistencia y permeabilidad</i>	45
Tabla 2. <i>Conteo y clasificación vehicular</i>	62
Tabla 3. <i>Conteo y clasificación vehicular</i>	62
Tabla 4. <i>Conteo y clasificación vehicular</i>	63
Tabla 5. <i>Índice medio diario</i>	64
Tabla 6. <i>Índice medio semanal (IMDS)</i>	65
Tabla 7. <i>Factor de corrección para vehículos livianos y pesados</i>	66
Tabla 8. <i>Índice Medio Diario Anual (IMAD)</i>	67
Tabla 9. <i>Tasas anuales de crecimientos para vehículos pesados y livianos</i>	68
Tabla 10. <i>IMDa 2029</i>	68
Tabla 11. <i>Factor de Equivalencia de carga y F.IMDa</i>	69
Tabla 12. <i>ESAL Pavimento Rígido</i>	70
Tabla 13. <i>Propiedades de la subrasante en la zona de estudio</i>	73
Tabla 14. <i>Resultados del ensayo de infiltración</i>	76
Tabla 15. <i>Máximos diarios anuales (mm/día)</i>	82
Tabla 16. <i>Resultados del caudal de diseño según TR y coeficiente de escorrentía para un $t=0.1667$ h</i>	87

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Esquema de funcionamiento del pavimento permeable</i>	42
Figura 2. <i>Llenado de probetas para el ensayo de compresión de concreto</i>	43
Figura 3. <i>Esquema del ensayo de compresión de concreto</i>	43
Figura 4. <i>Número de calicatas para exploración del suelo</i>	53
Figura 6. <i>Vehículos por día (v/d)</i>	64
Figura 8. <i>Precipitación total año 2020</i>	79
Figura 9. <i>Precipitación total año 2021</i>	79
Figura 10. <i>Precipitación total año 2022</i>	80
Figura 11. <i>Precipitación total año 2023</i>	80
Figura 12. <i>Precipitación total año 2024</i>	81
Figura 13. <i>Precipitación total año 2025</i>	81
Figura 14. <i>Curva IDF-Regional para Casma (Escenario Histórico)</i>	84
Figura 15. <i>Esquema de excavación de zanja para tubería</i>	92
Figura 16. <i>Esquema de caja de inspección para drenaje pluvial</i>	93
Figura 17. <i>Descarga final del sistema de drenaje pluvial</i>	94
Figura 18. <i>Esquema del sistema de drenaje pluvial del AA.HH. Cuncan, con descarga única hacia el río Sechín</i>	95
Figura 19. <i>Factores de corrección por unidad de peaje/ vehículos ligeros</i>	108
Figura 20. <i>Factores de corrección por unidad de peaje/ vehículos pesados</i>	109
Figura 21. <i>Tasa de crecimiento de Vehículos Ligeros (a) y Vehículos Pesados (b)</i>	110

Figura 22. Factores de Distribución Direccional y de Carril para determina el Tránsito en el Carril de Diseño	111
Figura 23. Relación para determinar EE – Pavimento Rígido.....	112
Figura24. Intensidades de precipitación, para diferentes duraciones y periodos de retorno	113
Figura 25. Análisis granulométrico por tamizado C-1.....	115
Figura 26. Análisis granulométrico por tamizado C-2.....	116
Figura 27. Análisis granulométrico por tamizado C-3.....	117
Figura 28. Ensayo de Proctor estándar C-1.....	118
Figura 29. Ensayo de Proctor estándar C-2.....	119
Figura 30. Ensayo de Proctor estándar C-3.....	120
Figura 31. Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO-CBR C-1-parte 1.....	121
Figura 32. Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO-CBR C-1-parte 2.....	122
Figura 33. Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO-CBR C-2-parte 1.....	123
Figura 34. Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO-CBR C-2-parte 2.....	124
Figura 35. Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO-CBR C-3-parte 1.....	125
Figura 36. Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO-CBR C-3-parte 2.....	126
Figura 37. Registro de excavaciones C-1.	127
Figura 38. Registro de excavaciones C-2.	128
Figura 39. Registro de excavaciones C-3.	129
Figura 40. Análisis granulométrico de piedra chancada.	130
Figura 41. Análisis granulométrico de arena gruesa.	131

Figura 42. Gravedad específica y absorción de agregado grueso.	132
Figura 43. Gravedad específica y absorción de agregado fino.....	132
Figura 44. Contenido de humedad en agregado fino y grueso.....	133
Figura 45. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 15% de vacíos-parte 1.	134
Figura 46. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 15% de vacíos-parte 2.	135
Figura 47. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 20% de vacíos-parte 1.	136
Figura 48. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 20% de vacíos-parte 2.	137
Figura 49. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 25% de vacíos-parte 1.	138
Figura 50. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 25% de vacíos-parte 2.	139
Figura 51. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 30% de vacíos-parte 1.	140
Figura 52. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 30% de vacíos-parte 2.	141
Figura 53. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 35% de vacíos-parte 1.	142
Figura 54. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 35% de vacíos-parte 2.	143
Figura 55. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 15% de vacíos a los 7 días.....	144
Figura 56. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 20% de vacíos a los 7 días.....	145
Figura 57. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 25% de vacíos a los 7 días.....	146
Figura 58. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 30% de vacíos a los 7 días.....	147
Figura 59. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 35% de vacíos a los 7 días.....	148

Figura 60. <i>Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 15% de vacíos a los 14 días.....</i>	149
Figura 61. <i>Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 20% de vacíos a los 14 días.....</i>	150
Figura 62. <i>Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 25% de vacíos a los 14 días.....</i>	151
Figura 63. <i>Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 30% de vacíos a los 14 días.....</i>	152
Figura 64. <i>Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 35% de vacíos a los 14 días.....</i>	153
Figura 65. <i>Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 15% de vacíos a los 28 días.....</i>	154
Figura 66. <i>Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 20% de vacíos a los 28 días.....</i>	155
Figura 67. <i>Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 25% de vacíos a los 28 días.....</i>	156
Figura 68. <i>Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 30% de vacíos a los 28 días.....</i>	157
Figura 69. <i>Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 35% de vacíos a los 28 días.....</i>	158

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. <i>Cálculo del caudal mediante fórmula racional</i>	47
Ecuación 2. <i>Tasa de infiltración</i>	56
Ecuación 3. <i>Índice medio semanal</i>	65
Ecuación 4. <i>Índice medio diario anual</i>	66
Ecuación 5. <i>Transito proyectado al año</i>	67
Ecuación 6. <i>La fórmula de Kirpich es:</i>	85
Ecuación 7. <i>Fórmula racional:</i>	86
Ecuación 8. <i>Ecuación de Manning</i>	88
Ecuación 9: <i>Cálculo de S</i>	89
Ecuación 10. <i>Velocidad de flujo:</i>	90
Ecuación 11. <i>Cálculos realizados para obtención del ESAL</i>	114

LISTA DE FOTOS

Foto 1. <i>Calicata 1</i>	159
Foto 2. <i>Calicata 2</i>	159
Foto 3. <i>Calicata 3</i>	160
Foto 4. <i>Cuarteo del Agregado Fino</i>	160
Foto 5. <i>Llenado de las muestras</i>	161
Foto 6. <i>Peso de la muestra</i>	161
Foto 7. <i>Secado de muestras</i>	162
Foto 8. <i>Vaciado de la muestra</i>	162
Foto 9. <i>Tamizaje</i>	163
Foto 10. <i>Tamizaje – C1</i>	163
Foto 11. <i>Humedeciendo la muestra – C1</i>	164
Foto 12. <i>Peso del recipiente vacío</i>	164
Foto 13. <i>Compactación del agregado</i>	165
Foto 14. <i>Peso del recipiente lleno</i>	165
Foto 15. <i>Medición del recipiente</i>	166
Foto 16. <i>Peso del recipiente lleno</i>	166
Foto 17. <i>Secado de la muestra</i>	167
Foto 18. <i>Secado de la muestra</i>	167
Foto 19. <i>Compactación de la muestra</i>	168

Foto 20. <i>Prueba del cono</i>	168
Foto 21. <i>Proctor – C1</i>	169
Foto 22. <i>Proctor – C2</i>	169
Foto 23. <i>Proctor – C3</i>	170
Foto 24. <i>CBR – C1</i>	170
Foto 25. <i>CBR – C1</i>	171
Foto 26. <i>CBR – C2</i>	171
Foto 27. <i>CBR – C3</i>	172
Foto 28. <i>CBR – C3</i>	172
Foto 29. <i>Cuarteo del Agregado Grueso</i>	173
Foto 30. <i>Tamizaje</i>	173
Foto 31. <i>Separación de mallas</i>	174
Foto 32. <i>Humedeciendo la muestra</i>	174
Foto 33. <i>Peso de la muestra</i>	175
Foto 34. <i>Peso del recipiente vacío</i>	175
Foto 35. <i>Compactación del agregado</i>	176
Foto 36. <i>Peso del recipiente lleno</i>	176
Foto 37. <i>Medición del recipiente</i>	177
Foto 38. <i>Secado de la muestra</i>	177
Foto 39. <i>Pesado de la muestra</i>	178
Foto 40. <i>Peso de la muestra sumergida en agua</i>	178

Foto 41. <i>Secado de muestras</i>	179
Foto 42. <i>Vaciado de agregados</i>	179
Foto 43. <i>Vaciado de agua</i>	180
Foto 44. <i>Mezcla del concreto</i>	180
Foto 45. <i>Compactación del concreto en las probetas</i>	181
Foto 46. <i>Probetas con 15% de porcentaje de vacío</i>	181
Foto 47. <i>Probetas con 20% de porcentaje de vacío</i>	182
Foto 48. <i>Probetas con 25% de porcentaje de vacío</i>	182
Foto 49. <i>Probetas con 30% de porcentaje de vacío</i>	183
Foto 50. <i>Probetas con 35% de porcentaje de vacío</i>	183
Foto 51. <i>Probeta 1 – 15% de vacío</i>	184
Foto 52. <i>Probeta 2 – 15% de vacío</i>	184
Foto 53. <i>Probeta 1 – 20% de vacío</i>	185
Foto 54. <i>Probeta 2 – 20% de vacío</i>	185
Foto 55. <i>Probeta 1 – 25% de vacío</i>	186
Foto 56. <i>Probeta 2 – 25% de vacío</i>	186
Foto 57. <i>Probeta 1 – 30% de vacío</i>	187
Foto 58. <i>Probeta 2 – 30% de vacío</i>	187
Foto 59. <i>Probeta 1 – 35% de vacío</i>	188
Foto 60. <i>Probeta 2 – 35% de vacío</i>	188
Foto61 <i>Probeta 1 – 15% de vacío</i>	189

Foto 62. <i>Probeta 2 – 15% de vacío</i>	189
Foto 63. <i>Probeta 1 – 20% de vacío</i>	190
Foto 64. <i>Probeta 2 – 20% de vacío</i>	190
Foto 65. <i>Probeta 1 – 25% de vacío</i>	191
Foto 66. <i>Probeta 2 – 25% de vacío</i>	191
Foto 67. <i>Probeta 1 – 30% de vacío</i>	192
Foto 68. <i>Probeta 2 – 30% de vacío</i>	192
Foto 69. <i>Probeta 1 – 35% de vacío</i>	193
Foto 70. <i>Probeta 2 – 35% de vacío</i>	193
Foto 71. <i>Probeta 1 – 20% de vacío</i>	194
Foto 72. <i>Probeta 2 – 20% de vacío</i>	194
Foto 73. <i>Probeta 1 – 25% de vacío</i>	195
Foto 74. <i>Probeta 2 – 25% de vacío</i>	195
Foto 75. <i>Probeta 1 – 30% de vacío</i>	196
Foto 76. <i>Probeta 2 – 30% de vacío</i>	196
Foto 77. <i>Probeta 1 – 35% de vacío</i>	197
Foto 78. <i>Probeta 2 – 35% de vacío</i>	197
Foto 79. <i>Prueba de escorrentia superficial con concreto 15% vacío</i>	198
Foto 80. <i>Prueba de escorrentia superficial con concreto 20% vacío</i>	198
Foto 81. <i>Prueba de escorrentia superficial con concreto 25% vacío</i>	199
Foto 82. <i>Prueba de escorrentia con concreto 30% vacío</i>	199

Foto 83. <i>Prueba de escorrentia superficial con concreto 35% vacío</i>	200
Foto 84. <i>Prueba de infiltración con concreto 15% vacío</i>	200
Foto 85. <i>Prueba de infiltración con concreto 20% vacío</i>	201
Foto 86. <i>Prueba de infiltración con concreto 25% vacío</i>	201
Foto 87. <i>Prueba de infiltración con concreto 30% vacío</i>	202
Foto 88. <i>Prueba de infiltración con concreto 35% vacío</i>	202

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Factores de corrección por unidad de peaje/ vehículos ligeros.....	108
Anexo 2. Factores de corrección por unidad de peaje/ vehículos pesados	109
Anexo 3. Tasa de crecimiento de vehículos ligeros y pesados.....	110
Anexo 4. Factores de distribución direccional y de carril para determina el tránsito en el carril de diseño	111
Anexo 5. Relación para determinar EE – Pavimento Rígido	112
Anexo 6. Intensidades de precipitación, para diferentes duraciones y periodos de retorno	113
Anexo 7. Cálculos realizados para obtención del ESAL	113
Anexo 8. Ensayos	115
Anexo 9. Panel Fotográfico	159
Anexo 10. Presupuesto de pavimento permeable.....	203
Anexo 11. Plano General del Sistema de drenaje pluvial con curvas de nivel	204

RESUMEN

La presente investigación evalúa el uso de pavimentos rígidos permeables como medida para la mitigación de desastres pluviales en la ciudad de Casma, considerando el incremento de precipitaciones derivado del cambio climático y sus efectos en la infraestructura vial. Se planteó un estudio experimental aplicado con enfoque cuantitativo, comparando cinco mezclas de concreto permeable con porcentajes de vacíos de 15%, 20%, 25%, 30% y 35%, evaluando su resistencia a compresión y capacidad de infiltración según la norma ACI 522R-10 y la Norma Técnica Peruana.

Los resultados de laboratorio evidenciaron que la mezcla con 25% de vacíos alcanzó el mejor equilibrio entre resistencia ($\approx 100 \text{ kg/cm}^2$) y permeabilidad, siendo óptima para tránsito vehicular liviano (TP1). La subrasante natural de tipo arenosa presentó un CBR superior al 30%, garantizando su idoneidad como soporte sin estabilización adicional.

Con base en estos resultados, se diseñó un pavimento permeable con capa superficial de 15 cm y base drenante de 25 cm, complementado con un sistema de drenaje pluvial para manejar excedentes de escorrentía, con descarga controlada hacia el río Sechín. El caudal de diseño estimado fue de 151.2 L/s.

La propuesta demuestra ser técnicamente viable y replicable en zonas urbanas con características similares, ofreciendo una solución sostenible que mejora el drenaje urbano, reduce el riesgo de inundaciones y fortalece la resiliencia frente a eventos de lluvia intensa.

Palabras clave. pavimento permeable, drenaje pluvial, mitigación de desastres, capacidad de infiltración, resistencia a compresión, Casma.

ABSTRACT

This research evaluates the use of rigid permeable pavements as a measure to mitigate pluvial disasters in the city of Casma, considering the increase in rainfall due to climate change and its effects on road infrastructure. An applied experimental study with a quantitative approach was carried out, comparing five pervious concrete mixtures with void ratios of 15%, 20%, 25%, 30%, and 35%, assessing their compressive strength and infiltration capacity according to ACI 522R-10 and the Peruvian Technical Standard.

Laboratory results showed that the 25% void mixture achieved the best balance between strength ($\approx 100 \text{ kg/cm}^2$) and permeability, making it optimal for light traffic (TP1). The natural sandy subgrade presented a CBR above 30%, ensuring its suitability as support without additional stabilization.

Based on these results, a permeable pavement was designed with a 15 cm surface layer and a 25 cm drainage base, complemented by a stormwater drainage system to handle runoff surplus, with a controlled discharge to the Sechín River. The estimated design flow was 151.2 L/s.

The proposal proves technically viable and replicable in similar urban areas, offering a sustainable solution that improves urban drainage, reduces flood risk, and strengthens resilience to intense rainfall events.

Keywords. permeable pavement, stormwater drainage, disaster mitigation, infiltration capacity, compressive strength, Casma.

I. INTRODUCCIÓN

1. Introducción

1.1 Descripción del problema.

A nivel mundial el uso de pavimentos permeables se ha hecho más común debido a que son adecuados para el manejo del agua lluvia (drenaje urbano sostenible), estos permiten su aprovechamiento y que esta no perjudique la propia estructura del pavimento.

En Perú en los últimos años el cambio climático ha generado el aumento de precipitaciones, lo cual trajo en el año 2017 en la Ciudad de Casma el desborde del Rio Sechin que afecto a los Asentamientos Humanos que están en su ladera, generando pérdidas materiales, daños en los pavimentos y el colapso parcial del sistema de drenaje.

En la actualidad, la gestión del agua de lluvia en áreas urbanas es un desafío debido a la impermeabilidad de las superficies tradicionales de pavimento, lo cual contribuye a la escorrentía y al riesgo de inundaciones. Los sistemas de drenaje sostenible, como los pavimentos permeables, se proponen como una solución viable para mitigar estos problemas ambientales.

Según Artica Salazar y De La Cruz Cruz (2023), los pavimentos permeables no solo permiten una mejor infiltración del agua, sino que también reducen la contaminación del agua al permitir que el agua de lluvia se filtre a través de la superficie, disminuyendo así el volumen de escorrentía.

Es por ello que esta investigación pretende realizar un análisis comparativo de 5 tipos de pavimentos permeables con diferentes tipos de % de vacíos para conocer cuál será el más óptimo. Esto será de utilidad para profesionales y población en general de la Ciudad de Casma debido al aumento de las precipitaciones pluviales.

1.2 Formulación del problema

La ciudad de Casma es susceptible al incremento de precipitaciones debido al cambio climático, lo cual genera inundaciones en los Asentamientos Humanos que se encuentran alrededor del Río Sechin ya que existe un desnivel que facilita el acceso del agua desbordada a estos Asentamientos. Los efectos de estos desastres en los pavimentos convencionales de la ciudad no contribuyen a la mitigación de los propios generando una vulnerabilidad a futuras inundaciones que afecte las infraestructuras viales, así como la calidad de vida de los habitantes.

Por tal motivo, esta tesis se justificó con la intención de presentar como alternativa de solución el uso de pavimento permeable para la mitigación de desastres en la ciudad de Casma.

1.2.1 Problema General

¿Será posible el uso de pavimentos permeables mitigara los desastres en la ciudad de Casma?

1.2.2 Problemas Específicos

-¿Cuáles son las zonas de uso del pavimento permeable teniendo en cuenta las condiciones tráfico?

-¿Cuál es la capacidad de infiltración del pavimento rígido permeable según la norma ACI 522R-10?

-¿Cuál es la resistencia a la compresión del pavimento permeable según la norma técnica peruana?

-¿Cómo se diseñará el sistema de drenaje pluvial para la captación de precipitaciones?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el uso de pavimentos permeables para la mitigación de desastres en la ciudad de Casma.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar las Zonas de uso del pavimento rígido permeable teniendo en cuenta las condiciones tráfico.
- Determinar la capacidad de infiltración del pavimento rígido permeable según la norma ACI 522R-10.
- Determinar la resistencia a la compresión del pavimento permeable según la norma técnica peruana.
- Diseñar una propuesta de sistema de drenaje pluvial para la captación de precipitaciones.

1.4 Formulación de la Hipótesis

El uso, diseño y construcción de pavimentos permeables logrará mitigar los desastres en la ciudad de Casma.

1.5 Justificación e Importancia

La importancia de esta investigación radica en como el uso de pavimentos permeables ayuda a la mitigación de desastres pluviales en la ciudad de Casma, puesto que en estos últimos años se han incrementado las precipitaciones en la costa peruana debido al niño costero.

El uso de pavimentos permeables no solo responde a la necesidad de gestionar de manera más eficiente las aguas pluviales, sino que también representa una medida adaptativa frente a los desafíos que plantea el cambio climático. Este tipo de pavimentos tiene la capacidad de filtrar el agua y luego mediante el diseño de un drenaje pluvial se puede redirigir las precipitaciones a un río cercano.

En Casma, donde el aumento de las precipitaciones ha puesto a prueba la infraestructura urbana existente, la adopción de estos pavimentos podría ser clave para reducir el riesgo de inundaciones, proteger las comunidades locales y mejorar la sostenibilidad del entorno urbano.

Esta investigación no solo aborda la necesidad inmediata de la ciudad, sino que también tiene un impacto transformador en la gestión de aguas pluviales, el desarrollo urbano y la resiliencia frente a desastres. Al proporcionar un análisis detallado y recomendaciones basadas en evidencia, esta investigación contribuirá exponencialmente a la mejora de la infraestructura urbana y a la calidad de vida en Casma.

1.5.1 Justificación Técnica

La investigación se sustenta técnicamente en la necesidad de proponer a la ciudad de Casma diseños de pavimentos que respondan a las nuevas condiciones climáticas y que garanticen su durabilidad. El uso de pavimentos permeables permite que las precipitaciones no deterioren prematuramente la estructura, asegurando que cumpla con su vida útil según las normas técnicas vigentes. Asimismo, la incorporación de un sistema de drenaje pluvial eficiente evita la acumulación de agua y el deterioro de la vía, consolidando una propuesta que combina resistencia estructural con funcionalidad hidráulica. En síntesis, un diseño adecuado permitirá contar con pavimentos más seguros, sostenibles y acordes a las exigencias actuales del cambio climático.

1.5.2 Justificación Económica

Desde el punto de vista económico, el proyecto considera la realidad de la ciudad de Casma y propone una solución que optimiza recursos. Si bien la implementación de pavimentos permeables implica una inversión inicial ligeramente superior a la de un pavimento convencional, los beneficios económicos se reflejan en el tiempo al reducir costos de mantenimiento, evitar reparaciones frecuentes y minimizar pérdidas materiales derivadas de inundaciones. El diseño planteado se sustenta en criterios de eficiencia y sostenibilidad, priorizando no solo la resistencia técnica, sino también la viabilidad económica de su aplicación en la ciudad.

1.5.3 Justificación Social

En el aspecto social, la propuesta se orienta a salvaguardar a la comunidad casmeña frente a los riesgos de inundaciones cada vez más frecuentes a causa del cambio climático. La implementación de pavimentos permeables no solo protege la infraestructura vial, sino también la seguridad y el bienestar de la población, especialmente en los asentamientos más vulnerables cercanos al río Sechín. De esta manera, el proyecto se convierte en una medida preventiva que reduce la exposición al riesgo, mejora la calidad de vida y fortalece la resiliencia urbana de Casma.

1.6 Limitación del trabajo

1.6.1 Limitación Espacial

Los porcentajes de vacío en el concreto permeable que se analizaron son de 15%, 20%, 25%, 30% y 35%. Cada uno de esos porcentajes generará un resultado y obtendremos el más óptimo. Para determinar las propiedades del concreto, se llevó a cabo ensayos realizados en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional del Santa.

1.6.2 Limitación Temporal

El periodo de desarrollo de la presente investigación se extendió desde julio hasta diciembre del 2024, tiempo en el cual se realizaron las etapas de diagnóstico, recolección de información, ensayos de laboratorio, análisis de resultados y redacción del informe final.



II. MARCO TEORICO

2. Marco teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 Internacional

Los pavimentos permeables, integrados en los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), representan una solución clave para la gestión eficiente de las aguas pluviales en entornos urbanos. Estos sistemas no solo permiten la infiltración del agua de lluvia, reduciendo la escorrentía superficial y mitigando el riesgo de inundaciones, sino que también contribuyen a la resiliencia urbana frente a los efectos del cambio climático. La investigación y las innovaciones recientes en España han demostrado que la adaptación del diseño de estos pavimentos a las condiciones climatológicas locales, junto con la incorporación de materiales reactivos y procesos de mantenimiento mejorados, es esencial para optimizar su funcionamiento y garantizar su durabilidad a largo plazo" (García-Haba et al., 2022, p. 283).

Espinoza Suarez Sebastián (2022) en su investigación. "Pavimentos permeables, como estrategia para el control de escorrentía en la ciudad de Curicó" Universidad Talca en la ciudad de Curicó en Chile. Tuvo como objetivo estudiar la reducción de escorrentia mediante la implementación de pavimentos permeables. Tomaron como muestra 10 puntos críticos de inundación de la ciudad, con nivel de riesgo alto o muy alto. Se llegó a la conclusión de que a pesar de que los pavimentos permeables no llegaron a eliminar el 100% de la escorrentía, si se logró reducir, además de que la eficacia de los pavimentos permeables depende de varios factores.

Según Daniel Fernández Gran (2022) en su investigación. “Análisis de la capacidad de reducción del riesgo de inundación en zona urbana mediante el uso de pavimentos drenantes” de la Escola Técnica Superior d’ Enginyeria de Camins, Canals i Ports de la ciudad de

Barcelona en España. Se hizo una comparación en una vía de doble sentido de circulación en un área con peligrosidad por inundación pluvial, se comparó dos lados simétricos de la calle, en un lado se mantuvo como es habitual en zonas urbanas y en el otro lado se incorporó un pavimento permeable en todo el ancho del carril. Se concluyó que en todos los casos menos 1 se logró reducir el área con alta peligrosidad en un 65% o más.

2.1.2 Nacional.

Según Guerra Chayña Pedro y Guerra Ramos César (2020) en su investigación. “Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible” Universidad Nacional del Altiplano, Puno – Perú. El estudio tuvo por finalidad diseñar la estructura de un pavimento rígido permeable, después de analizar los métodos de diseño actuales, para facilitar la evacuación de aguas pluviales. Se llegó a la conclusión de que para lograr la calidad de drenaje excelente el espesor de losa de concreto permeable debe ser de 20 cm, la subbase granular de 30 y 40 cm, una tubería perforada de diámetro 25, 30 y 35cm y una capa de transición de 5 cm como anticontaminante para protegerla subbase.

Según Deyvi Jhonathan Artica Salazar Y Josué Aldair De La Cruz Cruz (2023) en su investigación. Comparación del pavimento permeable con los pavimentos rígidos y flexibles para la mejora del drenaje en el estacionamiento del aeropuerto de Jauja. Pontificia Universidad Católica del Perú. El estudio tuvo por finalidad contribuir a mejorar el drenaje de las aguas pluviales mediante la implementación de los pavimentos permeables. Se llegó a la conclusión de que el pavimento permeable es el más favorable para este estacionamiento, esto se pudo confirmar, finalmente, con el cuadro comparativo realizado en la tesis.

Según Huanilo Bonilla Maximo (2021) en su investigación. “Diseño de concreto permeable para contribuir al drenaje pluvial en la Av. Alameda Perú – Piura 2021” de la Universidad Cesar Vallejo de la ciudad de Piura en Piura. Tuvo como uno de sus objetivos determinar la permeabilidad del diseño de mezcla del concreto permeable que tuvo como aditivo PER SUPLAST, se hicieron tres diseños con esta mezcla y se concluyó que el concreto cumplió los parámetros establecidos por la norma ACI 522R-10, logrando una permeabilidad de 0.2414 cm/s.

2.1.3 Local.

De acuerdo con la investigación de Joseph Walter Olivas Henríquez titulada Aplicación de concreto permeable como una nueva alternativa de pavimentación en la ciudad de Chimbote – Provincia de Santa – Ancash, realizada en la Universidad César Vallejo de Chimbote, el estudio tuvo como propósito evaluar si el uso de concreto permeable podría representar una alternativa innovadora para la pavimentación en dicha ciudad.

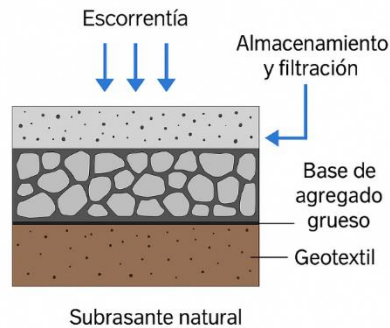
Se realizó 36 probetas de concreto permeable, distribuidas en 9 probetas para el ensayo de resistencia a la compresión, 9 probetas para ensayo de resistencia a la flexión, 9 probetas para ensayo de porcentaje y se concluyó que el porcentaje de vacíos de las probetas fue de 22.59% por lo que está dentro de los parámetros establecidos en la norma ACI, que es de 18% a 35% de vacíos interconectados y 9 probetas para ensayo de tasa de infiltración.

2.2 Marco Conceptual.

2.2.1 Concreto Permeable.

El concreto permeable es un material con estructura abierta compuesto por cemento Portland, agregado grueso y pocos agregados finos. Su estructura porosa permite la infiltración del agua, ayudando a reducir la escorrentía" (ACI-522R, 2022)

Figura 1. Esquema de funcionamiento del pavimento permeable



Nota. Elaboración propia. Representa el ingreso del agua a través del concreto permeable, su almacenamiento en la base drenante y su filtración hacia la subrasante. (2024)

2.2.2 Propiedades del Concreto Permeable.

Las principales propiedades del concreto permeable en su estado endurecido incluyen su resistencia a la compresión y a la flexión, su módulo de elasticidad, contracción, permeabilidad y porcentaje de vacíos. Estas propiedades determinan su comportamiento estructural e hidráulico.

2.2.2.1 Resistencia.

2.2.2.1.1 Resistencia a la compresión.

Según un informe reciente publicado por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme, 2024), los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión del concreto permeable demostraron que este material cumple con los requisitos establecidos en la norma ASTM C39. Este estándar define los procedimientos y criterios para evaluar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, garantizando su desempeño estructural. El cumplimiento de esta norma resalta la viabilidad del concreto permeable como una solución confiable para su aplicación en pavimentos permeables, especialmente en proyectos donde se busca combinar funcionalidad hidráulica y capacidad estructural.

Figura 2. *Llenado de probetas para el ensayo de compresión de concreto*



Nota. Figura recuperada del video de <https://acortar.link/fMUQy0,2024>

Figura 3. *Esquema del ensayo de compresión de concreto*



Nota. Figura recuperada del video de <https://acortar.link/fMUQy0,2024>

2.2.2.1.2 Resistencia a la flexión

Se ha documentado que la resistencia a la tracción por flexión del concreto permeable representa entre el 10% y el 20% de su resistencia a compresión, alcanzando valores cercanos al 30% en condiciones óptimas. Esto es especialmente significativo en diseños mejorados de mezclas con agregados optimizados. Ensayos como ASTM C78 y C293 son esenciales para

evaluar su módulo de rotura, siendo este más alto que en el concreto hidráulico ordinario, lo que destaca la capacidad del concreto permeable para resistir tensiones aplicadas y su idoneidad para aplicaciones estructurales y sostenibles (Garrote Villar, 2020).

2.2.2.2 Módulo de Elasticidad.

El módulo de elasticidad del concreto se define como una medida de la rigidez, que permite evaluar la deformación que sufre el material bajo carga. Los materiales con un mayor módulo exhiben menor deformación en comparación con aquellos de bajo módulo. Esta propiedad es crucial para determinar la resistencia y el desempeño del concreto en estructuras. Además, el módulo de elasticidad está estrechamente relacionado con la resistencia a la compresión y es fundamental para el diseño estructural. (Neira Peña Yenifer Samanta. 2023).

2.2.2.3 Contracción.

El fenómeno de contracción en el concreto, asociado a la pérdida de agua durante el secado, se manifiesta como una reducción tridimensional del volumen, que puede provocar grietas y micro fisuras. Este proceso está influenciado por factores como la temperatura, la humedad relativa y las propiedades intrínsecas del material, como el sistema de poros. Estudios recientes han indicado que la contracción es más significativa en las primeras etapas del endurecimiento y puede ser mitigada mediante el uso de aditivos reductores de agua, optimización de la relación agua/cemento y técnicas de curado adecuadas, que contribuyen a minimizar las tensiones internas y el desarrollo de micro fisuras (Rodríguez Lacayo et al., 2020)

2.2.2.4 Permeabilidad.

La permeabilidad es la capacidad de un material para permitir el paso de un fluido a través de su estructura sin alterarla. Esta propiedad depende de factores clave como la porosidad del material, las características del fluido (densidad y viscosidad, influenciadas por la temperatura), y la presión aplicada. En materiales como el concreto permeable, los poros interconectados permiten la circulación de fluidos sin alterar su estructura, destacándose en

aplicaciones como pavimentos drenantes. Investigaciones recientes subrayan la importancia de equilibrar la permeabilidad con la resistencia mecánica, optimizando la compactación y la dosificación de la mezcla para mejorar su desempeño (Ximénez Miralles, 2020; Oliveira, Guerreiro & Abreu, 2020).

2.2.2.5 Porcentaje de Vacíos.

El porcentaje de vacíos es una característica esencial en el diseño del concreto permeable. Este porcentaje se refiere a los espacios vacíos entre los agregados que permiten el paso del agua a través del material. En el concreto permeable, estos vacíos pueden variar entre el 15% y el 35%, y su cantidad influye directamente en propiedades clave como la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y la permeabilidad del concreto. A medida que el porcentaje de vacíos aumenta, generalmente mejora la permeabilidad, pero se reduce la resistencia a la compresión. (Henry Glicerio Ramírez Tapia, 2021).

Tabla 1.

Relación general entre vacíos, resistencia y permeabilidad

% Vacíos	Resistencia a la compresión	Permeabilidad Estimada
15%	Alta	Baja
20%	Moderada-Alta	Moderada
25%	Equilibrada	Equilibrada
30%	Baja	Alta
35%	Muy Baja	Muy Alta

Nota. Elaboración propia. Se observa que a mayor porcentaje de vacíos se incrementa la permeabilidad, mientras que la resistencia a compresión disminuye progresivamente. (2024)

2.2.3 Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla de concreto implica seleccionar los materiales y sus proporciones para alcanzar las propiedades deseadas como resistencia, trabajabilidad y durabilidad. Según investigaciones recientes, las proporciones comunes son 1:2:3 (cimento. arena. grava) ajustadas por la relación agua/cemento y el uso de aditivos como acelerantes. Este proceso busca garantizar que la mezcla cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad para su aplicación específica, considerando factores ambientales y normativos, como ASTM C39 para resistencia y ASTM C143 para trabajabilidad (Rodríguez Lacayo et al., 2020)

2.2.4 Norma ACI 522R-10

El American Concrete Institute (ACI) es una organización sin fines de lucro fundada en 1904 en Michigan, Estados Unidos, reconocida globalmente como una autoridad en la elaboración de estándares, recursos técnicos, programas de formación y certificaciones relacionadas con el diseño, la construcción y los materiales de concreto. Su misión principal es fomentar el uso adecuado del concreto mediante la educación, investigación y la promoción de mejores prácticas en la industria. Actualmente, ACI cuenta con más de 30,000 miembros en más de 120 países y se enfoca en innovaciones como el concreto ecológico y otras soluciones sostenibles para el sector. En los últimos años, el ACI ha promovido iniciativas importantes, como competencias estudiantiles para fomentar nuevas ideas en el uso sostenible del concreto, incluyendo tecnologías como el concreto permeable y métodos para reducir las emisiones de dióxido de carbono en la fabricación de cemento (American Concrete Institute, 2021)

Es una guía que aborda el diseño y la construcción de pavimentos de concreto permeable, brinda recomendaciones sobre los materiales, el diseño de la mezcla, la colocación y el mantenimiento de pavimentos que permiten el paso del agua que ayudan a la gestión de aguas pluviales para reducir la escorrentía.

2.2.5 Drenaje Pluvial.

La guía sobre el diseño y construcción de pavimentos de concreto permeable aborda aspectos como los materiales, el diseño de la mezcla, y los métodos de colocación y mantenimiento de estos pavimentos, que ayudan a gestionar las aguas pluviales y reducir la escorrentía.

Históricamente, las civilizaciones como la hindú y la minoica implementaron sistemas de drenaje para recolectar tanto aguas pluviales como residuales, lo que refleja la importancia de una correcta gestión de aguas para prevenir inundaciones. Estas técnicas continúan siendo relevantes en el diseño de pavimentos modernos para el manejo eficiente de aguas pluviales (García, 2020) El diseño del sistema de drenaje pluvial en esta investigación se basa en la fórmula racional.

Ecuación 1.

Cálculo del caudal mediante fórmula racional

$$Q = CiA/3600$$

Donde.

Q. caudal (m³/s)

C. coeficiente de escorrentía

i. intensidad de lluvia (mm/h)

A. área de captación (ha)

2.2.6 Relación entre infiltración, escorrentía y mitigación de desastres

La infiltración y la escorrentía son procesos hidrológicos directamente relacionados que influyen en la generación de inundaciones urbanas. Cuando la infiltración es limitada por superficies impermeables o por la baja capacidad del suelo, el agua de lluvia fluye superficialmente como escorrentía, aumentando el riesgo de acumulación y desbordes. Según Vargas y Molina (2022), los pavimentos permeables favorecen la infiltración del agua hacia las capas subyacentes, reduciendo la escorrentía superficial y, con ello, la probabilidad de inundaciones.

Por su parte, López et al. (2021) sostienen que la capacidad de infiltración del concreto permeable desempeña un papel clave en la mitigación de desastres, ya que permite controlar el volumen y velocidad del flujo superficial en eventos de lluvia intensa. De esta forma, la mejora en la infiltración mediante pavimentos permeables no solo contribuye a la recarga de acuíferos, sino también a la disminución de los impactos negativos de las lluvias extremas sobre las infraestructuras urbanas.

2.2.7 Comportamiento hidráulico de pavimentos permeables

El comportamiento hidráulico de los pavimentos permeables está determinado por su capacidad para infiltrar, almacenar y evacuar el agua de lluvia a través de su estructura porosa. Esta capacidad depende principalmente del tamaño de los agregados, el porcentaje de vacíos, la compactación y la pendiente del pavimento. Según Pérez y González (2023), los pavimentos permeables presentan una tasa de infiltración que puede superar los 200 L/min/m², lo cual permite un manejo eficiente de aguas pluviales incluso durante precipitaciones intensas. Asimismo, Rivas y Torres (2020) destacan que la eficiencia hidráulica de estos pavimentos se

mantiene cuando las capas subyacentes —como la base y subbase drenante— están correctamente diseñadas para facilitar la percolación del agua y evitar el colmatado. Este comportamiento hidráulico adecuado garantiza que el sistema contribuya efectivamente al control de escorrentía y a la reducción del riesgo de inundaciones urbanas.

2.2.8 Importancia del mantenimiento de los pavimentos permeables

El mantenimiento de los pavimentos permeables es fundamental para conservar su capacidad hidráulica y prolongar su vida útil. Con el tiempo, los poros del concreto pueden obstruirse por la acumulación de polvo, sedimentos y materia orgánica, lo que disminuye significativamente su permeabilidad.

De acuerdo con Hernández y Silva (2021), la limpieza periódica mediante barrido mecánico o succión es esencial para mantener la infiltración inicial del pavimento y evitar el colmatado. Por otro lado, Castillo y Ramírez (2022) señalan que un programa de mantenimiento planificado no solo restituye la funcionalidad hidráulica, sino que también reduce costos a largo plazo, al prevenir deterioros estructurales y conservar la capacidad de mitigación de escorrentía. En este sentido, el mantenimiento se considera parte integral del diseño sostenible, asegurando que el pavimento permeable siga cumpliendo su función como sistema de drenaje urbano.

III. METODOLOGÍA

3. Metodología

3.1 De acuerdo al enfoque.

La naturaleza de la investigación es de índole cuantitativa. Este enfoque se justifica por su capacidad para examinar la realidad a través de parámetros que son susceptibles de medición, cuestionamiento, estudio y análisis, y que pueden ser reproducidos bajo las mismas condiciones en cualquier momento. Además, la investigación cuantitativa se caracteriza por su capacidad para emplear datos numéricos. El presente estudio adopta un enfoque cuantitativo, ya que su objetivo es describir, predecir, explicar y analizar datos mensurables y observables. Asimismo, se lleva a cabo la comparación de grupos de variables, resultados y estudios previos.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014. 4), la investigación cuantitativa sostiene que el conocimiento debe ser objetivo y se genera mediante un proceso deductivo. En este, se utilizan la medición numérica y el análisis estadístico inferencial para poner a prueba hipótesis previamente establecidas. Este tipo de enfoque suele relacionarse con prácticas y normas propias de las ciencias naturales y del positivismo. Además, se basa en el estudio de casos "tipo" con el fin de obtener resultados que permitan hacer generalizaciones.

3.2 Alcance

La investigación es experimental aplicada, porque permite desarrollar soluciones en la pavimentación que contribuyan a la mitigación de desastres en la ciudad de Casma. Para ello, se manipularán variables independientes siguiendo las normativas nacionales e internacionales (como la Norma Técnica Peruana y ACI 522R-10) con el fin de evaluar y optimizar el uso de pavimentos adecuados. El estudio busca determinar el mejor diseño de pavimentación que permita aumentar la resistencia y durabilidad de las superficies urbanas, aportando así una solución práctica y efectiva a la problemática planteada.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2021), la investigación aplicada busca generar conocimiento práctico y útil para resolver problemas concretos que afectan a una comunidad, institución o proceso específico

3.3 Diseño de la investigación

Según Carlos Ramos Galarza (2021), el nivel de investigación es experimental ya que se caracteriza por la manipulación intencionada de la variable independiente y el análisis de su impacto sobre una variable dependiente.

La investigación es experimental porque se manipula las variables como los diferentes porcentajes de vacíos en el pavimento permeable, y la observación de sus efectos, lo cual es característico de un diseño experimental. Este enfoque nos permite probar las hipótesis relacionadas al rendimiento del pavimento en la mitigación de desastres pluviales en un entorno específico.

3.4 Población

Pavimentos en la ciudad de Casma.

3.5 Muestra

La muestra de esta investigación estuvo conformada por cinco tipos de mezclas de concreto permeable, cada una con un porcentaje distinto de vacíos. 15%, 20%, 25%, 30% y 35%. Estas mezclas fueron seleccionadas por conveniencia, considerando la viabilidad experimental y los rangos técnicamente aceptables según la literatura especializada en pavimentos permeables.

El objetivo de la elección de estas mezclas fue comparar su comportamiento respecto a dos propiedades clave. capacidad de infiltración y resistencia a la compresión, bajo condiciones similares a las de la ciudad de Casma. Esta estrategia permitió determinar cuál de las

configuraciones resultaba más adecuada para mitigar riesgos de inundación en zonas urbanas vulnerables.

Para delimitar el ámbito de los ensayos, las mezclas se aplicaron en tres calles específicas de Casma.

- CALLE 1-003190
- CALLE S/N-06400
- CALLE LA CALETA-006230

Asimismo, para la identificación de zonas de uso de pavimento rígido permeable, se realizó trabajo de campo siguiendo la normativa del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), específicamente lo establecido en el Manual de Carreteras sobre el número de calicatas necesarias para la exploración del suelo.

Figura 4. Número de calicatas para exploración del suelo.

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	- Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido - Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido - Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	- Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido - Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido - Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	4 calicatas x km	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	3 calicatas x km	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	2 calicatas x km	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	1 calicata x km	

Nota. Imagen adaptada de *Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018, p. 28.

3.6 Variables de estudio

3.6.1 Variable Independiente

Diseño de estructura de pavimento permeable

3.6.2 Variable Dependiente

Mitigación de desastres

3.7 Operacionalización o categorización de la variable

3.7.1 Definición conceptual de la variable

3.7.1.1 Variable independiente

3.7.1.1.3 Diseño de estructura de pavimento permeable

El diseño estructural de un pavimento permeable se centra básicamente en la definición del espesor mínimo de la estructura. En este caso, los criterios de diseño deben ser aquellos que proporcionen la capacidad portante adecuada a la categoría de tráfico que debe soportar el pavimento, sin que esta sufra deformaciones importantes. (Palomino Flores, J. A., 2023).

3.7.1.2 Variable Dependiente

3.7.1.2.1 Mitigación de desastres

La mitigación busca minimizar la vulnerabilidad de las comunidades y mejorar su capacidad para enfrentar y recuperarse de eventos adversos, promoviendo así un desarrollo más seguro y sostenible (CRED, 2022)

3.7.2 Definición conceptual de la variable

3.7.2.1 Variable independiente

3.7.2.1.1 Diseño de estructura de pavimento permeable

Este diseño consiste en la configuración estructural de un pavimento que permite la infiltración del agua de lluvia, considerando la selección de materiales permeables, el porcentaje de vacíos (15%–35%), así como las juntas y la geometría del pavimento.

3.7.2.2 Variable Dependiente

3.7.2.2.1 Mitigación de desastres

La mitigación de desastres se refiere al conjunto de tácticas preventivas y correctivas diseñadas para minimizar los efectos adversos de sucesos naturales o humanos que puedan impactar a una comunidad o infraestructura.

3.8 Técnicas e Instrumento de Recolección de Datos

3.8.1 Técnicas

3.8.1.1 Experimentación

El objetivo es evaluar el uso del pavimento permeable con diferentes tipos de porcentaje de vacíos para determinar cuál es el más adecuado para mitigar los efectos de desastres en la ciudad de Casma.

3.8.1.2 Observación

El objetivo fue registrar los resultados del ensayo de infiltración realizado en los testigos, obteniendo datos precisos y confiables. Inicialmente se había considerado el uso de encuestas, pero se descartaron al comprobar que los objetivos podían alcanzarse solo mediante observación directa y ensayos de laboratorio. La observación se aplicó a través del conteo vehicular clasificado, siguiendo el Manual de Carreteras (MTC), lo que permitió determinar la categoría de tráfico y evaluar la viabilidad del pavimento permeable en condiciones reales de transitabilidad.

3.8.2 Instrumento de Recolección de Datos

Se emplearon normas técnicas y equipos especializados que se muestran a continuación:

3.8.2.1 Ensayo de resistencia a la compresión (NTP 339.034)

Se aplicó la Norma Técnica Peruana NTP 339.034 (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2019) para evaluar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas curadas a 28 días, las cuales fueron ensayadas en prensa hidráulica hasta la rotura.

3.8.2.2 Ensayo de capacidad de infiltración (ACI 522R-10)

De acuerdo con la guía ACI 522R-10 (American Concrete Institute [ACI], 2022), se evaluó la capacidad de infiltración del concreto permeable mediante un método empírico adaptado, con el propósito de estimar el comportamiento hidráulico del material.

Se introdujo el bloque de concreto permeable en una pecera vacía y posteriormente se vertió un volumen conocido de agua, marcando el nivel inicial. Durante un intervalo de tiempo determinado, se observó y registró el descenso del nivel del agua, atribuible al ingreso del agua a través de los vacíos del concreto.

Ecuación 2.

Tasa de infiltración

$$I = \frac{V}{A \times t}$$

donde I es la tasa de infiltración, V el volumen infiltrado, A el área expuesta del bloque y t el tiempo transcurrido.

Este procedimiento permitió obtener un valor aproximado de la capacidad de infiltración del concreto, el cual se comparó con los valores de referencia establecidos por la ACI 522R-10 (≈ 0.14 cm/s o 500 L/min/m²), a fin de verificar si el material cumple con los rangos mínimos recomendados para concretos permeables.

3.8.2.3 Exploración de suelos (Manual de Carreteras, MTC)

Conforme al Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2014), se realizaron calicatas en la zona de estudio para identificar las condiciones del suelo de fundación.

3.8.2.4 Conteo vehicular clasificado

El conteo vehicular clasificado se efectuó siguiendo los lineamientos del MTC (2014), permitiendo establecer la categoría de tráfico de la vía en función de vehículos ligeros y pesados observados en intervalos de tiempo definidos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Resultados y discusión

4.1 Identificación de las zonas de uso del pavimento rígido permeable según las condiciones de tráfico

Con el fin de determinar las zonas más adecuadas para la aplicación del pavimento rígido permeable, se elaboró un mapa de zonificación que distingue las áreas con diferentes niveles de tránsito vehicular dentro del área de estudio. Esta identificación es fundamental, ya que el desempeño hidráulico y estructural del pavimento depende directamente de la magnitud de las cargas y de la frecuencia de paso de los vehículos.

Para la elaboración del mapa se consideraron las vías principales, secundarias y locales, así como la ubicación de establecimientos comerciales, residenciales y de servicio que influyen en la intensidad del tránsito. De esta manera, se establecieron tres categorías de zonas de tráfico:

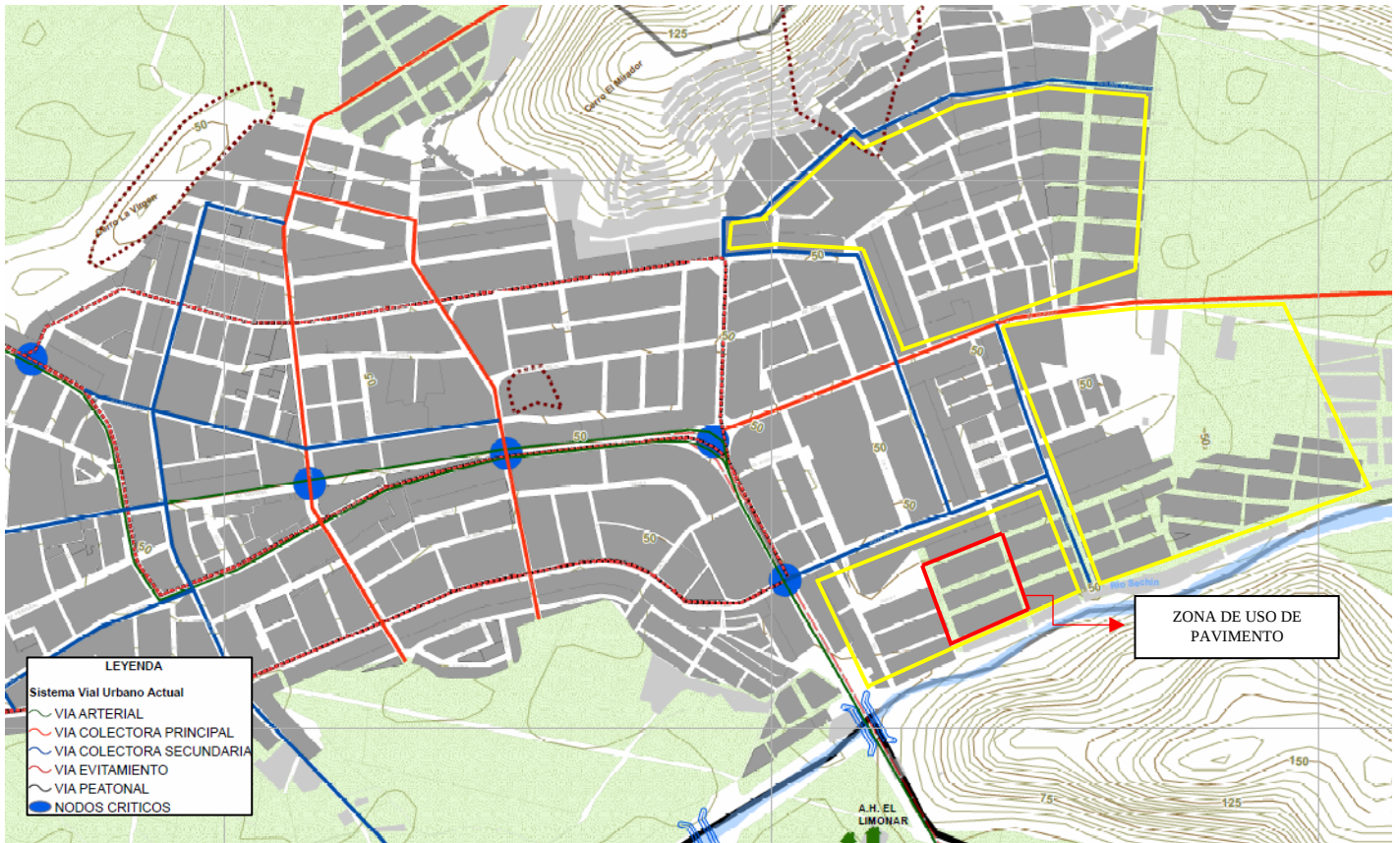
Acorde al primer objetivo específico. Identificar las Zonas de uso del pavimento rígido permeable teniendo en cuenta las condiciones tráfico. Se llevó a cabo lo siguiente.

- Zona de tráfico alto, correspondiente a vías principales y de acceso continuo a transporte vehicular pesado o de servicio.
- Zona de tráfico medio, donde circulan predominantemente vehículos livianos y transporte urbano moderado.
- Zona de tráfico bajo, representada por calles residenciales o de acceso restringido, donde el flujo vehicular es ocasional.

En la Figura 5 se presenta el mapa de identificación de zonas de tráfico dentro del área de estudio. En este se resalta la zona seleccionada para el diseño del pavimento rígido permeable, elegida por presentar condiciones de tráfico medio, lo que permite evaluar

adecuadamente el comportamiento estructural e hidráulico del sistema sin comprometer su durabilidad.

Figura 5. Recorte del plano de jerarquización vial urbana actual, identificando zonas potenciales para pavimento permeable.



Nota. Elaboración propia a partir del Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Casma 2017–2027.

Interpretación:

En la figura se observan las zonas resaltadas en color amarillo, las cuales representan los sectores donde es posible aplicar el diseño de pavimento permeable. Estas áreas fueron determinadas considerando las condiciones del terreno, la accesibilidad y la proximidad a las vías más afectadas por la acumulación de agua durante eventos de lluvia intensa.

4.1.1 Análisis del tráfico vehicular

Para la caracterización del tránsito en el área seleccionada, se realizaron visitas de campo en la zona más cercana al río Sechín, identificada como una de las más afectadas durante eventos naturales. Con el propósito de conocer las condiciones del terreno, se siguieron los lineamientos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), específicamente en el Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014, p. 28), en el cual se establece el número de calicatas necesarias para la exploración del suelo.

Posteriormente, se efectuó un conteo vehicular manual en tres puntos estratégicos del área de estudio, durante siete días consecutivos, desde el 9 hasta el 15 de diciembre de 2024, en el horario de 7:00 a. m. a 10:00 p. m. Los datos recolectados se procesaron en tablas de Excel, a partir de las cuales se obtuvo un resumen general del flujo vehicular, que sirvió como base para el cálculo del Índice Medio Diario (IMD) y la clasificación del nivel de tráfico de la zona.

Tabla 2.

Conteo y clasificación vehicular

Tráfico Vehicular en un sentido por Día							
Tipo de vehículo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Moto Lineal	73	73	78	81	83	72	83
Moto Taxi	472	451	415	482	465	401	411
Moto Carguera	53	44	53	48	54	57	60
Automóvil	45	40	35	38	29	37	40
Camionetas	24	20	29	16	32	22	26
Camión 2E	11	13	9	14	11	10	13
Bus 2E	2	1	2	2	1	3	3
Total	680	642	621	681	675	602	636

Nota. Punto 1. Elaboración propia de los autores, 2024

Tabla 3.

Conteo y clasificación vehicular

Tráfico Vehicular en un sentido por Día							
Tipo de vehículo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Moto Lineal	78	80	72	73	81	69	72
Moto Taxi	480	472	485	448	470	420	433
Moto Carguera	50	45	51	47	47	51	57
Automóvil	41	43	37	39	30	34	35
Camionetas	22	19	24	17	29	30	26
Camión 2E	9	11	14	14	12	12	13
Bus 2E	2	3	1	1	1	3	2
Total	682	673	684	639	670	619	638

Nota. Punto 2. Elaboración propia de los autores, 2024

Tabla 4.

Conteo y clasificación vehicular

Tráfico Vehicular en un sentido por Día							
Tipo de vehículo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Moto Lineal	79	80	84	81	80	74	76
Moto Taxi	490	478	482	499	485	450	470
Moto Carguera	47	49	55	54	53	51	50
Automóvil	49	50	42	40	46	41	39
Camionetas	29	22	28	30	21	27	29
Camión 2E	13	15	12	11	14	15	13
Bus 2E	2	1	1	3	1	2	1
Total	709	695	704	718	700	660	678

Nota. Punto 3. Elaboración propia de los autores, 2024

Se prosiguió con el cálculo del índice diario, tomando en cuenta la cantidad de vehículos que transitan diario por la zona de estudio

$$IMD = \sum n^{\circ} \text{ de vehículos transitados por día}$$

Tabla 5.

Índice medio diario

Días	Vehículos por día promedio de los 3 puntos
Lunes	690
Martes	670
Miércoles	670
Jueves	680
Viernes	682
Sábado	627
Domingo	651
Total	4670

Nota. Elaboración propia de los autores, 2024

Figura 6. *Variación vehicular por día (v/d)*



Nota. Elaboración propia de los autores, 2024

Interpretación. En la ilustración mostrada se elaboró un gráfico de barras, donde se aprecia que el día que más transito fue el lunes 09 de diciembre y el día que menos transito hubo fue el día sábado 14 de diciembre

Posterior a esto se determinó el índice medio semanal (IMDS) con la fórmula.

Se prosiguió con el cálculo del índice diario, tomando en cuenta la cantidad de vehículos

Ecuación 3.

Índice medio semanal

$$IMDS = \frac{(\sum Vi)}{7}$$

Donde.

Vi= volumen vehicular diario

Tabla 6.

Índice medio semanal (IMDS)

Tipos de vehículos	Total semanal	IMDS	%
Moto lineal	541	78	11.58
Moto taxi	3220	460	68.95
Moto carguera	359	52	7.69
Automóvil	278	40	5.96
Camionetas	175	25	3.75
Camión de 2 Ejes	87	13	1.86
Bus de 2 Ejes	10	2	0.21
TOTAL	4670	670	100

Nota. Elaboración propia de los autores, 2024

Interpretación. Según los datos obtenidos podemos determinar que el 98.05% de los vehículos son livianos y solo el 1.95% son pesados. Por lo tanto, es apto para realizar el diseño de un pavimento permeable.

Luego para calcular el Índice medio diario anual (IMAD) es necesario conocer el factor de corrección por unidad de peaje tanto para vehículos livianos como pesados, estos factores son estudiados y entregados por el MTC por cada peaje (ver Anexo 02 y Anexo 03) y los datos más actuales que se tiene datan del año 2017, en nuestro caso el más cercano a nuestra zona de estudio es el peaje de Catac y el mes fue en el mes de diciembre, por lo tanto, obtuvimos.

Tabla 7.

Factor de corrección para vehículos livianos y pesados

Factor de corrección	
F.C.E. para Vehículos livianos	0.9747
F.C.E. para Vehículos pesados	0.9684

Nota. Elaboración propia de los autores, 2024

Teniendo estos datos, procedimos a determinar el IMAD con la siguiente fórmula.

Ecuación 4.

Índice medio diario anual

$$IMAD = IMDS \times F.C.E$$

Donde.

IMDS= Índice medio semanal

F.C.E.= Factor de corrección estacional

Entonces se determinó.

Tabla 8.

Índice Medio Diario Anual (IMAD)

Tipos de vehículos	IMDS	F.C.E	IMAD
Moto lineal	78	0.9747	77
Moto taxi	460	0.9747	449
Moto carguera	52	0.9747	51
Automóvil	40	0.9747	39
Camionetas	25	0.9747	25
Camión de 2 Ejes	13	0.9684	13
Bus de 2 Ejes	2	0.9684	2
TOTAL	670		656

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Interpretación. Se puede apreciar en la Tabla 8 que muestra según los datos obtenidos un IMAD de 654 en el año 2024

CALCULO DEL ESAL

Continuando, tuvimos que calcular el crecimiento de tránsito, este lo proyectamos desde el tiempo de la elaboración del estudio (2025) hasta los próximos 4 años. Según el manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, haremos uso de la siguiente formula.

Ecuación 5.

Transito proyectado al año

$$T_n = T_o \times (1 + r)^{n-1}$$

Donde.

T_n = Transito proyectado al año “n” en veh/día

T_o = Transito actual (año base)

n = Año futuro de proyección

r= Tasa de crecimiento de tránsito (Ver anexo 4)

Tabla 9.

Tasas anuales de crecimientos para vehículos pesados y livianos

Tasas	símbolo	%
Tasa anual de crecimiento de Vehículos livianos	r.	0.59%
Tasa anual de crecimiento vehículos pesados	r.	1.05%
Tiempo que pasa del estudio de proyecto hasta la ejecución (años)	n.	4

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Tabla 10.

IMDa 2029

Tipos de vehículos	IMDA (2025)	Tasa Anual de crecimiento	IMDA(2029)
Moto lineal	77	0.59%	79
Moto taxi	449	0.59%	457
Moto carguera	51	0.59%	52
Automóvil	39	0.59%	40
Camionetas	25	0.59%	26
Camión de 2 Ejes	13	1.05%	14
Bus de 2 Ejes	2	1.05%	3
TOTAL	656		671

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Interpretación. Se considera la demanda de vehículos proyectada para el 2029 aumento en 15 su IMDA.

Seguidamente se calcula el factor de carga, con el cual luego sirvió para el desarrollo de la fórmula del ESAL. Tanto como para el número de llantas como para el de las cargas por ejes que son datos obtenidos del reglamento nacional de vehículos en su anexo de “Tablas DE PESOS Y MEDIDAS”. Las fórmulas usadas para el cálculo de “f” se pueden encontrar en el anexo 05.

Tabla 11.

Factor de Equivalencia de carga y F.IMDa

Tipos de vehículos	IMDA(2029)	Tipo Eje	Numero de Llantas	Carga Eje Tn	“f” P. Rígido	f. IMDA Rígido
Moto lineal	79	SIMPLE	1	<1	0.0000034	0.0002686
Moto taxi	457	SIMPLE	1	<1	0.0000034	0.0015538
Moto carguera	52	SIMPLE	1	<1	0.0000034	0.0001768
Automóvil	40	SIMPLE	2	1	0.00043639	0.0174556
Camionetas	26	SIMPLE	2	1	0.00043639	0.1134614
Camión de 2 Ejes	14	SIMPLE	2	7	1.27283418	17.81967852
Bus de 2 Ejes	3	SIMPLE	2	7	1.27283418	3.81850254
$\Sigma[f. IMDa]$						21.771

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Finalmente se puede realizar el cálculo del ESAL con todos los datos recolectados anteriormente.

Tabla 12.

ESAL Pavimento Rígido

Pavimento rígido		
Tasa anual de crecimiento Vehículos pesados	r.	1.05%
Tiempo de vida útil de pavimento (años)	n.	20
Factor Fca vehículos pesados (ver anexo 07)	Fca	22.1265
$\text{Factor Fca} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$		
de calzadas, sentidos y carriles por sentido (Ver anexo 04)		1 calzada, 2 sentidos, 1 carril por sentido
Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc) (Ver anexo 5)	Fc*Fd	0.50
Número de ejes equivalentes (ESAL) #EE = $365 * (\Sigma f. IMDa) * Fd * Fc * Fca$	ESAL	87914

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Interpretación.

En la Tabla 12 se presenta el cálculo del número de ejes equivalentes (ESAL) para el diseño del pavimento rígido. Se empleó el factor de crecimiento acumulado correspondiente a los vehículos pesados (Fca = 22.1265), ya que estos son los que generan los mayores esfuerzos sobre la estructura, conforme a las recomendaciones del MTC.

Considerando una tasa de crecimiento anual de 1.05%, una vida útil de 20 años y los factores direccional y de carril (Fd × Fc = 0.50), se obtuvo un valor de ESAL = 87,914, el cual corresponde a un Tránsito Tipo TP-2 (Tránsito Liviano) según la clasificación del MTC.

4.2 Diseño estructural del pavimento rígido permeable según ACI 522R-10

El diseño del pavimento rígido permeable se desarrolló tomando como referencia la guía de la ACI 522R-10 y las condiciones particulares de la ciudad de Casma. Este tipo de pavimento busca combinar resistencia estructural y capacidad de infiltración, de manera que pueda responder tanto a la demanda del tránsito urbano ligero como a la necesidad de mitigar riesgos de inundación. Para ello se analizaron mezclas de concreto con diferentes porcentajes de vacíos (15%, 20%, 25%, 30% y 35%), determinándose que la mezcla con 25% de vacíos ofrece un equilibrio adecuado entre resistencia a la compresión, con un valor promedio de 100 kg/cm², y capacidad de infiltración cercana a 32.20 mm/s. Esta combinación permite garantizar un desempeño hidráulico eficiente sin comprometer la estabilidad estructural del material.

4.2.1 Caracterización del tránsito

Para determinar la categoría de tránsito en la zona de estudio se aplicó un conteo vehicular clasificado, siguiendo los lineamientos del Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014). Este procedimiento permitió identificar la proporción de vehículos ligeros y pesados que circulan por el área, lo que constituye un criterio fundamental en la selección de espesores y materiales del pavimento permeable.

Los resultados del conteo evidenciaron que más del 80% de las unidades registradas corresponden a vehículos ligeros (autos, camionetas y motocicletas), mientras que el tránsito de vehículos pesados fue reducido y de carácter ocasional. En función de estos valores, el tránsito de la zona se clasifica como tránsito liviano, condición que justifica el uso de espesores reducidos en la losa de concreto permeable, conforme a lo establecido en la ACI 522R-10 para pavimentos destinados a calles residenciales o vías urbanas de bajo flujo vehicular.

Este análisis confirma que el pavimento permeable diseñado se encuentra dentro de los rangos técnicos adecuados para soportar las cargas previstas, garantizando su desempeño estructural y su durabilidad bajo las condiciones de servicio esperadas en la ciudad de Casma.

4.2.2 Caracterización del suelo

El estudio de la subrasante se realizó conforme a lo establecido en el Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014), complementado con las directrices de la ACI 522R-10. Los resultados de la clasificación granulométrica identificaron principalmente suelos de tipo SP (arena mal gradada) y SP-SM (arena con finos limosos) según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

Desde el punto de vista mecánico, los ensayos de CBR (California Bearing Ratio) arrojaron valores comprendidos entre 34% y 68%, lo que evidencia una capacidad portante elevada, muy superior al mínimo requerido para tránsito ligero (TP1). Este comportamiento confirma que la subrasante proporciona un soporte estructural adecuado para el diseño de un pavimento rígido permeable.

En cuanto a las propiedades hidráulicas, el suelo natural mostró una permeabilidad comprendida entre 1.69×10^{-6} m/s y 4.0×10^{-6} m/s, valores que corresponden a una conductividad hidráulica media, suficiente para permitir la infiltración del agua de lluvia captada por el pavimento sin riesgo de saturación superficial. Cabe señalar que durante la exploración no se encontró nivel freático, lo cual constituye una condición favorable para la implementación de pavimentos permeables, pues reduce el riesgo de ascenso capilar y pérdida de capacidad portante.

En conjunto, las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo natural en la zona de estudio permiten concluir que la subrasante ofrece un desempeño óptimo para la aplicación de pavimentos rígidos permeables, asegurando tanto el soporte de cargas vehiculares como la adecuada infiltración hacia estratos más profundos.

Tabla 13.

Propiedades de la subrasante en la zona de estudio

Propiedad	Resultado	Norma de referencia
Clasificación SUCS	SP y SP-SM	MTC (2014)
CBR (%)	34-68	ASTM D1883
Permeabilidad (m/s)	1.69×10^{-6} - 4.0×10^{-6}	ASTM D2434
Nivel freático	No encontrado	-

Nota. Elaboración propia a partir de los ensayos de laboratorio y calicatas realizadas en la zona de Casma.

4.2.3 Características de materiales y mezcla

El concreto permeable utilizado en el diseño se elaboró conforme a las recomendaciones de la ACI 522R-10, empleando cemento Portland Tipo I, agua potable y agregados gruesos de origen triturado. Se incorporaron muy pocos agregados finos en la mezcla, con el fin de garantizar un adecuado porcentaje de vacíos interconectados que permita el paso del agua a través de la estructura del pavimento.

Para evaluar el desempeño del material, se elaboraron mezclas con diferentes porcentajes de vacíos: 15%, 20%, 25%, 30% y 35%. Estas variaciones permitieron analizar la influencia de la porosidad en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable. Cada una de estas mezclas fue sometida a ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días y a ensayos de capacidad de infiltración, cuyos resultados se presentan y analizan en el apartado

Este enfoque experimental permitió establecer un marco comparativo para seleccionar la mezcla más adecuada en función de las condiciones de tránsito ligero y del suelo natural identificado en la zona de estudio.

4.2.4 Determinación de espesores de capa

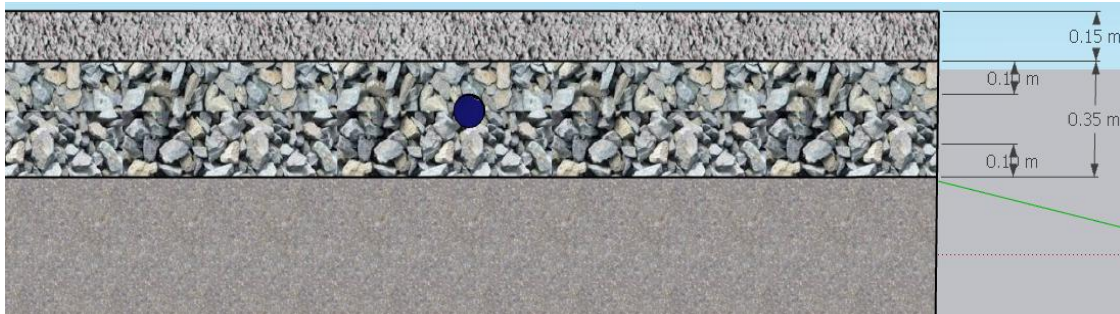
La definición de espesores se realizó considerando las recomendaciones de la ACI 522R-10, los resultados de los ensayos de laboratorio y las condiciones locales de la ciudad de Casma. Al tratarse de una vía clasificada como tránsito liviano (TP2) según el Manual de Carreteras (MTC, 2014), se establecieron espesores que garantizan simultáneamente la resistencia estructural y la capacidad hidráulica del pavimento permeable.

El espesor de la losa de concreto permeable se fijó en 15 cm, suficiente para resistir las cargas de tránsito vehicular liviano y al mismo tiempo permitir la adecuada interconexión de vacíos para la infiltración. La base granular drenante se diseñó con un espesor de 35 cm, además se eligió como tamaño de grava $\frac{3}{4}$ ", la cual está destinada a proporcionar almacenamiento temporal de agua, este tamaño se seleccionó según ACI que nos da un rango de $\frac{3}{8}$ a $1\frac{1}{2}$ ". Finalmente, la subrasante natural, compuesta principalmente por suelos de tipo SP y SP-SM con valores de CBR entre 34% y 68%, se consideró como soporte estructural efectivo, con una profundidad mínima equivalente a 30 cm, lo que asegura estabilidad y capacidad de infiltración sin riesgo de saturación.

La combinación de estos espesores permite obtener un pavimento permeable que cumple con los criterios técnicos establecidos por la ACI y que se adapta a las características del terreno y del tránsito en la zona de estudio.

4.2.4.1 Esquema de la estructura del Pavimento Permeable Propuesto

Figura 7. *Estructura de Pavimento Rígido Permeable*



Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

4.2.5 Ensayo de Infiltración del concreto permeable

Con el fin de evaluar la capacidad hidráulica del concreto permeable diseñado, se realizó un ensayo experimental de infiltración a escala reducida. Este procedimiento permite determinar la velocidad de infiltración vertical del agua a través de los bloques de concreto, simulando el comportamiento del pavimento bajo condiciones controladas.

Se emplearon bloques de concreto de 13 cm de ancho, 23 cm de largo y 9 cm de altura, fabricados con diferentes porcentajes de vacíos: 15 %, 20 %, 25 %, 30 % y 35 %. Cada bloque fue colocado dentro de un recipiente de vidrio, asegurando la estanqueidad lateral para evitar pérdidas de agua por filtración.

Sobre la superficie de cada bloque se vertió un volumen conocido de agua, y se registró el tiempo necesario para que el agua se infiltrara, utilizando un cronómetro digital. El ensayo se repitió para cada muestra con el objetivo de obtener valores representativos, minimizar la variabilidad experimental y reducir el margen de error.

Los resultados obtenidos permiten calcular la tasa de infiltración para cada porcentaje de vacíos, proporcionando información clave sobre la capacidad hidráulica del pavimento y su desempeño en condiciones controladas de lluvia. Para poder hallar la tasa de infiltración se usó la siguiente formula:

$$i = \frac{Vi}{A \times t}$$

Tabla 14.

Resultados del ensayo de infiltración

% Vacíos	Volumen infiltrado (cm3)	Área (cm ²)	t (h)	i (mm/h)
15%	269.54	299.00	0.33	27.50
20%	308.05	299.00	0.37	27.80
25%	385.06	299.00	0.40	32.20
30%	462.08	299.00	0.42	37.80
35%	616.10	299.00	0.50	41.20

Nota. Ensayo empírico de infiltración en bloques de concreto permeable a 28 día.

Interpretación:

Los valores obtenidos de la tasa de infiltración del concreto permeable varían entre 27.5 mm/h y 41.2 mm/h, incrementándose conforme aumenta el porcentaje de vacíos en la mezcla. Este comportamiento es coherente con lo establecido por el ACI 522R-10 (Guide for Pervious Concrete), el cual señala que la permeabilidad del concreto permeable depende directamente del contenido de vacíos interconectados, ya que estos permiten el paso del agua.

De acuerdo con el ACI 522R-10, las tasas de infiltración típicas para concretos permeables correctamente diseñados pueden variar entre 0.2 y 8.3 L/s·m², lo que equivale

aproximadamente a 720 mm/h a 29 880 mm/h. Sin embargo, este rango corresponde a concretos de alta permeabilidad empleados en zonas con lluvias intensas o sistemas de almacenamiento subterráneo. En el caso de zonas áridas o con baja precipitación, como la ciudad de Casma, valores menores de infiltración son aceptables y funcionales, siempre que permitan evacuar el volumen de agua generado durante los eventos de lluvia más intensos.

Los resultados experimentales obtenidos (27.5–41.2 mm/h) reflejan un concreto con permeabilidad media, lo cual es apropiado para las condiciones climáticas de Casma, donde la precipitación es reducida y los eventos pluviales son esporádicos. Este rango asegura que el pavimento podrá infiltrar de manera continua el agua superficial, reduciendo la acumulación y evitando saturación prematura del sistema.

Asimismo, se tomó como valor representativo el correspondiente al 25 % de vacíos, por considerarse el más óptimo para el diseño, ya que proporciona un equilibrio adecuado entre la resistencia estructural del concreto y su capacidad de infiltración, garantizando la funcionalidad hidráulica del pavimento sin comprometer su desempeño mecánico, en concordancia con las recomendaciones del ACI 522R-10.

Por tanto, se puede concluir que el concreto permeable ensayado presenta una capacidad de infiltración adecuada, manteniendo un equilibrio entre resistencia estructural y permeabilidad hidráulica, cumpliendo con los lineamientos del ACI 522R-10 en cuanto a funcionalidad del material y adecuación al contexto hidrológico del proyecto.

4.2.6 Recomendaciones constructivas

- Compactación ligera del concreto para evitar cierre de vacíos
- Curado húmedo o con plástico durante 7 días
- Uso de bordillos confinantes para evitar desplazamientos
- Considerar aplicación de sellador superficial si se detecta desprendimiento

4.3 Propuesta de diseño del sistema de drenaje pluvial complementario

El diseño de un sistema de drenaje pluvial constituye una medida fundamental para mitigar los impactos negativos ocasionados por precipitaciones intensas en zonas urbanas y periurbanas. En la ciudad de Casma, a pesar de que la precipitación es escasa durante la mayor parte del año, los eventos extremos registrados en los últimos años —como las lluvias de marzo del 2023 que provocaron el desborde del río Sechín y la afectación de infraestructura crítica— evidencian la necesidad de contar con soluciones de drenaje adecuadas. Para tal fin, es indispensable emplear la información pluviométrica disponible de la estación local, la cual permite caracterizar el comportamiento de las lluvias y determinar los parámetros de diseño hidráulico que garanticen un sistema eficiente y resiliente frente a escenarios de alta intensidad de precipitación.

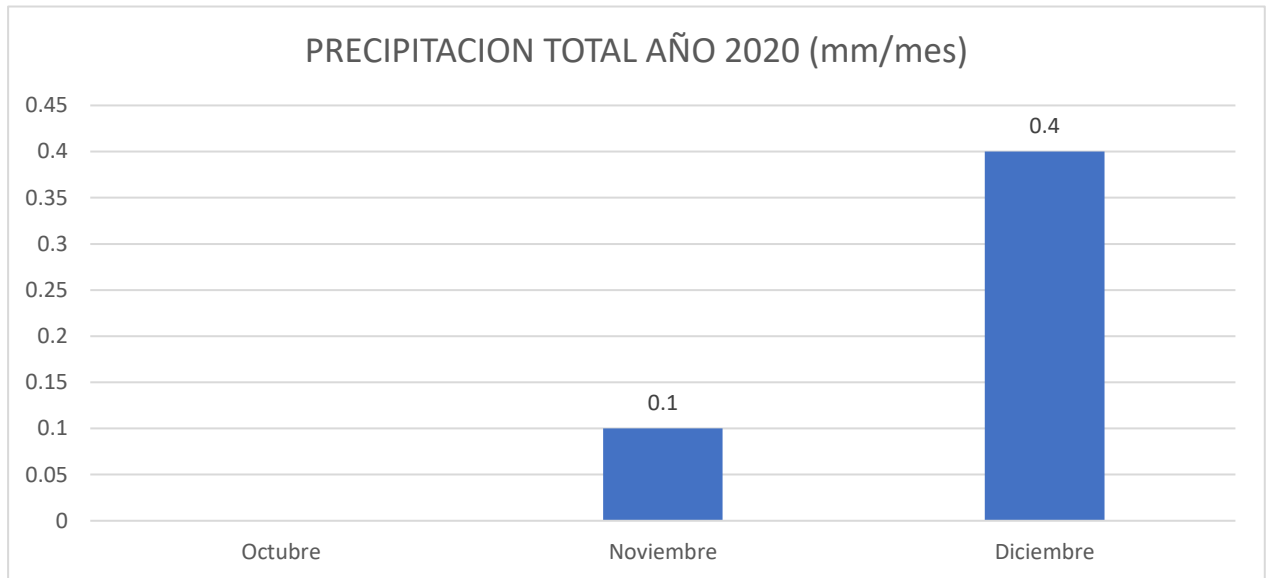
4.3.1 Datos pluviométricos como base del diseño

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) proporciona registros horarios de variables hidrometeorológicas tales como temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento, además de la precipitación. De todas ellas, la precipitación, expresada en milímetros por hora (mm/h), constituye la variable fundamental para el diseño de sistemas de drenaje pluvial, ya que permite cuantificar la magnitud e intensidad de las lluvias que impactan en una determinada zona.

Para el presente estudio, se recopilaron y organizaron los datos pluviométricos provenientes de la estación meteorológica 109096 – Casma, correspondiente al distrito de Casma, departamento de Áncash. La serie de información considerada abarca desde octubre del 2020 hasta el 16 de agosto del 2025, periodo en el que se registraron de manera continua los valores de precipitación, junto con las demás variables climáticas de apoyo. Esta base de datos constituye el insumo principal para el análisis de eventos de lluvia y la posterior determinación de los parámetros de diseño del sistema de drenaje pluvial propuesto. A continuación, se

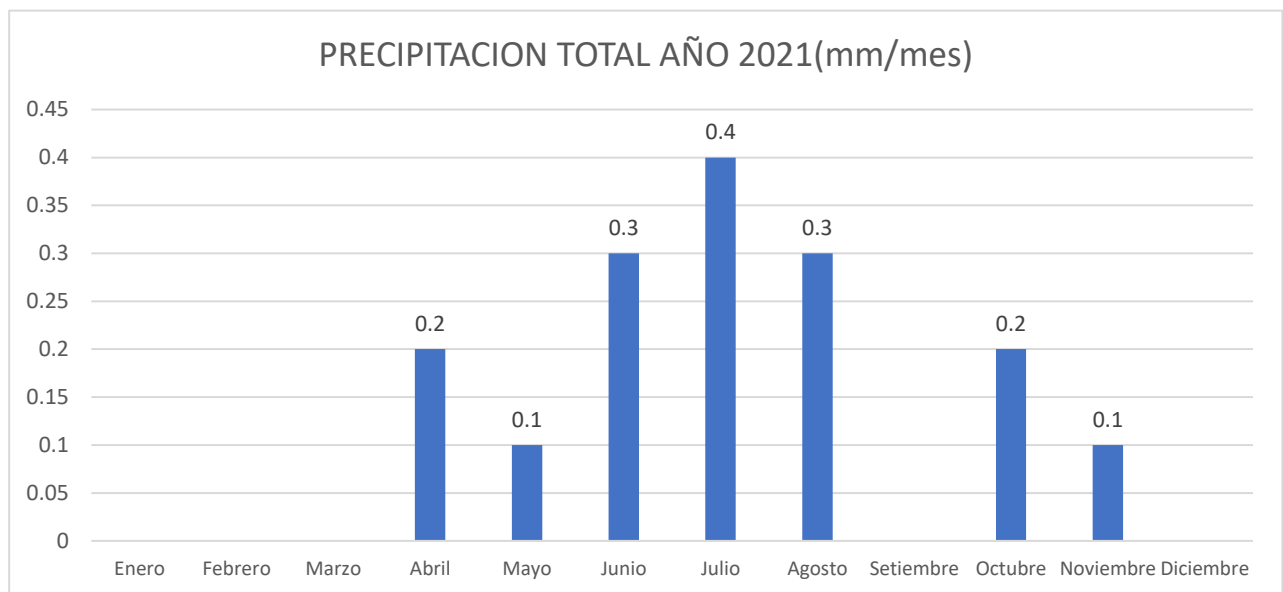
presenta la precipitación total mensual registrada en la estación pluviométrica 109096 – Casma durante el período 2020–2025. Esta información permite identificar los meses de mayor precipitación, los cuales son críticos para el dimensionamiento del sistema de drenaje propuesto.

Figura 8. *Precipitación total año 2020*



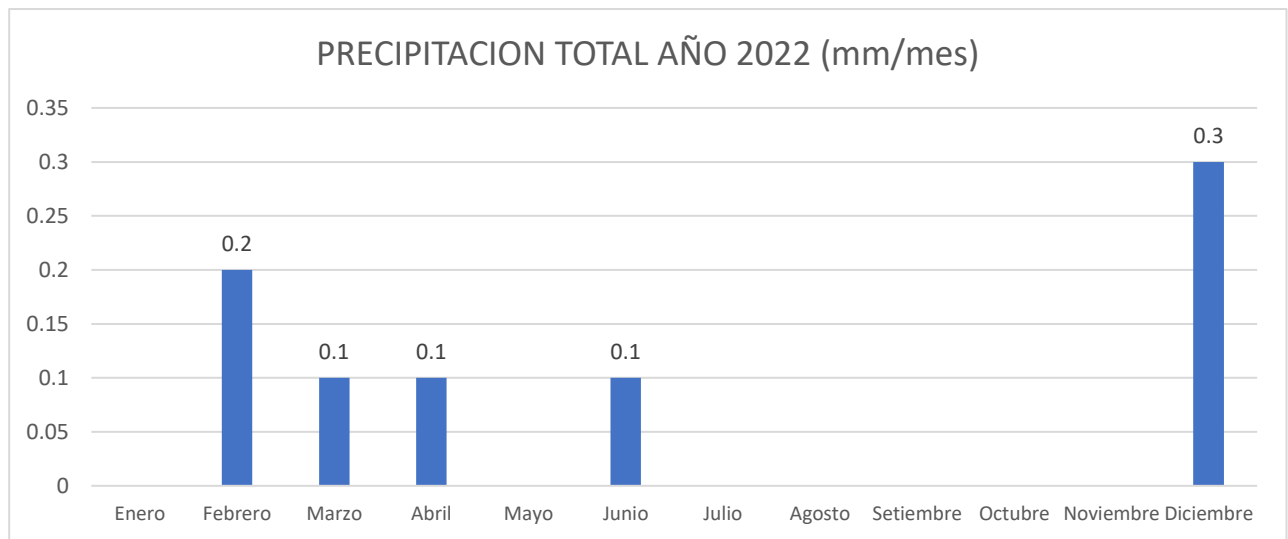
Nota. SENAMHI, estación 109096 – Casma (2020).

Figura 9. *Precipitación total año 2021*



Nota. SENAMHI, estación 109096 – Casma (2021).

Figura 10. Precipitación total año 2022



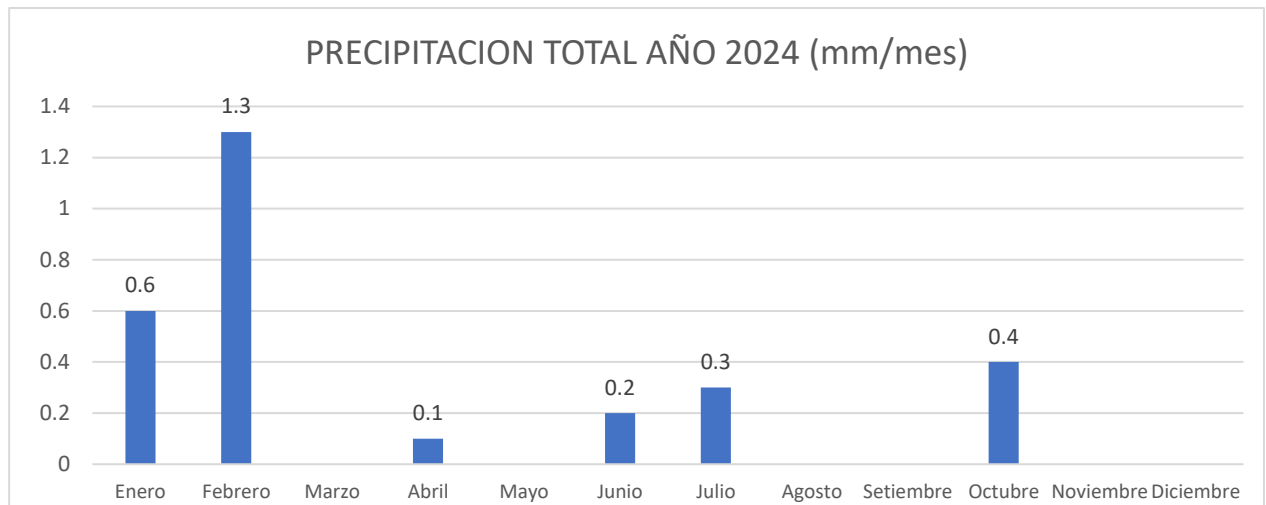
Nota. SENAMHI, estación 109096 – Casma (2022).

Figura 11. Precipitación total año 2023



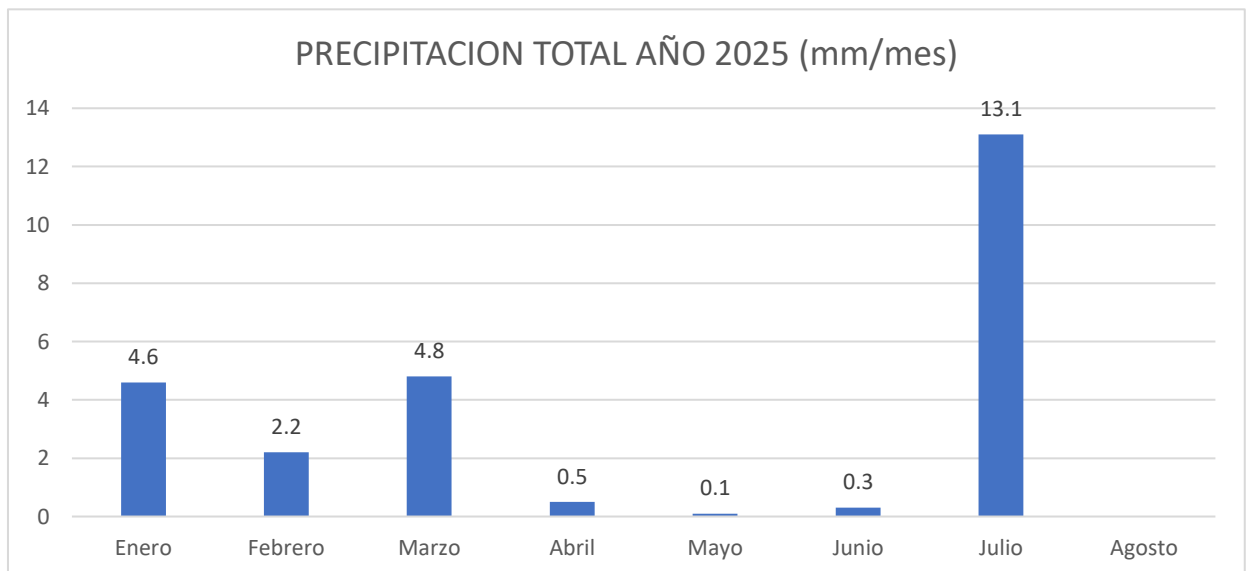
Nota. SENAMHI, estación 109096 – Casma (2023).

Figura 12. *Precipitación total año 2024*



Nota. SENAMHI, estación 109096 – Casma (2024).

Figura 13. *Precipitación total año 2025*



Nota. SENAMHI, estación 109096 – Casma (2025).

Interpretación: El análisis conjunto de las tablas de precipitación total mensual, máximos diarios anuales y máximos por mes indica que, en general, la precipitación en la ciudad de Casma es relativamente baja durante la mayor parte del período 2020–2025. Sin embargo, se observan eventos excepcionales que destacan por su intensidad. En particular, en el mes de marzo del año 2023, se aprecia un aumento significativo en los registros de precipitación, atribuible al fenómeno climático del Niño, el cual provocó lluvias muy intensas que afectaron la infraestructura urbana y el flujo de agua en la zona.

4.3.2 Máximos diarios anuales de precipitación

Con el fin de disponer de valores representativos de los eventos extremos de lluvia en la cuenca de estudio, se determinaron los máximos diarios anuales de precipitación registrados en la estación pluviométrica 109096 – Casma durante el período 2020–2025. Esta selección constituye un paso fundamental en el análisis hidrológico, ya que permite obtener una serie de valores extremos que sirven como base para el ajuste estadístico mediante la distribución de Gumbel y, posteriormente, para la construcción de la curva Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF). En la Tabla 15 se presentan los valores máximos de precipitación diaria para cada año del período de análisis.

Tabla 15

Máximos diarios anuales (mm/día).

Año	T=2 años
2020	0.10
2021	0.10
2022	0.30
2023	29.20
2024	0.90
2025	12.20

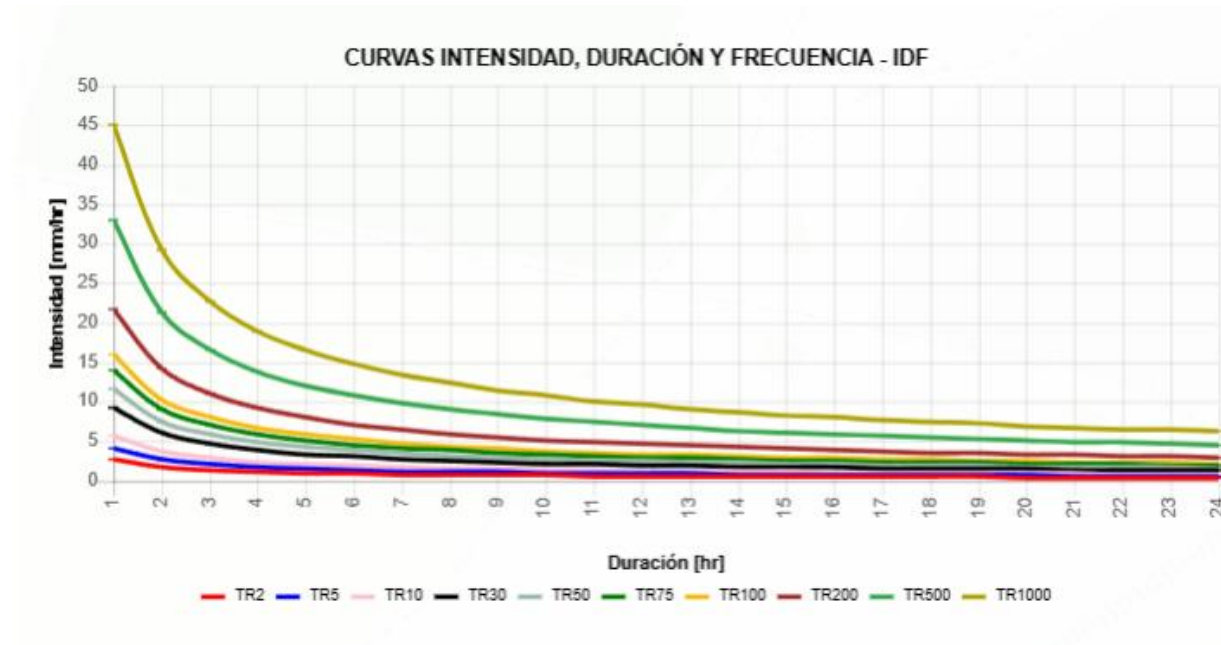
Nota. SENAMHI, estación 109096 – Casma (2025).

4.3.3 Curva Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) Regional

Con el fin de determinar los parámetros de diseño para el sistema de drenaje pluvial en la ciudad de Casma, se consideraron inicialmente los registros de máximos anuales de precipitación obtenidos de la estación 109096 – Casma, correspondientes al período 2020–2025. A partir de estos datos se elaboró una curva Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) local, utilizando los valores máximos diarios por año y ajustándolos mediante la Distribución de Gumbel (EV1), ampliamente utilizada en hidrología para modelar eventos extremos de precipitación. La curva resultante mostraba que, a mayor periodo de retorno y menor duración, la intensidad de lluvia aumentaba, reflejando la mayor magnitud de eventos extremos menos frecuentes, incluyendo un comportamiento particular durante el Fenómeno El Niño Costero de 2023, que evidenció lluvias más intensas y que influenció los máximos anuales registrados.

No obstante, debido a la limitada cantidad de datos disponibles en la estación, la IDF local no ofrecía una representación completamente confiable de las condiciones pluviométricas de la región. Por esta razón, se decidió emplear la IDF regional, la cual proporciona valores más representativos de intensidades de lluvia para distintos periodos de retorno (2, 5, 10 y 25 años) y duraciones de precipitación, permitiendo una estimación más segura de los caudales máximos de diseño. La curva IDF regional constituye, por tanto, una herramienta fundamental para el dimensionamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial, ya que permite establecer parámetros de diseño considerando tantas condiciones normales como escenarios extraordinarios de precipitación, garantizando que las obras diseñadas sean resilientes frente a eventos pluviométricos extremos.

Figura 14. Curva IDF-Regional para Casma (Escenario Histórico).



Nota. Curva IDF regional obtenida del portal IDSEP – SENAMHI

Interpretación:

La curva Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) regional para la ciudad de Casma muestra claramente el comportamiento característico de las lluvias en la zona. Se observa que, a mayor periodo de retorno, las intensidades de precipitación son más altas, lo que indica que eventos menos frecuentes generan lluvias más intensas. Por ejemplo, para duraciones cortas de 1 hora, la intensidad aumenta de 0.45 mm/h para TR = 2 años a 0.93 mm/h para TR = 10 años. Asimismo, la curva refleja que la intensidad de lluvia disminuye progresivamente a medida que aumenta la duración del evento; esto es, lluvias más prolongadas presentan menores intensidades medias. Esta información es fundamental para el diseño hidráulico del sistema de drenaje pluvial, ya que permite identificar la duración crítica y el caudal máximo asociado a

distintos periodos de retorno, asegurando que las obras diseñadas puedan manejar adecuadamente tanto lluvias frecuentes como eventos extremos.

4.3.4 Determinación del tiempo de concentración y de la intensidad de diseño

Con el objetivo de estimar el caudal máximo de diseño para el sistema de drenaje pluvial, es necesario determinar primero la duración crítica del evento de lluvia, la cual se corresponde generalmente con el tiempo de concentración (T_c) de la cuenca o área de interés. El tiempo de concentración representa el período que tarda el agua de lluvia en desplazarse desde el punto más distante de la cuenca hasta el punto de salida o sumidero principal.

En este estudio, el T_c se calculó mediante la fórmula de Kirpich, ampliamente utilizada en pequeñas cuencas urbanas, debido a su simplicidad y confiabilidad para estimar tiempos de respuesta rápidos en zonas con pendientes significativas. Una vez determinado el tiempo de concentración se procedió a obtener la intensidad de precipitación (i) correspondiente mediante interpolación en la curva IDF regional de Casma, considerando diferentes periodos de retorno (TR).

Este procedimiento asegura que los caudales de diseño reflejen de manera realista las condiciones hidrológicas de la región y que el sistema de drenaje sea capaz de responder adecuadamente tanto a lluvias frecuentes como a eventos extremos poco probables.

4.3.4.1 Determinación del tiempo de concentración usando la fórmula de

Kirpich

Ecuación 6.

La fórmula de Kirpich es:

$$T_c = 0.01947 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385}$$

donde:

- T_c = tiempo de concentración (h)
- L = longitud del flujo principal (m)

- S= pendiente de la cuenca (m/m)

Datos:

L= 320.51 m

S= 0.0133 m/m

$$Tc = 0.01947 \cdot 320.51^{0.77} \cdot 0.0133^{-0.385}$$

$$Tc = 0.01947 * 79.3 * 5.28$$

$$Tc = 8.74 \approx 9 \text{ minutos} = 0.15 \text{ h}$$

Nota: De acuerdo con la Norma Técnica OS.060 sobre drenaje pluvial urbano, "en ningún caso el tiempo de concentración debe ser inferior a 10 minutos". Por lo tanto, aunque el cálculo del tiempo de concentración (T_c) arrojará un valor inferior, se adoptará un T_c mínimo de 10 minutos, equivalente a 0.1667 horas, como base para la selección de la intensidad de diseño a partir de la curva IDF regional.

4.3.5 Cálculo del caudal de diseño

Ecuación 7.

Fórmula racional:

$$Q = \frac{C \times i \times A}{360}$$

Donde.

Q = Caudal de diseño (m^3/s)

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de lluvia mm/h

A = Área en ha = 0.3175 ha

360 = factor de conversión mm-ha/h a m³/s

Tabla 16

Resultados del caudal de diseño según TR y coeficiente de escorrentía para un $t=0.1667$ h

TR (años)	C	i (mm/h)	Q (m ³ /s)	Q (lt/s)
2	0.20	6.60	0.001164	1.134
5	0.20	10.00	0.001764	1.764
10	0.20	13.70	0.002417	2.417
25	0.20	22.50	0.003969	3.969
50	0.20	28.40	0.005010	5.010

Nota. Elaboración propia a partir de la curva IDF regional proporcionada por SENAMHI (IDSEP – SENAMHI, 2025)

Interpretación:

La Tabla presenta los caudales máximos de diseño para la cuenca considerando distintos periodos de retorno (TR) y un coeficiente de escorrentía de 0.20, correspondiente a la superficie analizada. Se observa que a medida que aumenta el TR, también lo hace la intensidad de precipitación (i), lo que produce un incremento en los caudales de diseño (Q). Por ejemplo, para TR = 2 años, la intensidad de lluvia es de 6.6 mm/h, resultando en un caudal de 1.134 L/s, mientras que para TR = 50 años, la intensidad alcanza 28.40 mm/h, generando el caudal máximo de diseño de 5.010 L/s.

Este comportamiento tiene sentido considerando las características pluviométricas de la ciudad de Casma, donde la precipitación media anual es baja y los eventos extremos son poco frecuentes. La cuenca normalmente genera caudales pequeños, pero fenómenos excepcionales como el Niño Costero de 2023 pueden provocar lluvias intensas en cortos periodos de tiempo, elevando significativamente los caudales máximos. Por ello, el caudal máximo de 5.010 L/s para TR = 50 años refleja adecuadamente la necesidad de que el sistema de drenaje pueda

manejar eventos de alta intensidad, aunque no sean habituales, asegurando la resiliencia de la infraestructura.

Además, al haberse considerado un tiempo de concentración $T_c = 0.1667$ h (10 min), se garantiza que la intensidad de diseño corresponda a la duración crítica del evento de lluvia, cumpliendo con las recomendaciones normativas y representando de forma realista el comportamiento hidrológico de la cuenca.

4.3.6 Cálculo de diámetro de tubería

Una vez determinado el caudal de diseño máximo del sistema de drenaje pluvial, el siguiente paso es dimensionar la tubería que permitirá transportar eficientemente este caudal sin riesgo de desbordes ni acumulación de agua. Para ello se utiliza la ecuación de Manning, que relaciona el caudal con las características hidráulicas de la tubería, incluyendo el diámetro, la pendiente, el material y la rugosidad de su interior. En este estudio, se considerará tubería de PVC, un material común en sistemas urbanos debido a su baja rugosidad y durabilidad, con un coeficiente de Manning $n=0.013$. La pendiente se determinará a partir de la diferencia de cota entre el punto más alejado de la zona de captación y el punto de descarga, garantizando un flujo adecuado por gravedad. Este procedimiento permite calcular el diámetro necesario de la tubería para garantizar un drenaje eficiente y seguro, tomando como referencia el caudal máximo crítico obtenido previamente mediante la ecuación racional y la curva IDF.

Ecuación 8.

Ecuación de Manning

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

Donde.

Q = Caudal de diseño (m^3/s)

n = coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional), para PVC $n=0.013$

A = área hidráulica de la tubería (m²), para un tubo circular $A = \frac{\pi D^2}{4}$

R= radio hidráulico (m), para un tubo circular a flujo lleno $R = \frac{D}{4}$

S= pendiente de la tubería (m/m), calculada a partir de la diferencia de cotas y longitud total.

Ecuación 9:

Cálculo de S

$$S = \frac{|\Delta H|}{L}$$
$$S = \frac{|53.00 - 49.50|}{262.47}$$
$$S = \frac{3.50}{262.47}$$
$$S = 0.0133 = 1.33\%$$

Datos del proyecto:

- Caudal máximo crítico: Q=0.005010 m³/s (TR = 50 años, C = 0.20, duración 10 min)
- Coeficiente de rugosidad: n=0.013 (PVC)
- Pendiente de la tubería: S=0.0133
- Área de la tubería circular a flujo lleno

Calculando D:

$$D = \left(\frac{Q * 4 * 4^{\frac{2}{3}} * n^{\frac{3}{8}}}{\pi * S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}}$$
$$D = \left(\frac{0.005010 * 4 * 4^{\frac{2}{3}} * 0.013^{\frac{3}{8}}}{\pi * 0.0133^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

$$D = 79 \text{ mm} \approx 101 \text{ mm (4")}$$

4.3.7 Verificación de velocidad

Después de elegir el diámetro, calcularemos la velocidad de flujo:

Ecuación 10.

Velocidad de flujo:

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

Donde.

V= Velocidad (m/s)

Q = Caudal de diseño (m³/s)

A = área hidráulica de la tubería (m²), para un tubo circular $A = \frac{\pi D^2}{4}$

Rangos seguros:

- Mínima ≈ 0.6 m/s (para evitar sedimentos)
- Máxima ≈ 5 m/s (para no erosionar la tubería)

$$A = \frac{\pi(0.0101)^2}{4} \approx 0.00811 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0.005010}{0.00811} \approx 0.618 \text{ m/s}$$

Interpretación:

La velocidad calculada en la tubería, 0.618 m/s, se encuentra dentro del rango recomendado por la norma OS.060, la cual indica que la velocidad mínima debe ser aproximadamente 0.6 m/s para evitar la acumulación de sedimentos y la máxima 5 m/s para prevenir la erosión de la tubería.

Este resultado confirma que el diámetro seleccionado de 4” permite un flujo adecuado, asegurando que el agua se transporte eficientemente sin riesgos de obstrucción ni daños en la tubería. Por lo tanto, la elección de este diámetro cumple con los criterios de seguridad hidráulica establecidos para el diseño del drenaje.

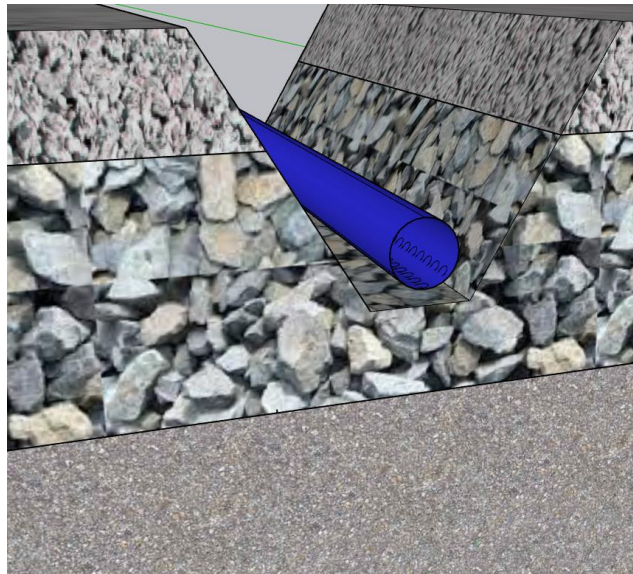
4.3.8 Excavación y profundidad de instalación

Para la instalación de la tubería de drenaje pluvial se consideró una zanja con profundidad de 0.60 m, lo cual permite garantizar la cobertura de suelo necesaria para proteger la tubería frente a cargas vehiculares y reducir el riesgo de daños mecánicos durante la operación. Este valor cumple con las recomendaciones técnicas habituales en sistemas urbanos y asegura que la tubería mantenga un adecuado recubrimiento incluso ante procesos de compactación del terreno.

La excavación se realizará de acuerdo con el trazo del colector definido en el diseño, con un ancho suficiente para permitir la colocación de la tubería de PVC sanitario Serie 20 de 4", así como la correcta compactación del material de relleno. En el fondo de la zanja se dispondrá una cama de apoyo de material granular uniforme, de espesor aproximado de 10 cm, para proporcionar estabilidad y evitar asentamientos diferenciales.

Posteriormente, se procederá al relleno lateral y superior de la tubería con material seleccionado y compactado por capas, a fin de garantizar la resistencia estructural del sistema y la durabilidad de la conducción.

Figura 15. Esquema de excavación de zanja para tubería



Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

4.3.9 Cajas de Inspección

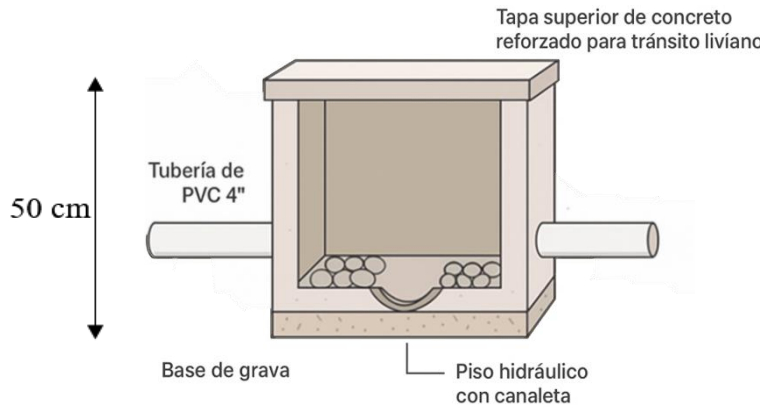
Las cajas de inspección forman parte fundamental del sistema de drenaje pluvial, ya que permiten el acceso a la red para realizar labores de limpieza, mantenimiento y control de caudales. Se proyectan en los puntos donde es necesario registrar el flujo, como en los cambios de dirección de la tubería, en las intersecciones de ramales y en tramos rectos con longitudes mayores a las recomendadas por norma.

En el presente diseño, las cajas de inspección se plantean como estructuras de concreto simple, con dimensiones internas aproximadas de $0,50 \times 0,50$ m y una profundidad promedio de 0,60 m, suficientes para alojar y dar mantenimiento a las tuberías de 4". La conexión de las tuberías se realiza de manera enfrentada o lateral, con pendiente mínima que asegure la continuidad del escurrimiento y evite acumulación de sólidos.

Cada caja cuenta con una tapa de concreto reforzado, diseñada para soportar tránsito liviano, y en su base se dispone un piso hidráulico con canaleta en forma de media caña que facilita la conducción del flujo hacia la salida.

De esta manera, las cajas no solo cumplen la función de accesibilidad a la red, sino que también contribuyen a un funcionamiento eficiente y seguro del sistema pluvial.

Figura 16. *Esquema de caja de inspección para drenaje pluvial*



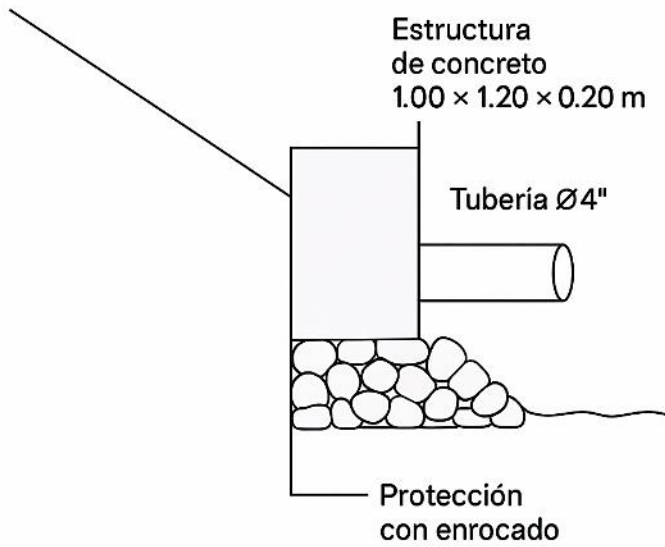
Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

4.3.10 Estructura de descarga del drenaje pluvial.

El sistema de drenaje pluvial asegura la evacuación de los caudales hacia el río Sechín mediante una tubería de PVC Serie 20 de 4 pulgadas. En el extremo de la conducción se proyecta un muro de concreto que brinda soporte y estabilidad a la tubería, acompañado de un enrocado de protección que actúa como dissipador de energía, reduciendo la velocidad de descarga y evitando procesos erosivos en la ribera del río.

Al tratarse únicamente de aguas pluviales, este diseño no constituye un vertimiento de aguas residuales, de acuerdo con lo establecido en la Ley de Recursos Hídricos (Ley N.º 29338). No obstante, para la ejecución de la obra será necesario gestionar la autorización correspondiente ante la Autoridad Nacional del Agua (ANA), a fin de garantizar la compatibilidad del diseño con las disposiciones sobre el aprovechamiento y protección de cuerpos naturales de agua.

Figura 17. Descarga final del sistema de drenaje pluvial



Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 18. Esquema del sistema de drenaje pluvial del AA.HH. Cuncan, con descarga única hacia el río Sechín

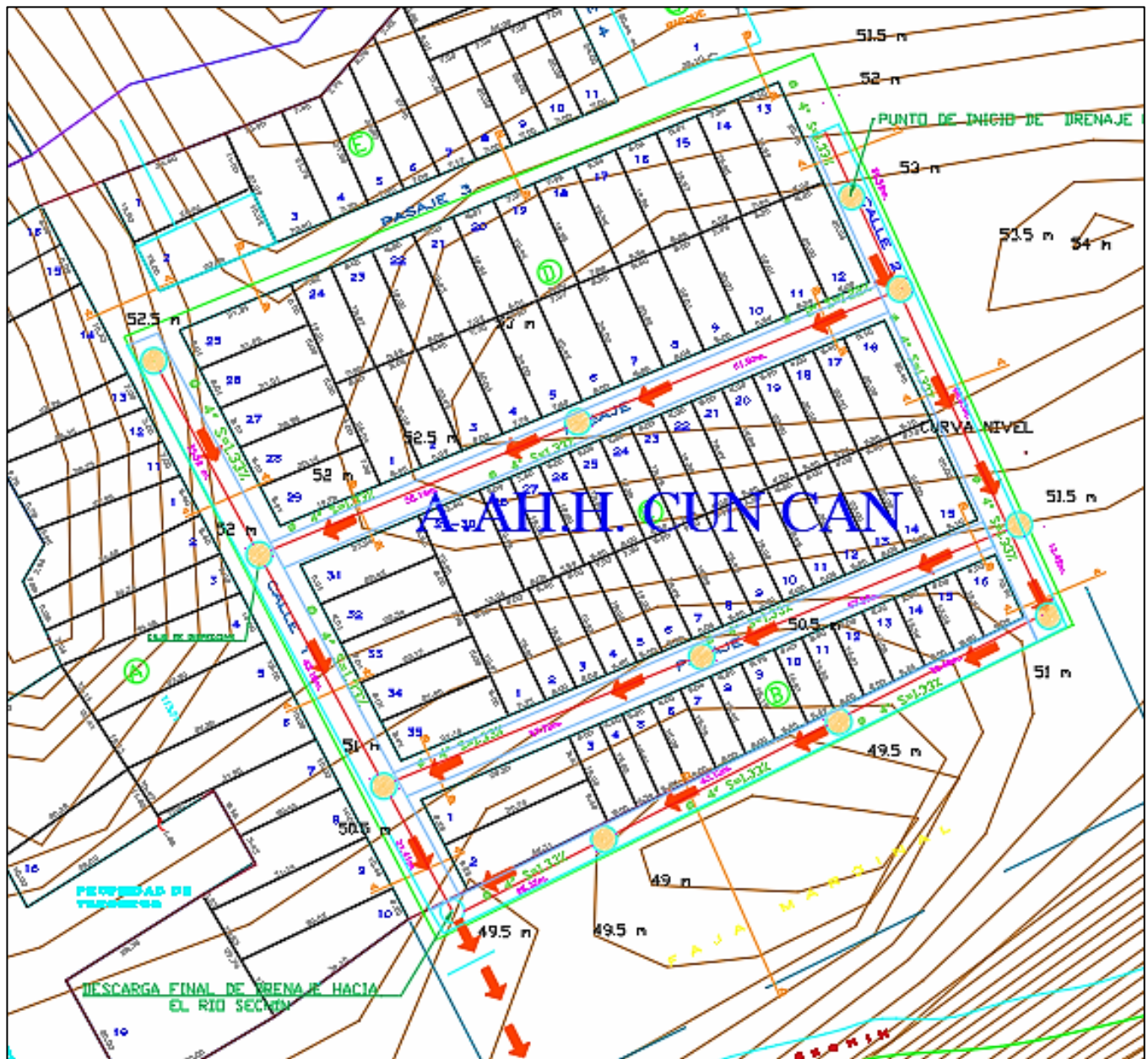
Datos del sistema de drenaje pluvial:

Longitud total de la tubería: 536.69 m.

Pendiente de la tubería: 1.33%

Cantidad de cajas de inspección: 11

Área total del pavimento: 3 175.04 m²



Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

4.4 Discusión de resultados

-Los resultados obtenidos muestran que el pavimento rígido permeable representa una alternativa eficaz para reducir la acumulación superficial de agua de lluvia en Casma, ciudad caracterizada por episodios de lluvias intensas que pueden generar encharcamientos e inundaciones en zonas urbanas vulnerables. La combinación de una adecuada capacidad de infiltración (32.20 mm/h, correspondiente a la mezcla con 25% de vacíos) y una resistencia a compresión aceptable (≥ 100 kg/cm²) demuestra que el sistema es técnicamente viable para soportar el tránsito urbano ligero, contribuyendo al mismo tiempo a la gestión del riesgo de desastres hídricos.

-Tras un análisis preliminar, se identificaron las zonas con menor flujo vehicular y mayor riesgo de acumulación de agua. De estas, se seleccionó una zona representativa para realizar un conteo vehicular detallado, confirmando que el tránsito es ligero. Esto indica que el pavimento permeable es adecuado para estas áreas, como calles secundarias, estacionamientos y zonas residenciales con bajo flujo de vehículos pesados.

-Los ensayos de laboratorio mostraron capacidades de infiltración comprendidas entre 27.20 y 41.20 mm/h, evidenciando que la infiltración aumenta conforme se incrementa el porcentaje de vacíos, aunque esto puede afectar ligeramente la cohesión estructural. La mezcla con 25% de vacíos alcanzó un desempeño hidráulico suficiente para infiltrar los eventos pluviales más intensos en la zona de estudio, manteniendo al mismo tiempo una resistencia mecánica adecuada. Según la ACI 522R-10, las tasas de infiltración típicas para concretos permeables diseñados para lluvias intensas oscilan entre 0.2 y 8.3 L/s·m² (aproximadamente 720–29,880 mm/h). Dado que los valores obtenidos en este estudio son mucho menores, el pavimento se clasifica como de permeabilidad moderada, adecuada para áreas con lluvias

esporádicas como Casma, confirmando la pertinencia de utilizar pavimentos permeables como estrategia de mitigación frente a la acumulación de escorrentía pluvial.

-De acuerdo con la NTP 339.034, los ensayos de compresión en probetas cilíndricas mostraron que las mezclas con 20% y 25% de vacíos alcanzaron resistencias superiores o iguales a 100 kg/cm^2 , lo cual es adecuado para vías urbanas con tránsito ligero. En contraste, mezclas con porcentajes superiores al 30% evidenciaron pérdidas significativas de resistencia, incluyendo desprendimientos superficiales. Estos resultados concuerdan con la literatura especializada, que reporta que un exceso de vacíos compromete la durabilidad y estabilidad del material, justificando la selección de la mezcla con 25% de vacíos como óptima.

-Respecto al drenaje pluvial complementario, se determinó el caudal de diseño considerando el área de pavimento de 0.3175 ha, distintas duraciones críticas y periodos de retorno. El caudal máximo crítico se presentó para un evento con $T_c = 0.1667 \text{ h}$ (10 minutos), $TR = 50$ años y $C = 0.20$, alcanzando un valor de $Q = 5.010 \text{ L/s}$. Para transportar este caudal, se calculó el diámetro de la tubería mediante la ecuación de Manning, utilizando tubería de PVC ($n = 0.013$) y pendiente de 1.33%, obteniéndose un diámetro calculado de 79 mm y adoptando finalmente $D = 4''$ por disponibilidad comercial. La velocidad de flujo resultó $V \approx 0.618 \text{ m/s}$, estando dentro del rango recomendado de 0.6 a 5 m/s. En conjunto, el diseño es hidráulicamente eficiente, capaz de manejar lluvias extremas sin riesgo de desbordes, y constituye una solución adecuada para la mitigación de inundaciones en la zona de estudio.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. Se determinó que los pavimentos rígidos permeables constituyen una alternativa eficaz para reducir la acumulación superficial de agua de lluvia en la ciudad de Casma, al favorecer la infiltración y disminuir el escurrimiento superficial. Los ensayos realizados demostraron que la mezcla con 25% de vacíos presentó una capacidad de infiltración de 32.20 mm/h y una resistencia a la compresión igual o superior a 100 kg/cm², lo que permite soportar el tránsito urbano ligero sin comprometer la estabilidad estructural.

2. Se identificaron como zonas potenciales para el uso del pavimento rígido permeable aquellas ubicadas en la zona ribereña de la ciudad de Casma, por presentar condiciones de tránsito ligero y riesgo de inundación. En particular, el AA.HH. Cun Can fue seleccionado como zona de estudio, al evidenciar menor flujo vehicular y mayor susceptibilidad a inundaciones, según el Plano de Jerarquización del Sistema Vial Urbano Actual y los conteos vehiculares realizados. Estas características confirman la viabilidad técnica y funcional de implementar pavimentos rígidos permeables en dicha área, en coherencia con el objetivo de identificar las zonas de uso del pavimento rígido permeable considerando las condiciones de tráfico.

3. Se comprobó mediante ensayos de laboratorio que la capacidad de infiltración aumenta proporcionalmente con el porcentaje de vacíos en la mezcla. La composición con 25% de vacíos alcanzó una tasa de infiltración de 32.2 mm/h, lo cual es desempeño hidráulico suficiente para evacuar los eventos pluviales más intensos registrados en la zona, manteniendo simultáneamente una resistencia mecánica adecuada. De acuerdo con la norma ACI 522R-10, los valores obtenidos clasifican al pavimento como de permeabilidad moderada, adecuada para entornos urbanos.

4. Se verificó que las mezclas con 20% y 25% de vacíos superaron los 100 kg/cm² de resistencia a la compresión, cumpliendo con los valores mínimos exigidos por la Norma Técnica Peruana NTP 339.034 para pavimentos de tránsito liviano. Por el contrario, las mezclas con porcentajes superiores al 30% presentaron una disminución significativa de la resistencia, estableciéndose que el rango óptimo de vacíos para las condiciones locales de Casma se encuentra entre 20% y 25%.

5. Se diseñó un sistema de drenaje pluvial para un área de pavimento de 0.3175 ha determinándose un caudal máximo crítico de $Q = 5.010$ L/s para un evento de $T_c = 0.1667$ h (10 minutos), $TR = 50$ años y $C = 0.20$. La tubería de PVC de 4” de diámetro y pendiente de 1.33% permite transportar el flujo a una velocidad aproximada de 0.618 m/s, valor que se encuentra dentro del rango recomendado (0.6–5 m/s). Esto demuestra que el sistema de drenaje diseñado es hidráulicamente eficiente y funcional frente a condiciones de lluvias extremas.

5.2 Recomendaciones

1. Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Casma considerar la implementación progresiva de pavimentos rígidos permeables en vías secundarias y zonas de acumulación pluvial, con el fin de reducir el escurrimiento superficial y mitigar los aniegos urbanos.

2. Se sugiere a la Gerencia de Infraestructura y Desarrollo Urbano de la Municipalidad Provincial de Casma priorizar la zona del AA.HH. Cun Can como área piloto para la implementación del pavimento rígido permeable, así como considerar su aplicación en otras zonas ribereñas que presenten condiciones de tránsito ligero y riesgo de inundación similares. Esta medida permitirá reducir la vulnerabilidad frente a aniegos y mejorar la gestión pluvial en los sectores más expuestos de la ciudad.

3. Se recomienda a los responsables técnicos y supervisores de obra realizar un control estricto del proceso de dosificación y del porcentaje de vacíos en la elaboración del concreto permeable, con el fin de asegurar un equilibrio óptimo entre la capacidad de infiltración y la resistencia mecánica. Dicho control permitirá garantizar la durabilidad y el desempeño hidráulico del pavimento bajo las condiciones propias de Casma.

4. Se recomienda a los proyectistas y entidades encargadas del diseño vial emplear mezclas de concreto permeable con un porcentaje de vacíos comprendido entre 20% y 25% para vías de tránsito liviano, dado que este rango garantiza la resistencia estructural y la permeabilidad necesarias. De esta manera, se evita la pérdida de capacidad portante que se presenta en mezclas con mayores porcentajes de vacíos.

5. Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Casma considerar la implementación del sistema de drenaje pluvial diseñado en el área de estudio, dado que ha demostrado eficiencia hidráulica y funcionalidad frente a lluvias extremas. Asimismo, se sugiere replicar el método de dimensionamiento empleado en futuros proyectos de infraestructura pluvial, asegurando un diseño adecuado y sostenible para el control de inundaciones en zonas vulnerables

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

6. Referencias bibliográficas

Alcántara, P., & Ruiz, M. (2023). *Relación entre infiltración, escorrentía y mitigación de riesgos hidrológicos en zonas urbanas. Revista Latinoamericana de Hidrología Urbana*, 11(2), 45–59.

American Concrete Institute. (2022). Guide for pervious concrete pavements (ACI 522R-10). American Concrete Institute.

CRED. (2022). *Guía de terminología sobre reducción del riesgo de desastres*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters.

Castillo, A., & Ramírez, P. (2022). *Evaluación del mantenimiento en el desempeño hidráulico de pavimentos permeables en zonas tropicales. Ingeniería Civil y Territorio*, 8(2), 121–134.

Delgado, A., & Torres, F. (2021). *Análisis del comportamiento hidráulico de pavimentos permeables en entornos urbanos. Ingeniería y Territorio*, 29(4), 101–115.

Fernández, C., & López, J. (2022). *Modelación de la infiltración y su efecto en la reducción de escorrentía superficial. Revista Ambiental de Ingeniería Civil*, 14(1), 77–88.

García, L. (2020). *Sistemas de drenaje pluvial. Historia y aplicaciones modernas. Revista de Ingeniería y Tecnología*, 15(2), 34–42.

Garrote Villar, D. (2020). *Propiedades mecánicas del hormigón permeable. Resistencia a la flexión y aplicaciones estructurales. Revista Ingeniería Civil*, 27(3), 45–54.

Henry Glicerio Ramírez Tapia. (2021). *Estudio de la relación entre porcentaje de vacíos y resistencia en concretos permeables [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]*.

Hernández, F., & Silva, J. (2021). *Estrategias de mantenimiento preventivo para pavimentos permeables urbanos. Revista de Ingeniería y Gestión Ambiental*, 12(4), 59–70.

Jiménez, L., & Vargas, S. (2024). *Mantenimiento y desempeño de pavimentos permeables: revisión técnica y ambiental*. *Revista de Infraestructura Sostenible*, 18(2), 90–104.

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (2024). *Informe técnico sobre resistencia a la compresión del concreto permeable*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.

López, C., Gutiérrez, M., & Herrera, A. (2021). *Evaluación de la infiltración en pavimentos permeables para la reducción de escorrentía urbana*. *Revista de Ingeniería Ambiental y Civil*, 17(3), 84–96.

Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. (2014). *Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú*.

Mendoza, D., & Quispe, R. (2023). *Eficiencia hidráulica y durabilidad del concreto permeable con distintos porcentajes de vacíos*. *Revista Peruana de Tecnología del Concreto*, 6(1), 55–70.

Neira Peña, Y. S. (2023). *Módulo de elasticidad en concretos de distinta granulometría*. *Revista Ciencia y Tecnología de Materiales*, 12(1), 55–62.

Norma Técnica Peruana. (2019). NTP 339.034. *Concreto. Método de ensayo de resistencia a la compresión de cilindros moldeados de concreto*. Instituto Nacional de Calidad – INACAL.

Oliveira, M., Guerreiro, F., & Abreu, L. (2020). *Permeabilidad y durabilidad en concretos drenantes*. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Civil*, 18(4), 112–126.

Palomino Flores, J. A. (2023). *Evaluación de la eficiencia del pavimento poroso como alternativa para la gestión de aguas pluviales en la ciudad de Huancayo [Tesis de pregrado, Universidad Continental]*. Repositorio Institucional de la Universidad Continental.

Pérez, L., & González, D. (2023). *Desempeño hidráulico de pavimentos permeables en zonas urbanas de alta pluviosidad. Revista Latinoamericana de Hidrología Urbana*, 15(2), 103–116.

Rivas, P., & Torres, M. (2020). *Análisis del comportamiento hidráulico de pavimentos permeables en función de sus capas estructurales. Revista de Infraestructura y Medio Ambiente*, 9(1), 39–50.

Rodríguez Lacayo, C., Pérez, D., & Juárez, M. (2020). *Estudio experimental de concreto permeable para pavimentos urbanos. Revista de Ingeniería Civil*, 8(2), 115–123.
<https://doi.org/10.xxxx/ric.2020.008>

Santos, B., & Herrera, P. (2021). *Estrategias de conservación y limpieza de pavimentos permeables para mantener su capacidad de infiltración. Ingeniería del Agua y Medio Ambiente*, 9(3), 66–79.

SENAMHI. (2025). *Datos meteorológicos de Casma. Instituto de Defensa Civil – IDESep*.

Vargas, E., & Molina, R. (2022). *Relación entre infiltración y control de escorrentía en sistemas urbanos sostenibles. Ingeniería del Agua*, 26(1), 45–57.

Ximénez Miralles, F. (2020). *Influencia de la porosidad en el desempeño hidráulico de pavimentos permeables. Revista Brasileña de Ingeniería Civil*, 22(3), 78–89.

VII. ANEXOS

7. Anexos.

7.1 Anexo 1.

Figura 19. Factores de corrección por unidad de peaje/ vehículos ligeros.

Factores de corrección de vehículos ligeros por unidad de peaje - Promedio (2010-2016)															FORMATO N° 1.1 A
N°	Peaje	Enero Ligeros	Febrero Ligeros	Marzo Ligeros	Abril Ligeros	Mayo Ligeros	Junio Ligeros	Julio Ligeros	Agosto Ligeros	Septiembre Ligeros	Octubre Ligeros	Noviembre Ligeros	Diciembre Ligeros	Total Ligeros	
		FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	
1	AGUAS CALIENTES	0.9394	0.8963	1.1161	1.0973	1.1694	1.1943	0.9438	0.8773	0.9386	1.0294	1.0292	0.9845	1.0000	
2	AGUAS CLARAS	1.0204	1.0868	1.1013	1.0449	0.9979	0.9893	0.8917	0.9168	1.0069	1.0133	1.0712	0.8127	1.0000	
3	AMBO	0.7822	0.8431	0.8997	0.7349	0.7735	0.7823	0.7479	0.9820	1.0329	0.9942	0.9966	0.8835	1.0000	
4	ATICO	0.8849	0.7376	1.0376	1.0168	1.1336	1.1764	0.9711	0.9893	1.0821	1.0943	1.1339	0.9021	1.0000	
5	AYAVIRI	0.9913	0.9287	1.0670	1.0730	1.1009	1.0878	0.9449	0.9108	0.9242	1.0433	1.0348	0.9733	1.0000	
6	CAMAÑA	0.5935	0.4904	1.0509	1.2363	1.3886	1.3961	1.2549	1.2278	1.3076	1.2698	1.2303	0.8494	1.0000	
7	CANCAS	0.8722	0.8703	1.0694	1.1121	1.1631	1.2130	0.9722	0.9150	1.0316	1.0161	1.0239	0.8914	1.0000	
8	CARACOTO	1.0376	0.9886	1.0999	1.0350	1.0378	1.0471	0.9900	0.8677	0.9933	0.9893	1.0077	0.7648	1.0000	
9	CASAPACRA	1.1441	1.1924	1.2529	0.9991	0.9240	1.0243	0.8401	0.8801	1.0308	0.9739	1.1463	0.8555	1.0000	
10	CATAC	1.0992	1.0389	1.3334	1.0403	1.0772	1.0762	0.8316	0.8717	0.9632	0.9314	1.1169	0.9747	1.0000	
11	CCASACANCHA	1.0321	1.0992	1.1050	1.0611	1.0719	1.0363	0.9517	0.9133	0.8930	0.9959	0.9734	0.7793	1.0000	
12	CHACAPAMPA	1.0342	0.9781	0.9986	1.0633	1.0693	1.2488	1.0419	0.9217	0.9818	0.9211	1.0968	0.9676	1.0000	
13	CHALHUAPUQUO	1.1804	1.2304	1.2157	1.0487	1.0103	1.0467	0.7867	0.8314	1.0143	0.9347	1.0196	0.9379	1.0000	
14	CHICAMA	0.9891	0.9366	1.0369	1.0347	1.0320	1.0477	0.9068	0.9913	1.0333	1.0166	1.0421	0.7493	1.0000	
15	CHILCA	0.6041	0.5736	0.7824	1.0624	1.3470	1.6110	1.3032	1.4238	1.3046	1.2451	1.1887	0.6261	1.0000	
16	CHULLQUI	1.0426	1.0728	1.0509	1.0163	1.0300	0.9407	0.9832	0.9316	0.9915	0.9207	1.2832	0.8829	1.0000	
17	CHULUCANAS	1.0210	1.0629	1.1365	1.1353	1.0630	1.0374	0.9771	0.9150	0.9843	0.9479	0.9145	0.7502	1.0000	
18	CIUDAD DE DIOS	0.9338	0.9146	1.1930	1.0736	1.0024	1.0271	0.9071	0.9183	1.0902	0.8660	1.0664	0.6349	1.0000	
19	COORCONA	1.1416	1.1681	1.2623	1.0206	0.9748	1.0336	0.7786	0.8793	1.0085	0.9892	1.1933	0.8888	1.0000	
20	CRUCE BAYOVAR	0.9033	0.8846	1.0933	1.0974	1.1392	1.1950	0.8640	0.9864	1.1644	0.9966	1.0861	0.6673	1.0000	
21	CUCULLI	0.9988	1.0350	1.1242	1.1174	1.1070	0.9543	0.9574	0.9186	0.9449	0.9571	0.9672	1.0218	1.0000	
22	DESVO OLMO	0.9736	1.1015	1.1312	1.1600	1.1431	1.0896	0.9427	0.8716	0.9919	0.9362	1.0093	0.7176	1.0000	
23	DESVO TALARA	0.8889	0.8761	1.0496	1.0840	1.1438	1.1734	0.9463	0.9933	1.1133	1.0280	1.0362	0.8201	1.0000	
24	EL FISCAL	0.8940	0.8401	1.0559	1.0613	1.0717	1.1269	1.0109	0.9938	1.0838	1.0772	1.0791	0.8290	1.0000	
25	EL PARAISO	0.9203	0.9103	1.0517	0.9837	1.1149	1.1469	0.9012	0.9733	1.1080	1.0310	1.0929	0.7331	1.0000	
26	FORTALEZA	0.9181	0.8373	1.0130	1.0162	1.1492	1.1833	0.8763	1.0108	1.1687	1.0734	1.1340	0.6325	1.0000	
27	HUACRAPUQUO	0.8934	0.9256	0.8519	0.7863	1.1304	0.9951	0.8703	0.9487	0.9945	0.9710	1.1329	0.8270	1.0000	
28	HUARMEY	0.9035	0.9244	1.1291	1.1310	1.2668	1.1960	0.8634	0.9638	1.1300	1.0342	1.1438	0.6719	1.0000	
29	ICA	0.8932	0.8816	1.0171	1.1074	1.1066	1.1329	0.9323	0.9830	1.0531	0.9753	1.1793	0.8886	1.0000	
30	ILAVE	1.0094	0.9390	0.9766	1.0121	1.1366	1.1846	0.9933	0.7789	1.0439	1.0628	1.1372	0.9867	1.0000	
31	ILO	0.8296	0.8229	1.0127	1.0787	1.0722	1.1206	1.1008	1.0350	0.9804	1.0440	1.0342	0.8332	1.0000	
32	JAHUAY - CHINCHA	0.8933	0.8732	1.0316	0.9073	1.1200	1.1826	0.9069	0.9922	1.1421	1.0329	1.0328	0.4477	1.0000	
33	LOMA LARGA BAJA	1.0342	1.2728	1.3703	1.2397	1.1378	1.0323	0.8263	0.9063	0.9251	0.8919	0.8810	0.7335	1.0000	
34	LUNAHUANA	1.0076	1.0300	1.0448	0.9513	1.0102	1.1443	0.8263	0.9416	1.1121	0.9731	1.0782	1.0732	1.0000	
35	MACUSANI	1.0431	1.0018	1.0480	1.0861	1.1083	1.1300	0.9928	0.9432	1.0228	0.9617	1.0240	0.7388	1.0000	
36	MARCONA	0.9662	0.8961	0.9632	1.0088	1.0983	1.0330	1.0341	1.0196	1.0333	1.0271	1.0027	0.7889	1.0000	
37	MARAFANI	0.4710	0.3893	0.9613	1.3079	1.7133	1.6997	1.1668	1.3740	1.3999	1.4242	1.3091	0.7821	1.0000	
38	MENOCUCHO	0.9317	1.0027	1.0511	1.0791	1.0349	1.0373	0.9502	0.9064	1.0834	0.8323	0.7838	0.5208	1.0000	
39	MOOCE	1.0278	0.9771	1.0470	1.0630	1.0408	0.9962	0.8988	0.9034	1.0213	1.0118	1.0013	0.6605	1.0000	
40	MONTALVO	0.9048	0.8791	1.0473	1.0354	1.0354	1.1059	1.0888	1.0071	1.0540	1.0687	1.0333	0.8310	1.0000	
41	MORROPPE	0.9513	0.9141	1.0811	1.1244	1.1424	1.1751	0.8926	0.9687	1.0920	0.9715	1.0545	0.6746	1.0000	
42	MOYOBAMBA	1.0830	1.0698	1.0813	1.0631	1.0168	0.9738	0.9433	0.9373	0.9781	0.9702	0.9891	0.8038	1.0000	
43	NAZCA	0.9601	0.9054	1.0447	1.0379	1.0734	1.0837	0.9221	0.9299	1.0191	1.0129	1.0678	1.0237	1.0000	
44	PACANGUILLA	0.9367	0.9280	1.0694	1.0717	1.1093	1.1396	0.9319	0.9369	1.1034	1.0141	1.0390	0.8863	1.0000	
45	PACRA	1.0292	1.0010	1.0522	0.9639	1.1074	1.0791	0.8941	0.9429	1.0130	0.9969	1.0593	0.9694	1.0000	
46	PAITA	0.8338	0.8399	0.9933	1.0884	1.1366	1.1292	1.0983	1.0803	1.0034	1.0469	1.0315	0.7241	1.0000	
47	PAMPA CUELLAR	1.0470	0.8406	1.0891	1.0788	1.1341	1.1307	0.9423	0.7893	1.0577	1.0224	1.0477	0.8316	1.0000	
48	PAMPA GALERA	0.9682	1.0250	1.1273	1.1108	1.0497	1.0842	0.8216	0.7799	1.0486	1.0741	1.1328	0.8288	1.0000	
49	PAMPAMARCA	0.9676	0.9879	1.0638	1.0298	1.1090	1.0882	0.9872	0.9048	0.8396	0.9118	0.9069	0.8363	1.0000	
50	PATAHUASI	1.0387	0.9424	1.1593	1.0874	1.1073	1.1136	0.9016	0.7983	1.0365	0.9748	1.0193	0.8230	1.0000	
51	PEDRO RUIZ	0.9743	1.0357	1.1043	1.1210	1.1162	1.0422	0.9404	0.9088	0.9643	0.9746	1.0028	0.7673	1.0000	
52	PICHIRHUA	1.0429	1.1004	1.1389	1.0372	1.0324	1.0052	0.9096	0.8779	0.9784	0.9987	1.0072	0.7769	1.0000	
53	PIURA SULLANA	1.1032	1.0808	1.1780	1.0977	1.0536	1.0473	0.9446	0.9472	0.9933	0.9479	0.9443	0.7334	1.0000	
54	PLANCON	1.0322	1.0822	1.0719	1.0640	1.0389	1.0147	0.9440	0.9113	0.9316	0.9378	1.0473	0.7384	1.0000	
55	POMAHUACA	0.9923	0.9973	1.1424	1.1909	1.1430	1.0907	0.9262	0.8476	0.9921	0.9880	1.0076	0.7033	1.0000	
56	PONGO	1.0334	1.0848	1.0608	1.0886	1.0367	1.0028	0.8626	0.9141	0.9728	0.9669	0.9699	0.8065	1.0000	
57	POZO REDONDO	0.9235	0.8302	1.0219	1.0682	1.1022	1.0869	1.0083	1.0403	1.1089	1.0396	1.0052	0.8472	1.0000	
58	PUNTA PERDIDA	0.9849	0.8010	1.1299	1.2138	1.4381	1.4051	0.8099	0.3874	1.1694	1.0352	1.2693	1.0738	1.0000	
59	QUILLI	1.1371	1.1635	1.2501	1.0383	1.0166	1.0372	0.8120	0.8670	0.9830	0.9994	1.1196	0.8197	1.0000	
60	RUMICRACA	1.0728	0.9436	1.0297	0.8378	1.2202	1.1942	0.8737	0.8973	1.0348	1.0713	1.1703	0.9911	1.0000	
61	SAN ANTON								1.1261	1.0539	0.9635	1.0337	0.8809	1.0000	
62	SAN GABAN	1.0300	0.9816	1.0783	1.0904	1.1222	1.0964	0.9730	0.9088	0.9403	0.9236	0.9675	0.8183	1.0000	
63	SAN LORENZO	0.9706	1.0335	1.1193	1.1238	1.1044	1.0287	0.8773	0.9294	0.9572	0.9331	1.0533	0.7330	1.0000	
64	SANTA LUCIA	1.0119	0.8481	1.1341	1.1083	1.1142	1.1636	0.9990	0.7603	1.0670	1.0127	1.0634	0.8428	1.0000	
65	SAYLLA	1.0247	0.9848	1.1232	1.0933	1.0634	1.0650	0.9819	0.9123	0.9189	0.9652	0.9676	0.9300	1.0000	
66	SERPENTIN DE PASAMAYO	1.0932	1.0372	1.0806	1.0834	1.0949	1.0694	0.9683	0.8130	1.0387	1.0992	1.0482	0.9283	1.0000	
67	SICUYANI	1.0307	0.8251	1.0286	1.0833	1.1303	1.1339	0.9101	0.7631	1.0678	1.0385	1.0385	1.0308	1.0000	
68	SODOS	1.2201	0.9974	0.9997	0.8936	1.0994	1.0721	0.9417	0.9364	1.0115	1.0043	1.0295	0.9394	1.0000	
69	TAMBOSGRANDE	0.9319	0.9393	1.0447	1.1038	1.0969	1.0611	1.0652	1.0492	1.0232	0.9999	0.9612	0.8933	1.0000	
70	TOMASURI	0.9837	0.9170	1.0642	1.0833	1.1028	1.0928	1.0370	0.9984	0.9003	1.0377	1.0434	0.7738	1.0000	
71	TUNAN	1.0782	1.0363	1.1034	1.1013	1.0408	1.0999	0.8633	0.8321	0.9794	0.9803	1.1139	0.9908	1.0000	
72	UNION PROGRESO	1.04													

7.2 Anexo 2.

Figura20. Factores de corrección por unidad de peaje/ vehículos pesados.

Factores de corrección de vehículos pesados por unidad de peaje - Promedio (2010-2016)

FORMATO N° 1.1 B

Código	Peaje	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
		Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados	Pesados
		FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC
1	AGUAS CALIENTES	1.0234	0.9771	1.0540	1.0631	1.0703	1.1254	0.9831	0.9574	0.9555	0.9434	0.9429	0.9922	1.0000
2	AGUAS CLARAS	1.0497	1.0164	0.9941	1.0038	0.9878	0.9823	0.9940	0.9397	0.9819	1.0086	1.0042	0.8920	1.0000
3	AMBO	0.7967	0.7899	0.8193	0.7762	0.7945	0.7905	0.7890	1.0495	1.0086	0.9572	0.9482	0.9447	1.0000
4	ATICO	1.0402	0.9961	1.0326	1.0478	1.0392	1.0365	1.0288	0.9862	0.9828	0.9573	0.9313	0.9436	1.0000
5	AYAVIRI	1.0977	1.0057	1.0835	1.0533	1.0511	1.0319	0.9894	0.9305	0.9335	0.9436	0.9485	0.9933	1.0000
6	CAMAÑA	0.9370	0.8802	1.0410	1.0753	1.0804	1.0953	1.0782	1.0099	1.0099	0.9947	0.9786	0.8325	1.0000
7	CANCAS	1.0490	0.9898	1.0151	1.0452	1.0384	1.0381	1.0041	0.9824	1.0019	0.9531	0.9430	0.9563	1.0000
8	CARACOTO	1.0489	1.0165	1.0879	1.0415	1.0743	1.0541	0.9902	0.9641	0.9573	0.9433	0.9765	0.8133	1.0000
9	CASARACRA	1.1123	1.0819	1.1121	0.9769	0.9865	0.9782	0.9872	0.9697	0.9731	0.9521	1.0674	0.8445	1.0000
10	CATAC	1.0538	1.0807	1.1606	1.0756	1.0119	0.9642	0.9391	0.9372	0.9719	0.9644	0.9934	0.9934	1.0000
11	OCASACANCHA	1.0683	1.0820	1.0974	1.0774	1.0216	0.9848	0.9688	0.9368	0.9532	0.9509	0.9196	0.7873	1.0000
12	CHACAPAMPA	1.1253	0.9872	0.9836	1.0061	1.0477	1.0441	1.0496	0.9699	0.9340	0.9269	0.9523	1.0237	1.0000
13	CHALHUAPUQUIO	1.0741	1.0886	1.0814	1.0640	1.0533	0.9822	0.9411	0.9321	0.9569	0.9455	0.9498	0.9948	1.0000
14	CHICAMA	0.9742	0.9585	1.0327	1.0799	1.0388	1.0428	1.0427	0.9889	0.9895	0.9814	0.9439	0.7964	1.0000
15	CHILCA	0.9471	0.9731	1.0202	1.0429	1.0632	1.0551	1.0341	0.9979	0.9991	0.9830	0.9674	0.8073	1.0000
16	CHILLQUI	0.9571	0.9638	1.0534	1.0776	1.0809	1.0402	1.0171	0.9865	0.9731	0.9169	1.2400	0.9257	1.0000
17	CHILUCANAS	1.0042	0.9705	1.1344	1.1380	1.0939	1.0464	1.0225	0.9306	0.9603	0.9195	0.8980	0.7996	1.0000
18	CIUDAD DE DIOS	0.9412	0.9586	1.1245	1.1019	0.9763	1.0522	1.0638	1.0309	1.0687	0.8375	0.8101	0.8659	1.0000
19	OORCONA	1.1221	1.0894	1.1031	0.9336	0.9648	0.9756	0.9739	0.9633	0.9769	0.9739	1.0900	0.9561	1.0000
20	CRUCE BAYOVAR	0.9925	0.9617	1.0183	1.0654	1.0473	1.0635	1.0368	0.9979	1.0135	0.9779	0.9314	0.7892	1.0000
21	CUCULI	0.9544	1.0489	1.1882	1.1610	1.0781	0.9789	0.9635	0.9222	0.9034	0.9413	0.9400	1.0895	1.0000
22	DESVO OLMOS	1.0670	1.0534	1.0607	1.0607	1.0520	1.0192	0.9857	0.9187	0.9394	0.9597	0.9510	0.8440	1.0000
23	DESVO TALARA	1.0234	0.9763	1.0148	1.0403	1.0343	1.0196	1.0096	0.9862	1.0060	0.9840	0.9643	0.9566	1.0000
24	EL FISCAL	0.9793	0.9154	1.0173	1.0391	1.0246	1.1024	1.0633	1.0320	1.0236	0.9910	0.9728	0.8304	1.0000
25	EL PARAISO	1.0139	0.9909	1.0594	1.0301	1.0370	1.0203	1.0117	0.9785	0.9938	0.9754	0.9592	0.8049	1.0000
26	FORTALEZA	1.0095	0.9646	1.0035	1.0378	1.0432	1.0527	0.9832	0.9989	0.9807	0.9610	0.7830	1.0000	1.0000
27	HUACRAPUQUIO	0.8880	0.9011	0.8423	0.7848	1.1603	1.0234	0.9226	0.9778	0.9218	0.9083	1.1194	0.9334	1.0000
28	HUARMEY	1.0626	1.0429	1.1171	1.1386	1.1478	1.0300	0.9937	0.9497	0.9638	0.9479	0.9288	0.7730	1.0000
29	ICA	0.9862	0.9844	1.0316	1.0471	1.0536	1.0587	1.0384	0.9804	0.9489	0.9332	1.0246	0.8833	1.0000
30	ILAVE	1.0287	0.9435	0.9580	1.1018	1.0332	1.0505	1.0763	0.8865	1.0774	1.0686	1.1077	1.0765	1.0000
31	ILO	1.0669	1.0457	1.0735	0.9887	1.0028	1.0483	1.0198	1.0090	0.9598	0.9630	0.9478	0.8449	1.0000
32	JANUAY - CHINCHA	1.0249	0.9973	1.0339	1.0479	1.0542	1.0382	1.0310	0.9828	0.9677	0.9563	0.9390	0.4681	1.0000
33	LOMA LARGA BAJA	0.9984	1.0881	1.2082	1.2064	1.1264	1.0819	0.9625	0.9904	0.9475	0.9315	0.9038	0.7844	1.0000
34	LUNA HUANA	1.1137	1.0802	1.0493	1.0496	0.9891	1.0416	0.9823	0.9305	0.9768	0.9344	0.9505	1.0300	1.0000
35	MACUSANI	1.0472	1.0357	1.0808	1.0272	1.1020	1.0280	1.2321	0.9430	0.9199	0.9216	0.9320	0.8424	1.0000
36	MARCONA	1.0211	0.9817	0.9389	1.0037	1.1061	1.0323	1.0444	1.0395	1.0602	0.9693	0.9632	0.8165	1.0000
37	MATAPANI	0.9769	0.8851	1.0520	1.0660	1.0736	1.0200	1.0076	1.0345	0.9879	0.9761	0.8394	0.7961	1.0000
38	MENOCUCHO	1.0902	1.0710	1.1233	1.0356	0.9978	0.9628	0.9467	0.9518	1.0001	0.8032	0.7510	0.6242	1.0000
39	MOOCE	0.9589	0.9880	1.0360	1.1377	1.0767	0.9655	1.0381	0.9890	0.9930	0.9641	0.9495	0.6739	1.0000
40	MONTALVO	0.9749	0.9489	1.0188	1.0360	1.0138	1.0984	1.0793	1.0412	1.0186	0.9900	0.9696	0.8286	1.0000
41	MORROPE	0.9833	0.9582	1.0108	1.0890	1.0412	1.0481	1.0383	1.0113	1.0140	0.9789	0.9444	0.7873	1.0000
42	MOYOBAMBA	1.0394	1.0126	1.0017	1.0501	1.0243	0.9980	0.9971	0.9593	0.9630	0.9824	0.9764	0.8706	1.0000
43	NAZCA	1.0512	1.0102	1.0291	1.0329	1.0337	1.0279	0.9978	0.9794	0.9595	0.9573	0.9266	1.0810	1.0000
44	PACANGUILLA	0.9774	0.9487	1.0090	1.0641	1.0495	1.0523	0.9901	0.9939	0.9939	0.9811	0.9523	0.8040	1.0000
45	PACRA	1.0868	1.0277	1.0319	1.0367	1.0279	0.9996	0.9696	0.9510	0.9694	0.9504	0.9933	1.0005	1.0000
46	PAITA	1.0781	1.0144	1.0791	1.1787	1.1043	1.0823	1.1406	1.0573	0.9480	0.9039	0.8388	0.7935	1.0000
47	PAMPA CUELLAR	1.1278	1.1080	1.0743	1.0196	1.1381	1.0914	0.9833	0.9499	0.9494	0.8790	0.8946	0.8184	1.0000
48	PAMPA GALERA	1.0903	1.0946	1.0837	1.0354	1.0345	1.0078	0.9802	0.9302	0.9354	0.9417	0.9377	0.8104	1.0000
49	PAMPAMARCA	1.0892	1.0541	1.0691	1.0808	1.0664	1.0201	0.9938	0.9473	0.7723	0.7828	0.7751	0.8073	1.0000
50	PATRUASI	1.0842	1.0620	1.0935	1.0743	1.0716	1.0642	1.0134	0.9309	0.9448	0.8982	0.9088	0.7907	1.0000
51	PEDRO RUIZ	1.0395	1.0270	1.0141	1.0435	1.0091	0.9897	1.0051	0.9512	0.9635	0.9802	0.9788	0.8808	1.0000
52	PICHIRHUA	1.0749	1.0717	1.0921	1.0739	1.0482	1.0267	0.9978	0.9372	0.9326	0.9460	0.9215	0.7813	1.0000
53	PIURA SULLANA	1.0777	1.0635	1.1221	1.0807	1.0386	1.0120	1.0199	0.9693	0.9893	0.9711	0.9363	0.7840	1.0000
54	PUNCHON	1.3438	1.2774	1.1203	1.2187	1.0792	1.0400	0.9561	0.8949	0.8533	0.8878	0.9470	0.7937	1.0000
55	POMAHUACA	1.0921	1.0391	1.0626	1.0829	1.0577	1.0278	0.9851	0.9081	0.9596	0.9608	0.9436	0.8043	1.0000
56	POMBO	1.1352	1.0876	1.0772	1.0246	0.9968	0.9762	0.9396	0.9093	0.9267	0.9780	0.9737	0.9432	1.0000
57	POZO REDONDO	1.0265	0.9947	1.0212	1.0323	1.0463	1.0444	0.9906	0.9978	1.0416	1.0080	0.9479	0.8933	1.0000
58	PUNTA PERDIDA	1.1241	1.1208	1.0721	1.0308	1.3098	1.1524	0.9881	0.9410	0.9228	0.8638	0.9105	0.9502	1.0000
59	QUILLUA	1.1612	1.0951	1.0804	0.9231	0.9335	0.9738	0.9523	0.9309	0.9766	0.9979	1.1238	0.9767	1.0000
60	RUMICHACA	1.0818	1.0286	1.0299	1.0168	1.0400	0.9999	0.9651	0.9211	0.9717	0.9617	1.0142	1.0086	1.0000
61	SAN ANTON								1.0513	1.0045	0.9507	1.0325	0.9882	1.0000
62	SAN GABAN	1.0987	1.0538	1.1783	1.1125	1.1375	1.0887	1.2293	0.8892	0.8511	0.8426	0.9370	0.8536	1.0000
63	SAN LORENZO	1.0406	1.0695	1.3441	1.2260	1.1595	1.0369	0.9617	0.9140	0.8716	0.8117	0.8314	0.7406	1.0000
64	SANTA LUCIA	1.0470	1.0248	1.0883	1.0801	1.0723	1.0987	1.0283	0.9249	0.9396	0.9085	0.9206	0.7987	1.0000
65	SAYLLA	1.0653	1.0234	1.0782	1.0821	1.0384	1.0339	0.9836	0.9496	0.9489	0.9527	0.9402	0.9677	1.0000
66	SERPENTIN DE PASAMAYO	1.0230	1.0047	1.0391	1.0460	1.0344	1.0180	1.0079	0.9814	0.9903	0.9671	0.9547	0.8073	1.0000
67	SICUYANI	1.1224	1.0194	1.0416	1.0932	1.1379	1.1370	1.0892	1.0167	1.0202	0.9074	0.9111	0.9537	1.0000
68	SOCOS	1.0895	1.0107	1.0037	1.0133	1.0501	0.9948	0.9791	0.9351	0.9911	0.9563	1.0190	0.9775	1.0000
69	TAMBOGRANDE	0.9981	0.7330	1.1320	1.4800	1.4249	1.2833	1.3179	1.3997	1.1935	1.0221	0.9193	0.7364	1.0000
70	TOMASIRI	0.9707	0.9200	1.0234	1.0693	1.0587	1.0722	1.0633	1.0043	0.9636	0.9993	0.9996	0.8396	1.0000
71	TUNAN	1.0667	1.0665	1.0946	1.0642	0.9824	0.9383	0.9339	0.9286	0.9760	0.9695	1.0221	1.0081	1.0000
72	UNION PROGRESO	1.1490	1.1283	1.0698	1.0555	1.0314	1.02							

7.3 Anexo 3.

Figura 21. Tasa de crecimiento de Vehículos Ligeros (a) y Vehículos Pesados (b)

Tasa de crecimiento de vehículos ligeros	
Amazonas	0.62%
Ancash	0.59%
Apurímac	0.59%
Arequipa	1.07%
Ayacucho	1.18%
Cajamarca	0.57%
Callao	1.56%
Cusco	0.75%
Huancavelica	0.83%
Huánuco	0.91%
Ica	1.15%
Junín	0.77%
La libertad	1.26%
Lambayeque	0.97%
Lima provincia	1.45%
Lima provincia	1.45%
Loreto	1.30%
Madre de dios	2.58%
Moquegua	1.08%
Pasco	0.84%
Piura	0.87%
Puno	0.92%
San Martín	1.49%
Tacna	1.50%
Tumbes	1.58%
Ucayali	1.51%

Tasa de crecimiento de vehículos pesados	
Amazonas	3.42%
Ancash	1.05%
Apurímac	6.65%
Arequipa	3.37%
Ayacucho	3.60%
Cajamarca	1.29%
Callao	4.43%
Cusco	2.33%
Huancavelica	3.85%
Huánuco	3.54%
Ica	3.90%
Junín	2.83%
La libertad	3.45%
Lambayeque	3.41%
Lima provincia	3.07%
Lima provincia	3.69%
Loreto	1.29%
Madre de dios	1.98%
Moquegua	0.27%
Pasco	0.36%
Piura	3.23%
Puno	3.21%
San Martín	3.84%
Tacna	2.88%
Tumbes	2.60%
Ucayali	2.77%

Nota. Adaptado de *Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2018

7.4 Anexo 4.

Figura 22. Factores de Distribución Direccional y de Carril para determina el Tránsito en el Carril de Diseño

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a base de Guía Aashto 93

Nota. Adaptado de *Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2018

7.5 Anexo 5.

Figura 23. Relación para determinar EE – Pavimento Rígido

Cuadro 6.3 Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos	
Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8.2 tn})
Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1})	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2})	$EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	$EE_{TA1} = [P / 14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	$EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	$EE_{TR1} = [P / 20.7]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	$EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	
Fuente: Elaboración Propia, en base a correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO'93	

Cuadro 6.4 Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Pavimentos Rígidos	
Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8.2 tn})
Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1})	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.1}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE _{S2})	$EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.1}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TA1})	$EE_{TA1} = [P / 13.0]^{4.1}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE _{TA2})	$EE_{TA2} = [P / 13.3]^{4.1}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	$EE_{TR1} = [P / 16.6]^{4.0}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	$EE_{TR2} = [P / 17.5]^{4.0}$
P = peso real por eje en toneladas	
Fuente: Elaboración Propia, en base a correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO'93	

Nota. Adaptado de *Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2020

7.6 Anexo 6.

Figura24.

Intensidades de precipitación, para diferentes duraciones y periodos de retorno

Intensidades de precipitación, para diferentes duraciones y periodos de retorno.										
Duración	TR2	TR5	TR10	TR30	TR50	TR75	TR100	TR200	TR500	TR1000
1-hr	2.7 (2.0-3.5)	4.1 (3.1-5.6)	5.6 (4.3-8.0)	9.2 (7.1-14.1)	11.6 (8.9-18.3)	14.0 (10.8-22.6)	15.9 (12.3-26.2)	21.8 (16.9-37.5)	33.0 (25.8-60.2)	45.1 (35.4-86.1)
2-hr	1.8 (1.3-2.3)	2.7 (2.0-3.6)	3.6 (2.8-5.2)	6.0 (4.6-9.1)	7.5 (5.8-11.9)	9.1 (7.0-14.7)	10.3 (8.0-17.0)	14.1 (11.0-24.3)	21.4 (16.7-39.1)	29.3 (23.0-55.9)
3-hr	1.4 (1.0-1.7)	2.1 (1.6-2.8)	2.8 (2.1-4.0)	4.6 (3.6-7.1)	5.9 (4.5-9.2)	7.0 (5.4-11.4)	8.0 (6.2-13.2)	11.0 (8.5-18.9)	16.6 (13.0-30.3)	22.7 (17.8-43.4)
4-hr	1.1 (0.9-1.5)	1.7 (1.3-2.3)	2.4 (1.8-3.4)	3.9 (3.0-5.9)	4.9 (3.8-7.7)	5.9 (4.5-9.5)	6.7 (5.2-11.0)	9.2 (7.1-15.8)	13.9 (10.8-25.3)	19.0 (14.9-36.2)
5-hr	1.0 (0.7-1.3)	1.5 (1.1-2.0)	2.1 (1.6-2.9)	3.4 (2.6-5.2)	4.3 (3.3-6.7)	5.1 (3.9-8.3)	5.8 (4.5-9.6)	8.0 (6.2-13.7)	12.1 (9.4-22.0)	16.5 (13.0-31.5)
6-hr	0.9 (0.7-1.1)	1.3 (1.0-1.8)	1.8 (1.4-2.6)	3.0 (2.3-4.6)	3.8 (2.9-6.0)	4.6 (3.5-7.4)	5.2 (4.0-8.6)	7.1 (5.5-12.3)	10.8 (8.4-19.7)	14.7 (11.6-28.1)
7-hr	0.8 (0.6-1.0)	1.2 (0.9-1.7)	1.7 (1.3-2.4)	2.7 (2.1-4.2)	3.4 (2.6-5.4)	4.1 (3.2-6.7)	4.7 (3.6-7.8)	6.5 (5.0-11.1)	9.8 (7.6-17.9)	13.4 (10.5-25.6)
8-hr	0.7 (0.6-0.9)	1.1 (0.8-1.5)	1.5 (1.2-2.2)	2.5 (1.9-3.8)	3.2 (2.4-5.0)	3.8 (2.9-6.2)	4.3 (3.4-7.2)	5.9 (4.6-10.2)	9.0 (7.0-16.4)	12.3 (9.7-23.5)
9-hr	0.7 (0.5-0.9)	1.0 (0.8-1.4)	1.4 (1.1-2.0)	2.3 (1.8-3.6)	2.9 (2.3-4.6)	3.5 (2.7-5.7)	4.0 (3.1-6.6)	5.5 (4.3-9.5)	8.4 (6.5-15.3)	11.5 (9.0-21.8)
10-hr	0.6 (0.5-0.8)	1.0 (0.7-1.3)	1.3 (1.0-1.9)	2.2 (1.7-3.3)	2.8 (2.1-4.4)	3.3 (2.6-5.4)	3.8 (2.9-6.2)	5.2 (4.0-8.9)	7.8 (6.1-14.3)	10.7 (8.4-20.5)
11-hr	0.6 (0.5-0.8)	0.9 (0.7-1.2)	1.3 (1.0-1.8)	2.1 (1.6-3.1)	2.6 (2.0-4.1)	3.1 (2.4-5.1)	3.6 (2.7-5.9)	4.9 (3.8-8.4)	7.4 (5.8-13.5)	10.1 (7.9-19.3)
12-hr	0.6 (0.4-0.7)	0.9 (0.7-1.2)	1.2 (0.9-1.7)	2.0 (1.5-3.0)	2.5 (1.9-3.9)	3.0 (2.3-4.8)	3.4 (2.6-5.6)	4.6 (3.6-7.9)	7.0 (5.5-12.8)	9.6 (7.5-18.3)
13-hr	0.5 (0.4-0.7)	0.8 (0.6-1.1)	1.1 (0.9-1.6)	1.9 (1.4-2.8)	2.3 (1.8-3.7)	2.8 (2.2-4.6)	3.2 (2.5-5.3)	4.4 (3.4-7.6)	6.6 (5.2-12.1)	9.1 (7.1-17.4)
14-hr	0.5 (0.4-0.7)	0.8 (0.6-1.1)	1.1 (0.8-1.5)	1.8 (1.4-2.7)	2.2 (1.7-3.5)	2.7 (2.1-4.3)	3.1 (2.4-5.0)	4.2 (3.3-7.2)	6.3 (5.0-11.6)	8.7 (6.8-16.6)
15-hr	0.5 (0.4-0.6)	0.8 (0.6-1.0)	1.0 (0.8-1.5)	1.7 (1.3-2.6)	2.1 (1.6-3.4)	2.6 (2.0-4.2)	2.9 (2.3-4.8)	4.0 (3.1-6.9)	6.1 (4.7-11.1)	8.3 (6.5-15.9)
16-hr	0.5 (0.4-0.6)	0.7 (0.5-1.0)	1.0 (0.8-1.4)	1.6 (1.3-2.5)	2.1 (1.6-3.2)	2.5 (1.9-4.0)	2.8 (2.2-4.6)	3.9 (3.0-6.6)	5.8 (4.6-10.7)	8.0 (6.3-15.2)
17-hr	0.5 (0.3-0.6)	0.7 (0.5-1.0)	1.0 (0.7-1.4)	1.6 (1.2-2.4)	2.0 (1.5-3.1)	2.4 (1.8-3.9)	2.7 (2.1-4.5)	3.7 (2.9-6.4)	5.6 (4.4-10.3)	7.7 (6.0-14.7)
18-hr	0.4 (0.3-0.6)	0.7 (0.5-0.9)	0.9 (0.7-1.3)	1.5 (1.2-2.3)	1.9 (1.5-3.0)	2.3 (1.8-3.7)	2.6 (2.0-4.3)	3.6 (2.8-6.2)	5.4 (4.2-9.9)	7.4 (5.8-14.2)
19-hr	0.4 (0.3-0.6)	0.7 (0.5-0.9)	0.9 (0.7-1.3)	1.5 (1.1-2.2)	1.8 (1.4-2.9)	2.2 (1.7-3.6)	2.5 (2.0-4.2)	3.5 (2.7-6.0)	5.2 (4.1-9.6)	7.2 (5.6-13.7)
20-hr	0.4 (0.3-0.5)	0.6 (0.5-0.9)	0.9 (0.7-1.2)	1.4 (1.1-2.2)	1.8 (1.4-2.8)	2.2 (1.7-3.5)	2.5 (1.9-4.0)	3.4 (2.6-5.8)	5.1 (4.0-9.3)	7.0 (5.5-13.3)
21-hr	0.4 (0.3-0.5)	0.6 (0.5-0.8)	0.8 (0.6-1.2)	1.4 (1.1-2.1)	1.7 (1.3-2.7)	2.1 (1.6-3.4)	2.4 (1.8-3.9)	3.3 (2.5-5.6)	4.9 (3.8-9.0)	6.7 (5.3-12.9)
22-hr	0.4 (0.3-0.5)	0.6 (0.4-0.8)	0.8 (0.6-1.2)	1.3 (1.0-2.0)	1.7 (1.3-2.7)	2.0 (1.6-3.3)	2.3 (1.8-3.8)	3.2 (2.5-5.4)	4.8 (3.7-8.7)	6.6 (5.1-12.5)
23-hr	0.4 (0.3-0.5)	0.6 (0.4-0.8)	0.8 (0.6-1.1)	1.3 (1.0-2.0)	1.6 (1.3-2.6)	2.0 (1.5-3.2)	2.2 (1.7-3.7)	3.1 (2.4-5.3)	4.7 (3.6-8.5)	6.4 (5.0-12.2)
24-hr	0.4 (0.3-0.5)	0.6 (0.4-0.8)	0.8 (0.6-1.1)	1.3 (1.0-1.9)	1.6 (1.2-2.5)	1.9 (1.5-3.1)	2.2 (1.7-3.6)	3.0 (2.3-5.2)	4.5 (3.5-8.3)	6.2 (4.9-11.8)

Nota. SENAMHI – IDESep (2025)

7.7 Anexo 7.

Ecuación 11.

Cálculos realizados para obtención del ESAL

Cálculo para la obtención de ESAL

$$Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

$$Fca = \frac{(1+1.05\%)^{20} - 1}{1.05\%}$$

$$Fca = 22.1265$$

$$\#EE = 365 * (\sum f. IMDa) * Fd * Fc * Fca$$

$$\#EE = 365 * 21.771 * 0.5 * 1 * 22.1265$$

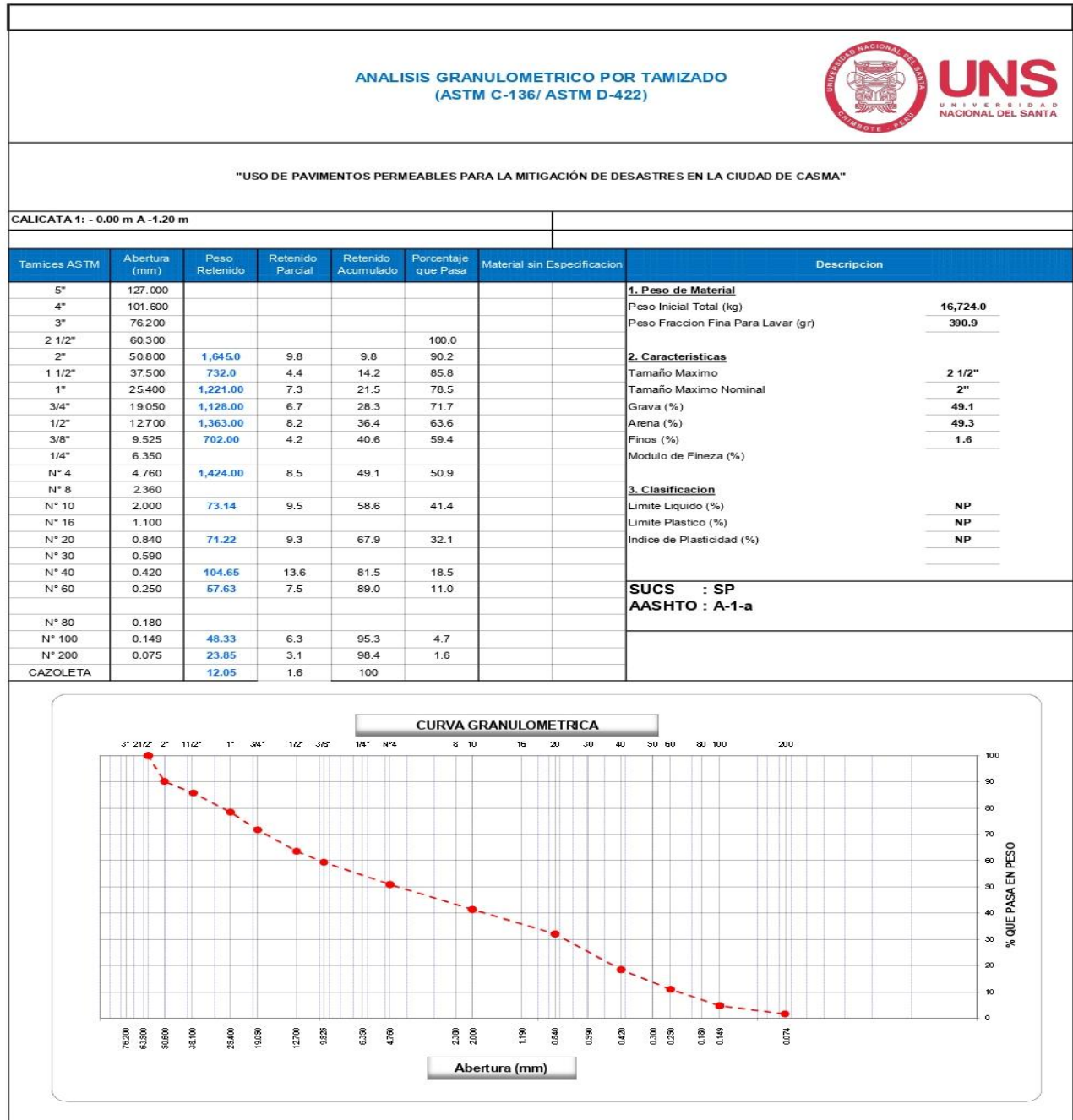
$$\#EE = 87913.1757$$

$$\#EE = 87914$$

7.8 Anexo 8.

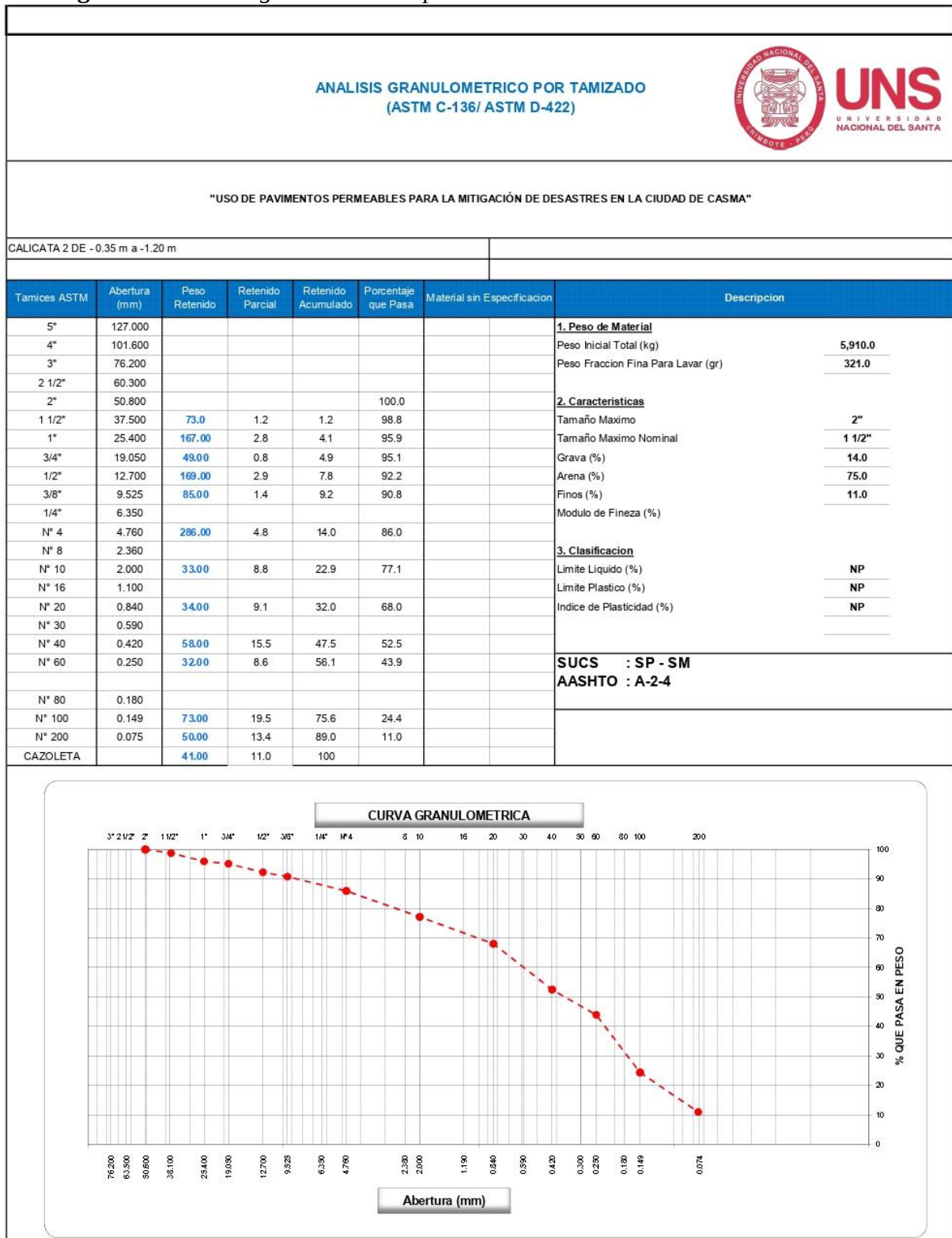
ENSAYOS

Figura 25. Análisis granulométrico por tamizado C-1.



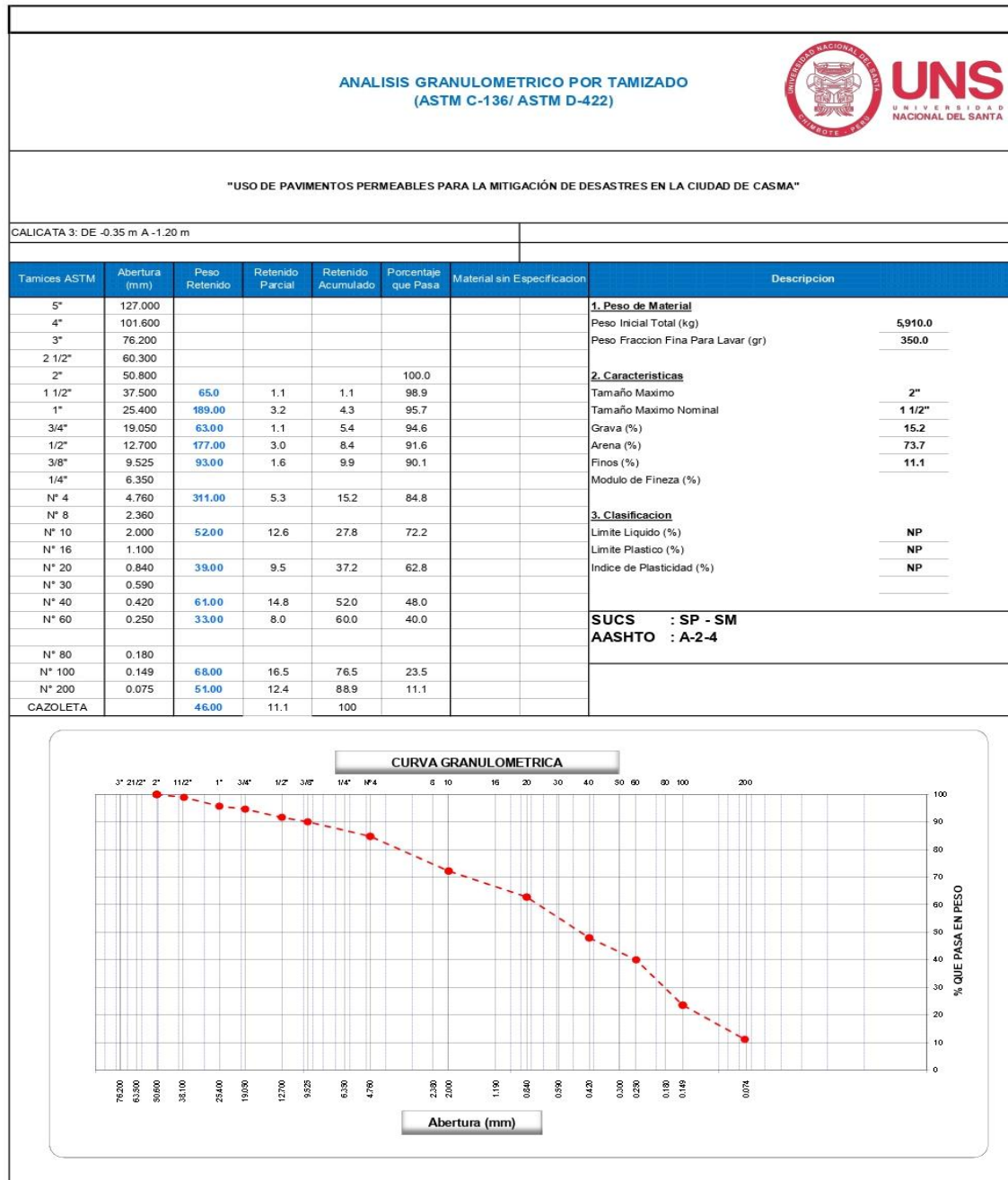
Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 26. Análisis granulométrico por tamizado C-2.



Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 27. Análisis granulométrico por tamizado C-3.



Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 28. Ensayo de Proctor estándar C-1.



USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA
CIUDAD DE CASMA

UBICACIÓN : CALICATA I DE -0.00 A -1.20m

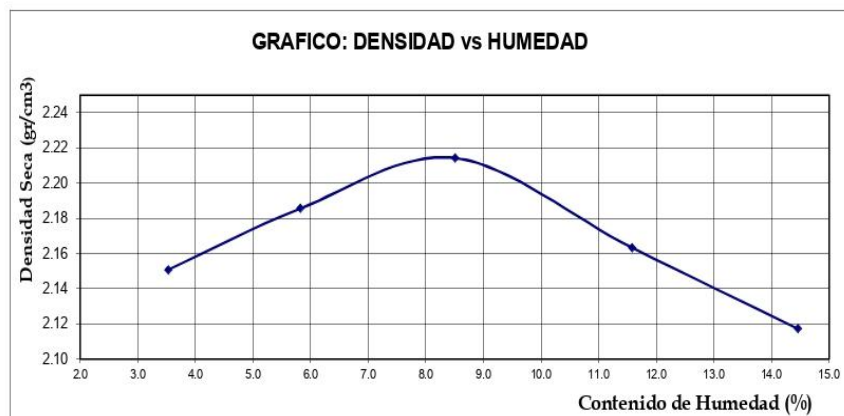
METODO " C "

ENSAYO PROCTOR ESTANDAR MTC E 116

PUNTO No.		I	II	III	IV	V
MOLDE No.		1	1	1	1	1
1	Volumen del molde (cm^3)	2109.66	2109.66	2109.66	2109.66	2109.66
2	Peso del molde (gr)	6093.20	6093.20	6093.20	6093.20	6093.20
3	Peso del molde + muestra húmeda (gr)	10790.60	10972.30	11161.80	11185.36	11205.63
4	Peso de la muestra húmeda (gr)	4697.40	4879.10	5068.60	5092.16	5112.43
5	Densidad húmeda de la muestra (gr/cm^3)	2.23	2.31	2.40	2.41	2.42

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

6	Peso de la tara (gr)	31.630	37.400	36.400	37.900	29.650
7	Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	128.630	108.300	114.200	122.700	122.410
8	Peso de la tara + suelo seco (gr)	125.325	104.400	108.100	113.900	110.690
9	Peso del agua (gr)	3.305	3.900	6.100	8.800	11.720
10	Peso del suelo seco (gr)	93.695	67.000	71.700	76.000	81.040
11	Contenido de humedad (%)	3.53	5.82	8.51	11.58	14.46
12	Densidad seca de la muestra (gr/cm^3)	2.151	2.186	2.214	2.163	2.117



Máxima Densidad Seca :	2.214
Optimo Contenido de Humedad:	8.50%

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 29. Ensayo de Proctor estándar C-2.

**USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA
CIUDAD DE CASMA**

UBICACIÓN : CALICATA 2 DE -0.35 A -1.00

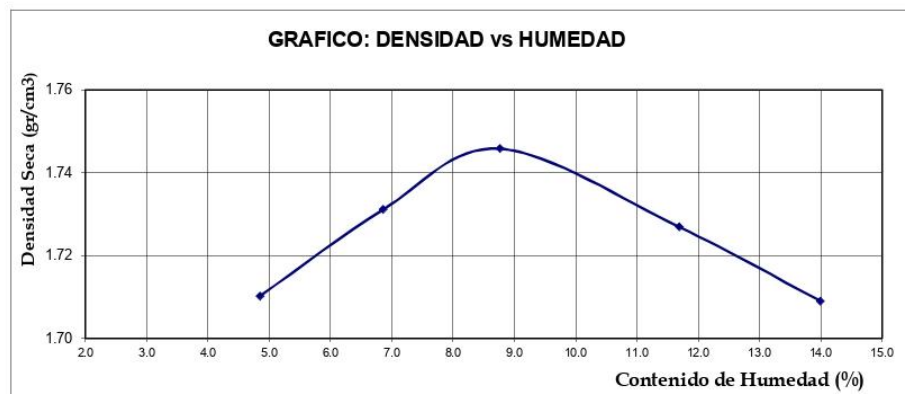
METODO " A "

ENSAYO PROCTOR ESTANDAR MTC E 116

PUNTO No.		I	II	III	IV	V
MOLDE No.		1	1	1	1	1
1	Volumen del molde (cm ³)	1067.40	1067.40	1067.40	1067.40	1067.40
2	Peso del molde (gr)	4138.80	4138.80	4138.80	4138.80	4138.80
3	Peso del molde + muestra húmeda (gr)	6052.80	6113.30	6165.50	6197.60	6218.26
4	Peso de la muestra húmeda (gr)	1914.00	1974.50	2026.70	2058.80	2079.46
5	Densidad húmeda de la muestra (gr/cm ³)	1.79	1.85	1.90	1.93	1.95

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

6	Peso de la tara (gr)	20.365	20.156	19.745	19.935	21.335
7	Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	122.860	122.360	121.334	123.325	122.410
8	Peso de la tara + suelo seco (gr)	118.120	115.800	113.150	112.500	110.000
9	Peso del agua (gr)	4.740	6.560	8.184	10.825	12.410
10	Peso del suelo seco (gr)	97.755	95.644	93.405	92.565	88.665
11	Contenido de humedad (%)	4.85	6.86	8.76	11.69	14.00
12	Densidad seca de la muestra (gr/cm ³)	1.710	1.731	1.746	1.727	1.709



Máxima Densidad Seca :	1.746
Optimo Contenido de Humedad:	8.80%

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 30. Ensayo de Proctor estándar C-3.



USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

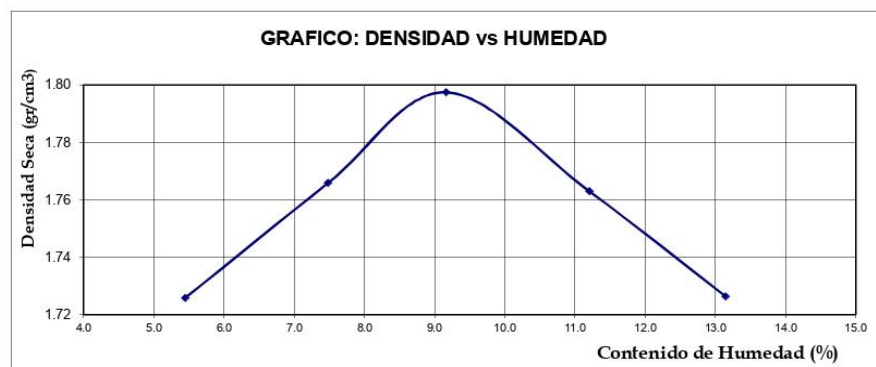
UBICACIÓN :CALICATA 3 DE -0.35 A -1.00
METODO " A "

ENSAYO PROCTOR ESTANDAR MTC E 116

PUNTO No.		I	II	III	IV	V
MOLDE No.		1	1	1	1	1
1	Volumen del molde (cm ³)	1067.40	1067.40	1067.40	1067.40	1067.40
2	Peso del molde (gr)	4138.80	4138.80	4138.80	4138.80	4138.80
3	Peso del molde + muestra húmeda (gr)	6081.30	6164.70	6233.20	6231.40	6223.70
4	Peso de la muestra húmeda (gr)	1942.50	2025.90	2094.40	2092.60	2084.90
5	Densidad húmeda de la muestra (gr/cm ³)	1.82	1.90	1.96	1.96	1.95

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

6	Peso de la tara (gr)	20.470	21.330	21.630	21.050	22.200
7	Peso de la tara + suelo húmedo (gr)	123.340	122.740	122.990	123.360	123.840
8	Peso de la tara + suelo seco (gr)	118.024	115.680	114.480	113.050	112.030
9	Peso del agua (gr)	5.316	7.060	8.510	10.310	11.810
10	Peso del suelo seco (gr)	97.554	94.350	92.850	92.000	89.830
11	Contenido de humedad (%)	5.45	7.48	9.17	11.21	13.15
12	Densidad seca de la muestra (gr/cm ³)	1.726	1.766	1.797	1.763	1.726



Máxima Densidad Seca :	1.797
Optimo Contenido de Humedad:	9.10%

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 31. Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO-CBR C-1-parte 1.



USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACION DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

MATERIAL : CALICATA 1 / E-1

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)

a) Ensayo preliminar de Proctor modificado

Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2.214
Óptimo Contenido de Humedad (%)	8.50

b) Compactación de los moldes CBR

Molde N°		I	II	III
N° de capas		5	5	5
N° de golpes por capa		56	26	12
1	Peso del molde + suelo compactado [gr]	12463.36	12255.75	11896.31
2	Peso del molde [gr]	7181.90	7151.50	7141.70
3	Peso de suelo compactado [gr]	(1)-(2)	5104.25	4754.61
4	Volumen de molde [cm ³]	2151.09	2127.92	2151.09
5	Densidad húmeda [gr/cm ³]	(3)/(4)	2.46	2.40

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

Tara N°		1	2	3
6	Peso de la tara, [gr]	28.798	36.633	40.177
7	Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]	102.529	121.236	130.246
8	Peso de la tara + suelo seco, [gr]	96.310	113.236	120.101
9	Peso del agua, [gr]	(7)-(8)	8.000	10.145
10	Peso del suelo seco, [gr]	(8)-(6)	67.512	79.924
11	Contenido de humedad, [%]	(9)/(10)x100	9.212	10.443
12	Densidad seca de la muestra, [gr/cm ³]	5/(1+(11)/100)	2.25	2.17

c) Prueba de penetración

Area del anillo = 3 pulg²

Presión (libras/pulg²) = (L x 7.36 + 30.18)/3

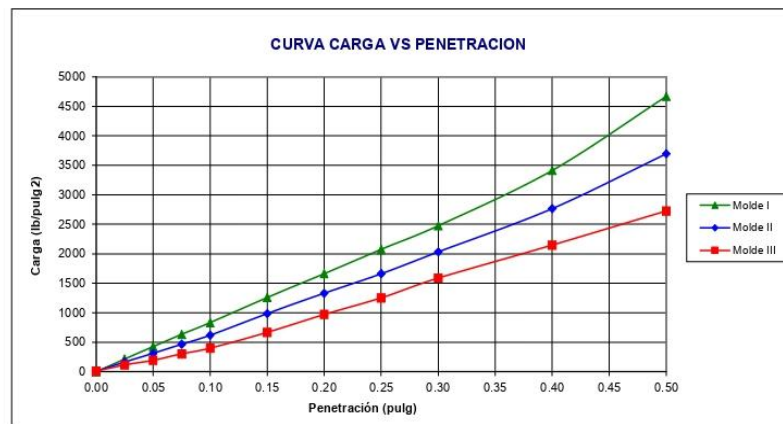
Penetración (pulg)	Presión patrón (lb/pulg ²)	Molde N° I		Molde N° II		Molde N° III	
		Dial	Presión	Dial	Presión	Dial	Presión
0.000		0.0	0	0.0	10	0.0	10
0.025		83.0	214	63.0	165	43.0	116
0.050		169.0	425	123.0	312	75.0	194
0.075		254.0	633	186.0	466	119.0	302
0.100	1000	335.0	832	248.0	618	159.0	400
0.150		509.0	1259	398.0	986	268.0	667
0.200	1500	674.0	1663	538.0	1330	392.0	972
0.250		842.0	2076	674.0	1663	506.0	1251
0.300	1900	1005.0	2475	824.0	2031	643.0	1587
0.400	2300	1388.0	3415	1124.0	2767	871.0	2147
0.500	2600	1899.0	4668	1502.0	3695	1107.0	2726

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

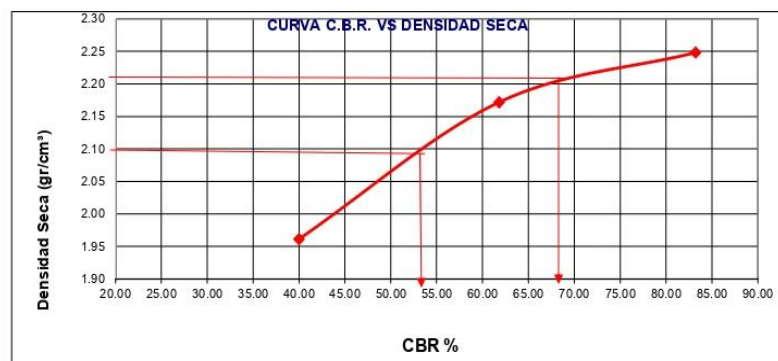
Figura 32. Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO-CBR C-1-parte 2.

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACION DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

MATERIAL : CALICATA 1 / E-1



Molde	Penetración (pulg)	Presión aplicada (lb/pulg²)	Presión Patrón (lb/pulg²)	C.B.R. (%)	Expansión
I	0.1	832.0	1000	83.20	0.00
II	0.1	618.0	1000	61.80	0.00
III	0.1	400.0	1000	40.00	0.00



CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 100% MDS : 68.00%

CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 95% MDS : 53.00%

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 33. Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO-CBR C-2-parte 1.

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACION DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

MATERIAL : CALICATA 2 / E-1

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)

a) Ensayo preliminar de Proctor modificado

Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	1.746
Óptimo Contenido de Humedad (%)	8.80

b) Compactación de los moldes CBR

Molde N°		I	II	III
N° de capas		5	5	5
N° de golpes por capa		56	26	12
1	Peso del molde + suelo compactado [gr]	11050.63	10930.54	10732.63
2	Peso del molde [gr]	6724.60	6782.70	6779.20
3	Peso de suelo compactado [gr]	(1)-(2)	4147.84	3953.43
4	Volumen de molde [cm ³]	2151.09	2127.92	2151.09
5	Densidad húmeda [gr/cm ³]	(3)/(4)	1.95	1.84

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

Tara N°		1	2	3
6	Peso de la tara, [gr]	39.109	37.507	42.105
7	Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]	112.876	108.920	97.607
8	Peso de la tara + suelo seco, [gr]	105.707	101.761	91.286
9	Peso del agua, [gr]	(7)-(8)	7.159	6.321
10	Peso del suelo seco, [gr]	(8)-(6)	64.254	49.181
11	Contenido de humedad, [%]	(9)/(10)×100	11.142	12.853
12	Densidad seca de la muestra, [gr/cm ³]	5/(1+(11)/100	1.75	1.63

c) Prueba de penetración

Área del anillo = 3 pulg²

Presión (libras/pulg²) = (L × 7.36 + 30.18) / 3

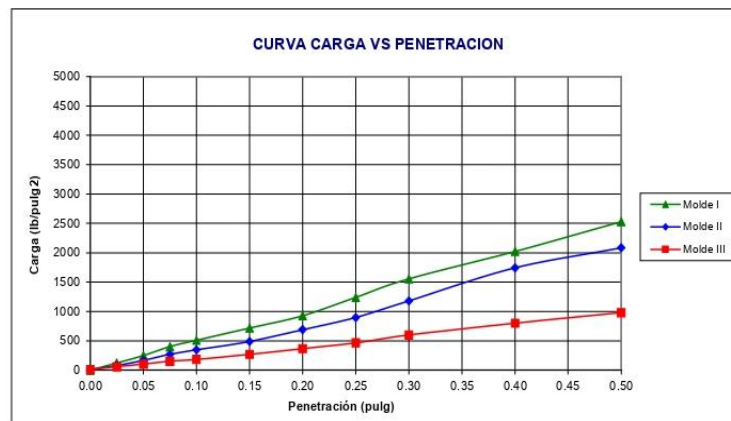
Penetración (pulg)	Presión patrón (lb/pulg ²)	Molde N° I		Molde N° II		Molde N° III	
		Dial	Presión	Dial	Presión	Dial	Presión
0.000		0.0	0	0.0	10	0.0	10
0.025		46.0	123	27.9	78	20.0	59
0.050		97.0	248	63.6	166	38.0	103
0.075		159.0	400	106.4	271	58.0	152
0.100	1000	204.0	510	137.0	346	71.0	184
0.150		288.0	717	195.0	488	106.0	270
0.200	1500	374.0	928	277.0	690	145.0	366
0.250		501.0	1239	362.0	898	186.0	466
0.300	1900	630.0	1556	477.0	1180	240.0	599
0.400	2300	820.0	2022	706.0	1742	322.0	800
0.500	2600	1027.0	2529	845.0	2083	395.0	979

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

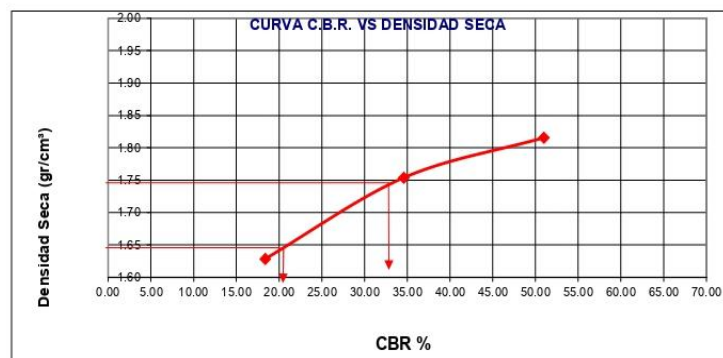
Figura 34. Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO-CBR C-2-parte 2.

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACION DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

MATERIAL : CALICATA 2/E-1



Molde	Penetración (pulg)	Presión aplicada (lb/pulg²)	Presión Patrón (lb/pulg²)	C.B.R. (%)	Expansión
I	0.1	510.0	1000	51.00	0.00
II	0.1	346.0	1000	34.60	0.00
III	0.1	184.0	1000	18.40	0.00



CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 100% MDS :	34.00%
CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 95% MDS :	21.00%

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 35. Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO-CBR C-3-parte 1.

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACION DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

MATERIAL : CALICATA 3 / E-1

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO - C.B.R. (ASTM D-1883)

a) Ensayo preliminar de Proctor modificado

Máxima Densidad Seca (gr/cm3)

1.797

Óptimo Contenido de Humedad (%)

9.10

b) Compactación de los moldes CBR

Molde N°		I	II	III
N° de capas		5	5	5
N° de golpes por capa		56	26	12
1	Peso del molde + suelo compactado [gr]	11114.20	10993.40	10781.24
2	Peso del molde [gr]	6724.60	6782.70	6779.20
3	Peso de suelo compactado [gr]	(1)-(2) 4389.60	4210.70	4002.04
4	Volumen de molde [cm3]	2151.09	2127.92	2151.09
5	Densidad húmeda [gr/cm3]	(3)/(4) 2.04	1.98	1.86

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD SECA

Tara N°		1	2	3
6	Peso de la tara, [gr]	39.116	37.741	42.332
7	Peso de la tara + suelo húmedo, [gr]	112.963	109.361	97.974
8	Peso de la tara + suelo seco, [gr]	105.936	101.935	91.411
9	Peso del agua, [gr]	(7)-(8) 7.027	7.426	6.563
10	Peso del suelo seco, [gr]	(8)-(6) 66.820	64.194	49.079
11	Contenido de humedad, [%]	(9)/(10)x100 10.517	11.568	13.372
12	Densidad seca de la muestra, [gr/cm3]	5/(1+(11)/100) 1.85	1.77	1.64

c) Prueba de penetración

Area del anillo = 3 pulg²

Presión (libras/pulg²) = (L x 7.36+30.18)/3

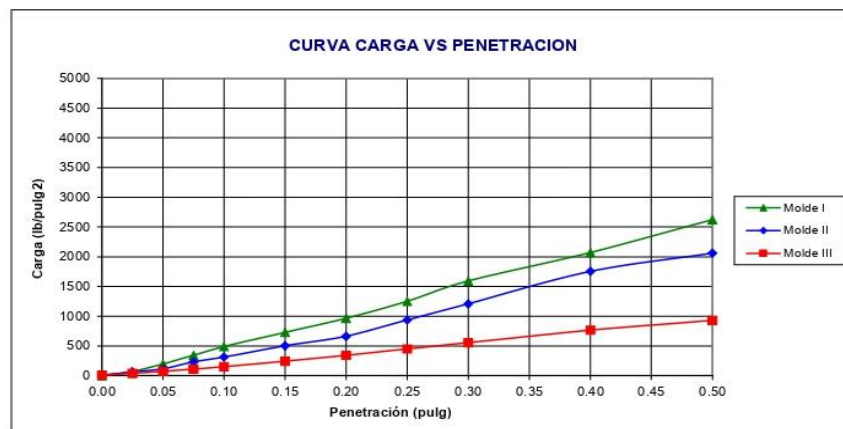
Penetración (pulg)	Presión patrón (lb/pulg²)	Molde N° I		Molde N° II		Molde N° III	
		Dial	Presión	Dial	Presión	Dial	Presión
0.000		0.0	0	0.0	10	0.0	10
0.025		25.0	71	21.0	62	12.0	39
0.050		77.0	199	43.0	116	26.0	74
0.075		135.0	341	91.0	233	41.0	111
0.100	1000	196.0	491	124.0	314	58.0	152
0.150		293.0	729	201.0	503	95.0	243
0.200	1500	389.0	964	266.0	663	136.0	344
0.250		506.0	1251	378.0	937	179.0	449
0.300	1900	645.0	1592	488.0	1207	222.0	555
0.400	2300	840.0	2071	711.0	1754	308.0	766
0.500	2600	1066.0	2625	836.0	2061	375.0	930

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

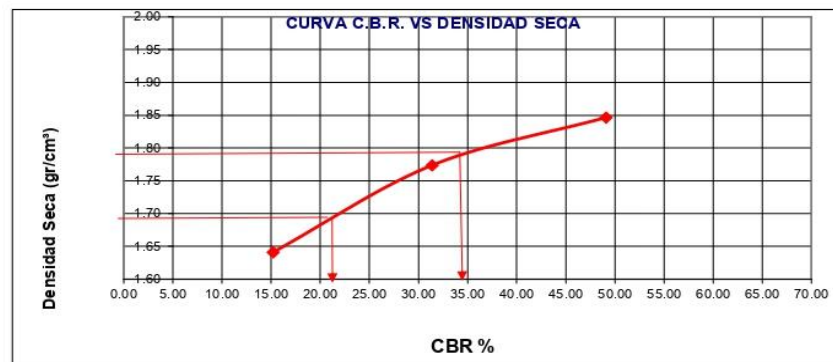
Figura 36. Ensayo de CALIFORNIA BEARING RATIO-CBR C-3-parte 2.

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACION DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

MATERIAL : CALICATA 3 / E-1



Molde	Penetración (pulg)	Presión aplicada (lb/pulg²)	Presión Patrón (lb/pulg²)	C.B.R. (%)	Expansión
I	0.1	491.0	1000	49.10	0.00
II	0.1	314.0	1000	31.40	0.00
III	0.1	152.0	1000	15.20	0.00



CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 100% MDS :	35.00%
CBR 0,1" DE PENETRACIÓN A 95% MDS :	22.00%

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 37. Registro de excavaciones C-1.

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

CALICATA N° 01

REGISTRO DE EXCAVACIONES

Tipo Exca vac.	Profundidad (mts.)	Muestra	Símbolo	Características del Material	Clasificación		Características In situ - CBR	
					SUCS	AASHTO	100%	95%
A CIELO ABIERTO Y POSTEADORA	0.00	E-1		ESTRATO CONFORMADO POR ARENAS MAL GRADUADAS, DE COLOR BEIGGE CON PRESENCIA DE GRAVA DE 2". CON GRAVA 49.1%, ARENA 49.3% Y FINOS 1.60%	SP	A-1-a	68.00%	53.00
	-1.20							

* NO SE ENCONTRÓ NIVEL FREÁTICO.

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 38. Registro de excavaciones C-2.



USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA								
CALICATA N° 02								
REGISTRO DE EXCAVACIONES								
Tipo Exca vac.	Profundidad (mts.)	Muestra	Símbolo	Características del Material	Clasificación		Características In situ - CBR	
					SUCS	AASHTO	100%	95%
A CIELO ABIERTO Y POSTEADORA	0.00	E-1		CONFORMADO POR TIERRA DE CHACRA Y MATERIAL ORGÁNICO.	SP-SM	A-2-4	34.00%	21.00
	-0.35			ARENAS LIMOSAS MAL GRADUADAS, DE COLOR BEIGGE CLARO CON PRESENCIA DE GRAVA DE HASTA 2". CON 14% DE GRAVA, 75% DE ARENA Y 11% DE FINOS.				
	-1.00							
* NO SE ENCONTRO NIVEL FREATICO.								

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 39. Registro de excavaciones C-3.



USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

CALICATA N° 03

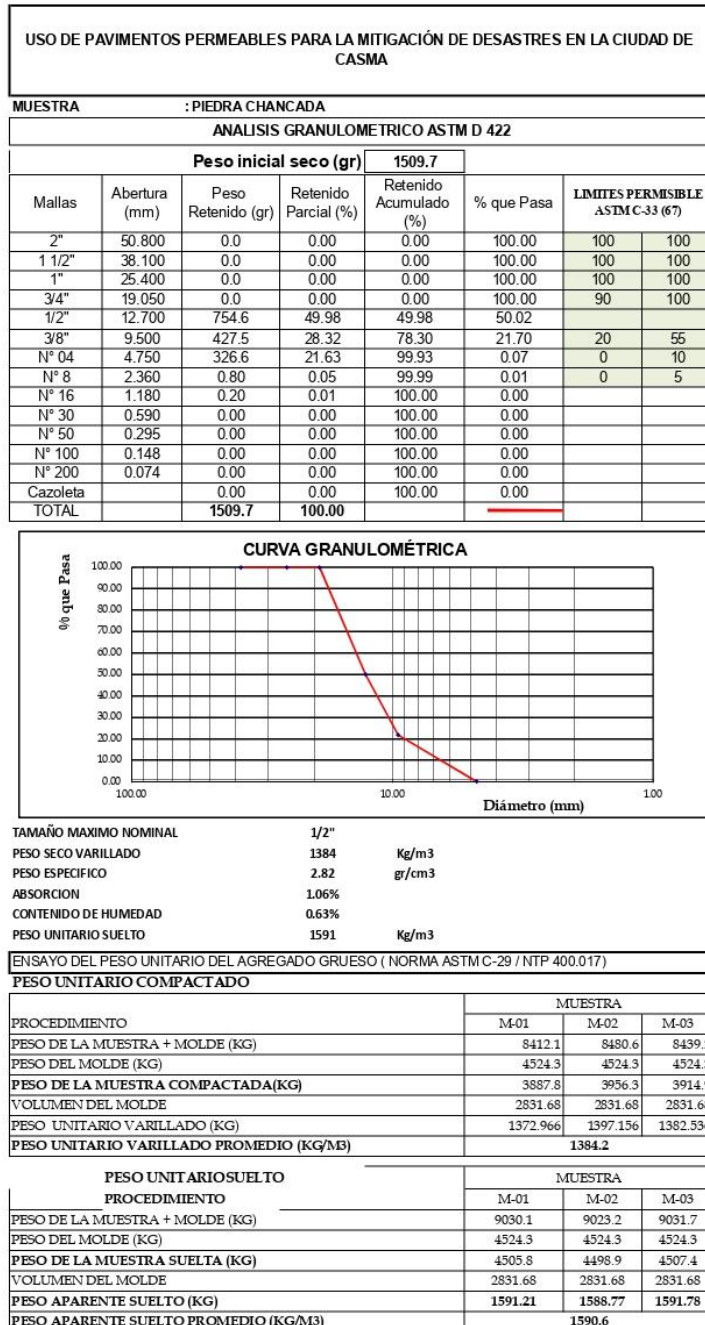
REGISTRO DE EXCAVACIONES

Tipo Exca vac.	Profundidad (mts.)	Muestra	Símbolo	Características del Material	Clasificación		Características In situ - CBR	
					SUCS	AASHTO	100 %	95%
A CIELO ABIERTO Y POSTEADORA	0.00	E-1		CONFORMADO POR TIERRA DE CHACRA Y MATERIAL ORGÁNICO.	SP-SM	A-2-4	35.00%	22.00
	-0.35			ARENAS LIMOSAS MAL GRADUADAS, DE COLOR BEIGGE CLARO CON PRESENCIA				
				DE GRAVA DE HASTA 2". CON 15.20% DE GRAVA, 73.70% DE ARENA Y 11.10% DE FINOS.				
	-1.00							

* NO SE ENCONTRO NIVEL FREATICO.

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 40. Análisis granulométrico de piedra chancada.



Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

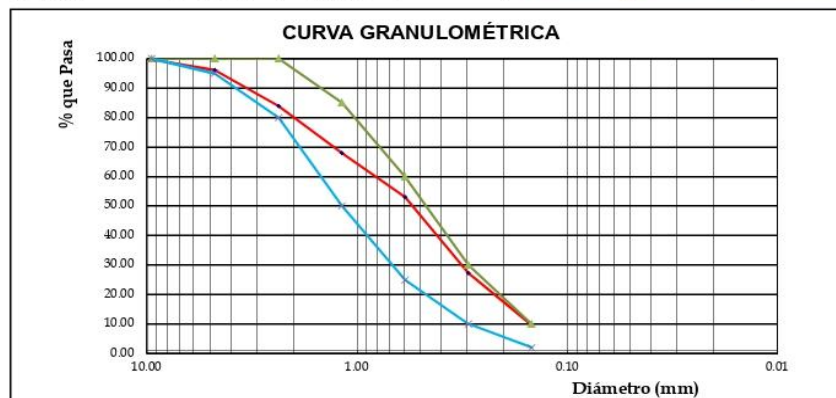
Figura 41. Análisis granulométrico de arena gruesa.

**USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE
CASMA**

MUESTRA : ARENA GRUESA

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM D 422

		Peso inicial seco (gr)		1236.8			
Mallas	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	% que Pasa	LÍMITES PERMISIBLE	
3/8"	9.500	3.1	0.25	0.25	99.75	100	100
N° 04	4.750	44.6	3.61	3.86	96.14	95	100
N° 8	2.360	151.60	12.26	16.11	83.89	80	100
N° 16	1.180	195.70	15.82	31.94	68.06	50	85
N° 30	0.590	185.63	15.01	46.95	53.05	25	60
N° 50	0.295	319.55	25.84	72.79	27.21	10	30
N° 100	0.148	216.47	17.50	90.29	9.71	2	10
N° 200	0.074	105.10	8.50	98.79	1.21		
Cazoleta		15.00	1.21	100.00	0.00		
TOTAL		1236.8	100.00				



PESO ESPECÍFICO 2.69
ABSORCIÓN 3.40%
CONTENIDO DE HUMEDAD 1.02%
MÓDULO DE FINEZA 2.62
PESO UNITARIO SUELTO 1473 Kg/m³

ENSAYO DEL PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO (NORMA ASTM C-29 / NTP 400.017)

PESO UNITARIO SUELTO

PROCEDIMIENTO	MUESTRA		
	M-01	M-02	M-03
PESO DE LA MUESTRA + MOLDE (KG)	7.756	7.774	7.766
PESO DEL MOLDE (KG)	3.64	3.64	3.64
PESO DE LA MUESTRA SUELTA (KG)	4.116	4.134	4.126
VOLUMEN DEL MOLDE	0.0028	0.0028	0.0028
PESO APARENTE SUELTO (KG)	1470.00	1476.43	1473.57
PESO APARENTE SUELTO PROMEDIO (KG/M ³)	1473		

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 42. Gravedad específica y absorción de agregado grueso.

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA			
MUESTRA : PIEDRA CHANCADA			
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL = 1/2"			
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO - MTC E-206			
DATOS			1
1	Peso de la muestra saturada con superficie seca (B) (aire)	gr.	2620.30
2	Peso de la canastilla dentro del agua	gr.	
3	Peso de la muestra saturada+peso canastilla dentro del agua	gr.	1643.80
4	Peso de la muestra saturada dentro del agua (C)	gr.	1643.80
5	Peso de la tara	gr.	
6	Peso de la tara + muestra seca (horno)	gr.	2592.80
7	Peso de la muestra seca (A)	gr.	2592.80
RESULTADOS			
8	Peso Específico de masa		2.66
9	Peso Específico de masa saturada superficie seca		2.68
10	Peso específico aparente		2.73
11	Porcentaje de absorción	%	1.06

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 43. Gravedad específica y absorción de agregado fino

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA			
MUESTRA : ARENA GRUESA- MUESTRA TRAIDA POR EL SOLICITANTE			
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO			
DATOS			1
1	Peso de la fiola	gr.	185.12
2	Peso de la fiola + agua	gr.	682.63
3	Peso de la fiola + agua + muestra	gr.	763.41
4	Peso seco de la muestra	gr.	128.63
RESULTADOS			1
8	Peso Específico de masa		2.69
9	Absorción	%	3.40

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 44. *Contenido de humedad en agregado fino y grueso.*

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA				
MUESTRA : PIEDRA CHANCADA-ARENA GRUESA - MUESTRA EXTRAIDA POR EL SOLICITANTE				
CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADO FINO Y GRUESO				
DATOS			GRUESO	FINO
1	MASA DE TARA	gr.	20.39	27.14
2	MASA: TARA + MUESTRA HÚMEDA	gr.	71.76	135.60
3	MASA: RECIPIENTE + MUESTRA SECA	gr.	71.43	134.50
RESULTADOS			GRUESO	FINO
4	CONTENIDO DE HUMEDAD %		0.63%	1.02%

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 45. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 15% de vacíos-parte 1.



DISEÑO DE MEZCLA $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$

Método de Diseño de mezcla - ACI 522R-10

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA

CIUDAD DE CASMA

I. ESPECIFICACIONES:

1.1. La Resistencia de Diseño a los 28 días es de 100 Kg/cm^2 desviación estándar.

1.2. Materiales:

1.2.1. CEMENTO MOCHICA MS	
Peso Especifico	2.98 gr/cm ³
1.2.2. Agregado Fino	
Arena Gruesa	
Peso Especifico	2.69 gr/cm ³
Absorción	3.40 %
Contenido de Humedad	1.02 %
Módulo de Fineza	2.62
Peso Unitario Suelto	1473 Kg/m ³
1.2.3. Agregado Grueso	
Agregado Grueso - MUESTRA TRAIDA POR EL SOLICITANTE	
Tamaño Maximo Nominal	1/2"
Peso Seco Vanillado	1384 Kg/m ³
Peso Especifico	2.82 gr/cm ³
Absorción	1.06 %
Contenido de Humedad	0.63 %
Peso Unitario Suelto	1591 Kg/m ³
1.2.4. Agua:	
Agua Potable de la zona.	

II. SECUENCIA DE DISEÑO:

2.1. Determinación del Peso del Agregado

Según la Norma ACI 522R-10, considerando un 10% de agregado fino:

$$w_a = \frac{P \cdot U + b \cdot b_o + V \cdot t}{b \cdot b_o} = 0.93$$

$$w_a (\text{seco}) = 2622.6 \text{ kg/m}^3$$

2.2. Corrección de W_a :

$$W_a = 2779.96 \text{ kg/m}^3$$

2.3. Determinar el Volumen de Pasta:

Según la norma ACI 522R-10, en el nomograma de p.14 para un porcentaje de vacío de 35% se considera un volumen de pasta ligeramente compactada 8%

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

$$V_{\text{pasta}} = 0.08$$

2.4. Determinar el contenido del cemento:

Considerando una $a/c = 0.30$

$$V_c = 125.87 \text{ kg/m}^3 \quad 2.96 \text{ Bls/m}^3$$

2.5. Contenido de Agua:

se obtuvo

$$V_{\text{hw}} = 37.76 \text{ lit/m}^3$$

2.6. Contenido de Arena:

Considerando un 10% de arena

$$W_{\text{arena}} = 278.00 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{grava}} = 2501.96 \text{ kg/m}^3$$

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 46. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 15% de vacíos-parte 2.



2.7. Corrección por humedad de los agregados:						
A.Fino	278.00	x	1.0102	=	280.83	kg/m³
A.Grueso	2501.96	x	1.0063	=	2517.72	kg/m³
Humedad Superficial de:						
Agregado Fino	1.02	-	3.40	=	-2.38	%
Agregado Grueso	0.63	-	1.06	=	-0.43	%
Aporte de Humedad de los Agregados:						
Agregado Fino	278.00	x	{ -0.0238 }	=	-6.62	Lt/m³
Agregado Grueso	2501.96	x	{ -0.0043 }	=	-10.76	Lt/m³
Total				=	-17.37	Lt/m³
Agua Efectiva	132.16	-	{ -17.37 }	=	149.54	Lt/m³
Los pesos de los materiales ya corregidos serán:						
Cemento	440.55	Kg/m³				
Agua Efectiva	149.54	Lt/m³				
Agregado Fino Húmedo	280.83	Kg/m³				
Agregado Grueso Húmedo	2517.72	Kg/m³				
2.13 Proporción en Peso Húmedo:						
440.55 / 440.55 : 280.83 / 440.55 : 2517.72 / 440.55						
1 : 0.64 : 5.71 / 0.30						

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 47. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 20% de vacíos-parte 1.



DISEÑO DE MEZCLA $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$
Método de Diseño de mezcla - ACI 522R-10

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA

CIUDAD DE CASMA

I. ESPECIFICACIONES:

1.1. La Resistencia de Diseño a los 28 días es de 100 Kg/cm^2 desviación estándar.

1.2. Materiales:

1.2.1. CEMENTO MOCHICA MS

Peso Específico 298 gr/cm³

1.2.2. Agregado Fino

Arena Gruesa

Peso Específico 269 gr/cm³

Absorción 3.40 %

Contenido de Humedad 1.02 %

Módulo de Fineza 2.62

Peso Unitario Suelto 1473 Kg/m³

1.2.3. Agregado Grueso

Agregado Grueso - MUESTRA TRAIDA POR EL SOLICITANTE

Tamaño Máximo Nominal 1/2"

Peso Seco Varillado 1384 Kg/m³

Peso Específico 2.82 gr/cm³

Absorción 1.06 %

Contenido de Humedad 0.63 %

Peso Unitario Suelto 1591 Kg/m³

1.2.4. Agua:

Agua Potable de la zona.

II. SECUENCIA DE DISEÑO:

2.1. Determinación del Peso del Agregado

Según la Norma ACI 522R-10, considerando un 10% de agregado fino:

$$w_a = \frac{P \cdot U + b / b_o + V_t}{b / b_o} = 0.93$$

2.2. Corrección de W_a :

$$V_w = 2779.96 \text{ kg/m}^3$$

2.3. Determinar el Volumen de Pasta:

Según la norma ACI 522R-10, en el nomograma de p.14 para un porcentaje de vacío de 20% se considera un volumen de pasta ligeramente compactada 23%

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

$$V_{pasta} = 0.23$$

2.4. Determinar el contenido del cemento:

Considerando una $a/c = 0.30$

$$W_c = 361.88 \text{ kg/m}^3 \quad 8.51 \text{ Bls/m}^3$$

2.5. Contenido de Agua:

de concreto

$$V_w = 108.56 \text{ lt/m}^3$$

2.6. Contenido de Arena:

Considerando un 10% de arena

$$W_{arena} = 278.00 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{grava} = 2501.96 \text{ kg/m}^3$$

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 48. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 20% de vacíos-parte 2.



2.7. Corrección por humedad de los agregados:

A Fino	278.00	x	1.0102	=	280.83	kg/m ³
A Grueso	2501.96	x	1.0063	=	2517.72	kg/m ³
				=		

Humedad Superficial de:

Agregado Fino	1.02	-	3.40	=	-2.38	%
Agregado Grueso	0.63	-	1.06	=	-0.43	%

Aporte de Humedad de los Agregados:

Agregado Fino	278.00	x	-0.0238	=	-6.62	Lt/m ³
Agregado Grueso	2501.96	x	-0.0043	=	-10.76	Lt/m ³
Total				=	-17.37	Lt/m ³

Agua Efectiva

	108.56	-	-17.37	=	125.94	Lt/m ³
--	--------	---	--------	---	--------	-------------------

Los pesos de los materiales ya corregidos serán:

Cemento	361.88	Kg/m ³
Agua Efectiva	125.94	Lt/m ³
Agregado Fino Húmedo	280.83	Kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo	2517.72	Kg/m ³

2.13 Proporción en Peso Húmedo:

361.88 / 361.88	:	280.83 / 361.88	:	2517.72 / 361.88	:	1 : 0.78 : 6.96 / 0.30
-----------------	---	-----------------	---	------------------	---	------------------------

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 49. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 25% de vacíos-parte 1.



DISEÑO DE MEZCLA $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$

Método de Diseño de mezcla - ACI 522R-10

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA
CIUDAD DE CASMA

I. ESPECIFICACIONES:

1.1. La Resistencia de Diseño a los 28 días es de 100 Kg/cm^2 desviación estándar.

1.2. Materiales:

1.2.1. CEMENTO MOCHICA M5

Peso Específico 298 gr/cm^3

1.2.2. Agregado Fino

Arena Gruesa

Peso Específico 269 gr/cm^3

Absorción 340 %

Contenido de Humedad 1.02 %

Módulo de Fineza 262

Peso Unitario Suelto 1473 Kg/m^3

1.2.3. Agregado Grueso

Agregado Grueso - MUESTRA TRAIDA POR EL SOLICITANTE

Tamaño Máximo Nominal $1/2''$

Peso Seco Varillado 1384 Kg/m^3

Peso Específico 282 gr/cm^3

Absorción 1.06 %

Contenido de Humedad 0.63 %

Peso Unitario Suelto 1591 Kg/m^3

1.2.4. Agua:

Agua Potable de la zona.

II. SECUENCIA DE DISEÑO:

2.1. Determinación del Peso del Agregado

Según la Norma ACI 522R-10, considerando un 10% de agregado fino:

$$w_a = \frac{P \cdot U + b / b_o + \sqrt{U}}{b / b_o} = 0.93$$

$$w_a (\text{seco}) = 2622.6 \text{ kg/m}^3$$

2.2. Corrección de W_a :

$$W_a = 2779.96 \text{ kg/m}^3$$

2.3. Determinar el Volumen de Pasta:

Según la norma ACI 522R-10, en el nomograma de p.14 para un porcentaje de vacío de 25%

se considera un volumen de pasta ligeramente compactada 18%

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

$$V_{\text{pasta}} = 0.18$$

2.4. Determinar el contenido del cemento:

Considerando una $a/c = 0.30$

$$W_c = 283.21 \text{ kg/m}^3 \quad 6.66 \text{ Bls/m}^3$$

2.5. Contenido de Agua:

de concreto

$$W_w = 84.96 \text{ lt/m}^3$$

2.6. Contenido de Arena:

Considerando un 10% de arena

$$W_{\text{arena}} = 278.00 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{grava}} = 2501.96 \text{ kg/m}^3$$

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 50. *Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 25% de vacíos-parte 2.*



2.7. Corrección por humedad de los agregados:

A.Fino	278.00	x	1.0102	=	280.83	kg/m ³
A.Grueso	2501.96	x	1.0063	=	2517.72	kg/m ³

Humedad Superficial de:

Agregado Fino	1.02	-	3.40	=	-2.38	%
Agregado Grueso	0.63	-	1.06	=	-0.43	%

Aporte de Humedad de los Agregados:

Agregado Fino	278.00	x	-0.0238	=	-6.62	Lt/m ³
Agregado Grueso	2501.96	x	-0.0043	=	-10.76	Lt/m ³
Total				=	-17.37	Lt/m ³

Agua Efectiva	84.96	-	-17.37	=	102.34	Lt/m ³
---------------	-------	---	--------	---	--------	-------------------

Los pesos de los materiales ya corregidos serán:

Cemento	283.21	Kg/m ³
Agua Efectiva	102.34	Lt/m ³
Agregado Fino Húmedo	280.83	Kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo	2517.72	Kg/m ³

2.13 Proporción en Peso Húmedo:

283.21 / 283.21 : 280.83 /	283.21 : 2517.72 /	283.21	1 : 0.99 : 8.89 / 0.30
----------------------------	--------------------	--------	------------------------

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 51. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 30% de vacíos-parte 1.



DISEÑO DE MEZCLA $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$
Método de Diseño de mezcla - ACI 522R-10

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA

CIUDAD DE CASMA

I. ESPECIFICACIONES:

1.1. La Resistencia de Diseño a los 28 días es de 100 Kg/cm^2 desviación estándar.

1.2. Materiales:

1.2.1. **CEMENTO MOCHICA MS**

Peso Especifico	2.98	gr/cm ³
-----------------	------	--------------------

1.2.2. **Agregado Fino**

Arena Gruesa		
Peso Especifico	2.69	gr/cm ³
Absorción	3.40	%
Contenido de Humedad	1.02	%
Módulo de Fineza	2.62	
Peso Unitario Suelto	1473	Kg/m ³

1.2.3. **Agregado Grueso**

Agregado Grueso - MUESTRA TRAIDA POR EL SOLICITANTE

Tamaño Máximo Nominal	1/2"	
Peso Seco Varillado	1384	Kg/m ³
Peso Especifico	2.82	gr/cm ³
Absorción	1.06	%
Contenido de Humedad	0.63	%
Peso Unitario Suelto	1591	Kg/m ³

1.2.4. **Agua:**
Agua Potable de la zona.

II. SECUENCIA DE DISEÑO:

2.1. Determinación del Peso del Agregado

Según la Norma ACI 522R-10, considerando un 10% de agregado fino:

$w_a = \frac{P \cdot U + b}{b_o + V_t}$	b/b _o =	0.93
$w_a \text{ (seco)}$	2622.6	kg/m ³

2.2. Corrección de w_a :

V_w	279.96	kg/m ³
-------	--------	-------------------

2.3. Determinar el Volumen de Pasta:

Según la norma ACI 522R-10, en el nomograma de p. 14 para un porcentaje de vacío de 30% se considera un volumen de pasta ligeramente compactada 14%

$V_{pasta} = \% \text{ pasta} \times V_{total}$	
$V_{pasta} =$	0.14

2.4. Determinar el contenido del cemento:

Considerando una $a/c =$ 0.30

W_c	220.27	kg/m ³	5.18 Bls/m ³
-------	--------	-------------------	-------------------------

2.5. Contenido de Agua:

se obtuvo

W_w	66.08	lt/m ³
-------	-------	-------------------

2.6. Contenido de Arena:

Considerando un 10% de arena

W_{arena}	278.00	kg/m ³
W_{grava}	2501.96	kg/m ³

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 52. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 30% de vacíos-parte 2.



2.7. Corrección por humedad de los agregados:

A.Fino	278.00	x	1.0102	=	280.83	kg/m ³
A.Grueso	2501.96	x	1.0063	=	2517.72	kg/m ³

Humedad Superficial de:

Agregado Fino	1.02	-	3.40	=	-2.38	%
Agregado Grueso	0.63	-	1.06	=	-0.43	%

Aporte de Humedad de los Agregados:

Agregado Fino	278.00	x	{ -0.0238 }	=	-6.62	Lt/m ³
Agregado Grueso	2501.96	x	{ -0.0043 }	=	-10.76	Lt/m ³
Total				=	-17.37	Lt/m ³

Agua Efectiva	66.08	-	{ -17.37 }	=	83.46	Lt/m ³
---------------	-------	---	------------	---	-------	-------------------

Los pesos de los materiales ya corregidos serán:

Cemento	220.27	Kg/m ³
Agua Efectiva	83.46	Lt/m ³
Agregado Fino Húmedo	280.83	Kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo	2517.72	Kg/m ³

2.13 Proporción en Peso Húmedo:

220.27 / 220.27	:	280.83 / 220.27	:	2517.72 / 220.27	:	1 : 1.27 : 11.43 / 0.30
-----------------	---	-----------------	---	------------------	---	-------------------------

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 53. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 35% de vacíos-parte 1.

DISEÑO DE MEZCLA $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$
Método de Diseño de mezcla - ACI 522R-10

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACION DE DESASTRES EN LA

CIUDAD DE CASMA

I. ESPECIFICACIONES:

1.1. La Resistencia de Diseño a los 28 días es de 100 Kg/cm^2 desviación estándar.

1.2. Materiales:

1.2.1. **CEMENTO MOCHICA MS**

Peso Especifico	2.98	gr/cm ³
-----------------	------	--------------------

1.2.2. **Agregado Fino**

Peso Especifico	2.69	gr/cm ³
Absorción	3.40	%
Contenido de Humedad	1.02	%
Módulo de Fineza	2.62	
Peso Unitario Suelto	1473	Kg/m ³

1.2.3. **Agregado Grueso**

Agregado Grueso - MUESTRA TRAIDA POR EL SOLICITANTE

Tamaño Maximo Nominal	1/2"	
Peso Seco Varillado	1384	Kg/m ³
Peso Especifico	2.82	gr/cm ³
Absorción	1.06	%
Contenido de Humedad	0.63	%
Peso Unitario Suelto	1591	Kg/m ³

1.2.4. **Agua:**
Agua Potable de la zona.

II. SECUENCIA DE DISEÑO:

2.1. **Determinación del Peso del Agregado**
Según la Norma ACI 522R-10, considerando un 10% de agregado fino :

w_a	"= $P \cdot U + b / bo + Vt$ "	$b / bo =$	0.93
w_a (seco)	2622.6	kg/m ³	

2.2. **Corrección de W_a :**

W_a	2779.96	kg/m ³
-------	---------	-------------------

2.3. **Determinar el Volumen de Pasta:**
Según la norma ACI 522R-10, en el nomograma de p 14 para un porcentaje de vacío de 35% se considera un volumen de pasta ligeramente compactada 8%

$V_{pasta} =$	% pasta x V_{total}
$V_{pasta} =$	0.08

2.4. **Determinar el contenido del cemento:**
Considerando una $a/c =$ 0.30

W_c	125.87	kg/m ³	2.96 Bls/m ³
-------	--------	-------------------	-------------------------

2.5. **Contenido de Agua:**
se obtuvo

W_w	37.76	lt/m ³
-------	-------	-------------------

2.6. **Contenido de Arena:**
Considerando un 10% de arena

W_{arena}	278.00	kg/m ³
W_{grava}	2501.96	kg/m ³

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 54. Diseño de mezcla $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ con 35% de vacíos-parte 2.



2.7. Corrección por humedad de los agregados:

A.Fino	278.00	x	1.0102	=	280.83	kg/m ³
A.Grueso	2501.96	x	1.0063	=	2517.72	kg/m ³

Humedad Superficial de:

Agregado Fino	1.02	-	3.40	=	-2.38	%
Agregado Grueso	0.63	-	1.06	=	-0.43	%

Aporte de Humedad de los Agregados:

Agregado Fino	278.00	x	{ -0.0238 }	=	-6.62	Lt/m ³
Agregado Grueso	2501.96	x	{ -0.0043 }	=	-10.76	Lt/m ³
Total				=	-17.37	Lt/m ³

Agua Efectiva	37.76	-	{ -17.37 }	=	55.14	Lt/m ³
---------------	-------	---	------------	---	-------	-------------------

Los pesos de los materiales ya corregidos serán:

Cemento	125.87	Kg/m ³
Agua Efectiva	55.14	Lt/m ³
Agregado Fino Húmedo	280.83	Kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo	2517.72	Kg/m ³

2.13 Proporción en Peso Húmedo:

125.87 / 125.87	:	280.83 / 125.87	:	2517.72 / 125.87	:	55.14 / 125.87	:	1 : 2.23 : 20.00/0.30
-----------------	---	-----------------	---	------------------	---	----------------	---	-----------------------

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 55. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 15% de vacíos a los
7 días.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39

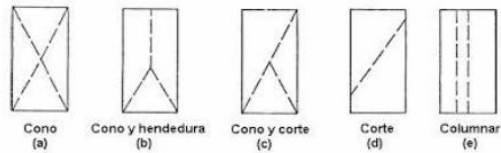
USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA :26 DE MAYO DEL 2025

MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL : MODELO PC-1000 - SERIE 1114 (PERUTEST) - EXP:0073

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LFP-711-2024

Nº PROBETA	TESTIGO - ELEMENTO	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	EDAD DÍAS	CARGA MAXIMA KG	SECCIÓN CM2	RESISTENCIA ESPERADA KG/CM2	RESISTEN CIA FINAL	FC/F'C %	FALLA
1	P01 - 15% C.V.	19/05/2025	26/05/2025	7	13060	180.00	100	72.56	72.56	A
2	P02 - 15% C.V.	19/05/2025	26/05/2025	7	13280	180.00	100	73.78	73.78	A



Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 56. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 20% de vacíos a los
7 días.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39

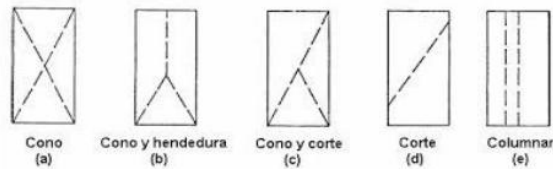
USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA : 27 DE MAYO DEL 2025

MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL : MODELO PC-1000 - SERIE 1114 (PERUTEST) - EXP:0073

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LFP-711-2024

Nº PROBETA	TESTIGO - ELEMENTO	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARGA MAXIMA KG	SECCIÓN CM2	RESITENCIA ESPERADA KG/CM2	RESITEN CIA FINAL	FC/F'C %	FALLA
1	P01 - 20% C.V.	20/05/2025	27/05/2025	7	12260	180.00	100	68.11	68.11	A
2	P02 - 20% C.V.	20/05/2025	27/05/2025	7	11300	180.00	100	62.78	62.78	B



Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 57. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 25% de vacíos a los 7 días.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA : 28 DE MAYO DEL 2025

MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL : MODELO PC-1000 - SERIE 1114 (PERUTEST) - EXP:0073

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LFP-711-2024

Nº PROBETA	TESTIGO - ELEMENTO	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARGA MAXIMA KG	SECCIÓN CM2	RESISTENCIA ESPERADA KG/CM2	RESISTEN CIA FINAL	FC/F'C %	FALLA
1	P01 - 25% C.V.	21/05/2025	28/05/2025	7	12610	180.00	100	70.06	70.06	A
2	P02 - 25% C.V.	21/05/2025	28/05/2025	7	12860	180.00	100	71.44	71.44	B



Cono
(a)



Cono y hendidura
(b)



Cono y corte
(c)



Corte
(d)



Columnar
(e)

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 58. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 30% de vacíos a los 7 días.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA :29 DE MAYO DEL 2025

MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL : MODELO PC-1000 - SERIE 1114 (PERUTEST) - EXP:0073

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LFP-711-2024

Nº PROBETA	TESTIGO - ELEMENTO	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARGA MAXIMA KG	SECCIÓN CM2	RESITENCIA ESPERADA KG/CM2	RESITENCIA FINAL	FC/F'C %	FALLA
1	P01 - 30% C.V.	23/05/2025	30/05/2025	7	13010	180.00	100	72.28	72.28	B
2	P02 - 30% C.V.	23/05/2025	30/05/2025	7	13440	180.00	100	74.67	74.67	B



Cono (a)



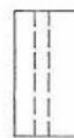
Cono y hendedura (b)



Cono y corte (c)



Corte (d)



Columnar (e)

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 59. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 35% de vacíos a los 7 días.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA :29 DE MAYO DEL 2025

MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL : MODELO PC-1000 - SERIE 1114 (PERUTEST) - EXP:0073

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LFP-711-2024

Nº PROBETA	TESTIGO - ELEMENTO	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARGA MAXIMA KG	SECCIÓN CM2	RESITENCIA ESPERADA KG/CM2	RESITEN CIA FINAL	FC/F'C %	FALLA
1	P01 - 35% C.V.	24/05/2025	31/05/2025	7	10360	180.00	100	57.56	57.56	B
2	P02 - 35% C.V.	24/05/2025	31/05/2025	7	10300	180.00	100	57.22	57.22	A



Cono
(a)



Cono y hendedura
(b)



Cono y corte
(c)



Corte
(d)



Columnar
(e)

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 60. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 15% de vacíos a los
14 días.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA : 2 DE JUNIO DEL 2025

MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL : MODELO PC-1000 - SERIE 1114 (PERUTEST) - EXP:0073

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LFP-711-2024

Nº PROBETA	TESTIGO - ELEMENTO	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARGA MAXIMA KG	SECCIÓN CM2	RESISTENCIA ESPERADA KG/CM2	RESISTEN CIA FINAL	FC/F'C %	FALLA
1	P01 - 15% C.V.	19/05/2025	02/06/2025	14	16980	180.00	100	94.33	94.33	B
2	P02 - 15% C.V.	19/05/2025	02/06/2025	14	16530	180.00	100	91.83	91.83	A



Cono
(a)



Cono y hendedura
(b)



Cono y corte
(c)



Corte
(d)



Columnar
(e)

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 61. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 20% de vacíos a los
14 días.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA : 3 DE JUNIO DEL 2025

MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL : MODELO PC-1000 - SERIE 1114 (PERUTEST) - EXP:0073

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LFP-711-2024

Nº PROBETA	TESTIGO - ELEMENTO	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARGA MAXIMA KG	SECCIÓN CM2	RESISTENCIA ESPERADA KG/CM2	RESISTENCIA FINAL	FC/F'C %	FALLA
1	P01 - 20% C.V.	20/05/2025	03/06/2025	14	16250	180.00	100	90.28	90.28	B
2	P02 - 20% C.V.	20/05/2025	03/06/2025	14	16050	180.00	100	89.17	89.17	B



Cono
(a)



Cono y hendidura
(b)



Cono y corte
(c)



Corte
(d)



Columnar
(e)

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 62. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 25% de vacíos a los
14 días.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA : 4 DE JUNIO DEL 2025

MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL : MODELO PC-1000 - SERIE 1114 (PERUTEST) - EXP:0073

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LFP-711-2024

Nº PROBETA	TESTIGO - ELEMENTO	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARGA MAXIMA KG	SECCIÓN CM2	RESITENCIA ESPERADA KG/CM2	RESITEN CIA FINAL	FC/F'C %	FALLA
1	P01 - 25% C.V.	21/05/2025	04/06/2025	14	17600	180.00	100	97.78	97.78	B
2	P02 - 25% C.V.	21/05/2025	04/06/2025	14	17270	180.00	100	95.94	95.94	C



Cono
(a)



Cono y hendidura
(b)



Cono y corte
(c)



Corte
(d)



Columnar
(e)

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 63. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 30% de vacíos a los
14 días.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA : 6 DE JUNIO DEL 2025

MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL : MODELO PC-1000 - SERIE 1114 (PERUTEST) - EXP:0073

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LFP-711-2024

Nº PROBETA	TESTIGO - ELEMENTO	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARGA MAXIMA KG	SECCIÓN CM2	RESITENCIA ESPERADA KG/CM2	RESITEN CIA FINAL	FC/F'C %	FALLA
1	P01 - 30% C.V.	23/05/2025	06/06/2025	14	15620	180.00	100	86.78	86.78	B
2	P02 - 30% C.V.	23/05/2025	06/06/2025	14	15580	180.00	100	86.56	86.56	B



Cono
(a)



Cono y hendedura
(b)



Cono y corte
(c)



Corte
(d)



Columnar
(e)

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 64. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 35% de vacíos a los
14 días.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA : 7 DE JUNIO DEL 2025

MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL : MODELO PC-1000 - SERIE 1114 (PERUTEST) - EXP:0073

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LFP-711-2024

Nº PROBETA	TESTIGO - ELEMENTO	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARGA MAXIMA KG	SECCIÓN CM2	RESITENCIA ESPERADA KG/CM2	RESITEN CIA FINAL	FC/F'C %	FALLA
1	P01 - 35% C.V.	24/05/2025	07/06/2025	14	13660	180.00	100	75.89	75.89	B
2	P02 - 35% C.V.	24/05/2025	07/06/2025	14	13580	180.00	100	75.44	75.44	A



Cono
(a)



Cono y hendedura
(b)



Cono y corte
(c)



Corte
(d)



Columnar
(e)

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 65. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 15% de vacíos a los
28 días.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA :16 DE JUNIO DEL 2025

MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL : MODELO PC-1000 - SERIE 1114 (PERUTEST) - EXP:0073

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LFP-711-2024

Nº PROBETA	TESTIGO - ELEMENTO	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARGA MAXIMA KG	SECCIÓN CM2	RESITENCIA ESPERADA KG/CM2	RESITEN CIA FINAL	FC/F'C %	FALLA
1	P01 - 15% C.V.	19/05/2025	16/06/2025	28	18510	180.00	100	102.83	102.83	B
2	P02 - 15% C.V.	19/05/2025	16/06/2025	28	18770	180.00	100	104.28	104.28	A



Cono
(a)



Cono y hendedura
(b)



Cono y corte
(c)



Corte
(d)



Columnar
(e)

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 66. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 20% de vacíos a los
28 días.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA :17 DE JUNIO DEL 2025

MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL : MODELO PC-1000 - SERIE 1114 (PERUTEST) - EXP:0073

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LFP-711-2024

Nº PROBETA	TESTIGO - ELEMENTO	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARGA MAXIMA KG	SECCIÓN CM2	RESISTENCIA ESPERADA KG/CM2	RESISTEN CIA FINAL	FC/F'C %	FALLA
1	P01 - 20% C.V.	20/05/2025	17/06/2025	28	19290	180.00	100	107.17	107.17	E
2	P02 - 20% C.V.	20/05/2025	17/06/2025	28	19600	180.00	100	108.89	108.89	E



Cono
(a)



Cono y hendidura
(b)



Cono y corte
(c)



Corte
(d)



Columnar
(e)

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 67. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 25% de vacíos a los
28 días.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA :18 DE JUNIO DEL 2025

MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL : MODELO PC-1000 - SERIE 1114 (PERUTEST) - EXP:0073

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LFP-711-2024

Nº PROBETA	TESTIGO - ELEMENTO	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARGA MAXIMA KG	SECCIÓN CM2	RESISTENCIA ESPERADA KG/CM2	RESISTEN CIA FINAL	FC/F'C %	FALLA
1	P01 - 25% C.V.	21/05/2025	18/06/2025	28	20260	180.00	100	112.56	112.56	E
2	P02 - 25% C.V.	21/05/2025	18/06/2025	28	20830	180.00	100	115.72	115.72	E



Cono
(a)



Cono y hendidura
(b)



Cono y corte
(c)



Corte
(d)



Columnar
(e)

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 68. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 30% de vacíos a los
28 días.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39

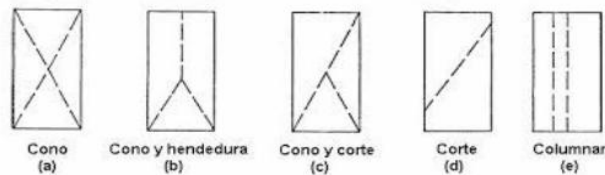
USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA :20 DE JUNIO DEL 2025

MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL : MODELO PC-1000 - SERIE 1114 (PERUTEST) - EXP:0073

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LFP-711-2024

Nº PROBETA	TESTIGO - ELEMENTO	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARGA MAXIMA KG	SECCIÓN CM2	RESISTENCIA ESPERADA KG/CM2	RESISTEN CIA FINAL	FC/F'C %	FALLA
1	P01 - 30% C.V.	23/05/2025	20/06/2025	28	17060	180.00	100	94.78	94.78	B
2	P02 - 30% C.V.	23/05/2025	20/06/2025	28	16740	180.00	100	93.00	93.00	B



Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

Figura 69. Ensayo de resistencia a la compresión de probetas con 35% de vacíos a los
28 días.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ASTM C-39

USO DE PAVIMENTOS PERMEABLES PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES EN LA CIUDAD DE CASMA

FECHA :21 DE JUNIO DEL 2025

MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL : MODELO PC-1000 - SERIE 1114 (PERUTEST) - EXP:0073

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LFP-711-2024

Nº PROBETA	TESTIGO - ELEMENTO	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	EDAD DIAS	CARGA MAXIMA KG	SECCIÓN CM2	RESISTENCIA ESPERADA KG/CM2	RESISTEN CIA FINAL	FC/F'C %	FALLA
1	P01 - 35% C.V.	24/05/2025	21/06/2025	28	16990	180.00	100	94.39	94.39	B
2	P02 - 35% C.V.	24/05/2025	21/06/2025	28	16640	180.00	100	92.44	92.44	E



Cono
(a)



Cono y hendedura
(b)



Cono y corte
(c)



Corte
(d)



Columnar
(e)

Nota. Elaboración propia de los autores, 2025

7.9 Anexo 9.

PANEL FOTOGRAFICO

CALICATAS

Foto 1. Calicata 1



Nota. Elaboración Propia

Foto 2. Calicata 2



Nota. Elaboración Propia

Foto 3. Calicata 3



Nota. Elaboración Propia

PRUEBAS DE LABORATORIO

AGREGADO FINO

Foto 4. Cuarteo del Agregado Fino



Nota. Elaboración Propia

CONTENIDO DE HUMEDAD

Foto 5. *Llenado de las muestras*



Nota. Elaboración Propia

Foto 6. *Peso de la muestra*



Nota. Elaboración Propia

Foto 7. *Secado de muestras*



Nota. Elaboración Propia

GRANULOMETRIA

Foto 8. *Vaciado de la muestra*



Nota. Elaboración Propia

Foto 9. Tamizaje



Nota. Elaboración Propia

PROCTOR

Foto 10. Tamizaje – C1



Nota. Elaboración Propia

Foto 11. *Humedeciendo la muestra – C1*



Nota. Elaboración Propia

PESO VOLUMETRICO

Foto 12. *Peso del recipiente vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 13. *Compactación del agregado*



Nota. Elaboración Propia

Foto 14. *Peso del recipiente lleno*



Nota. Elaboración Propia

Foto 15. *Medición del recipiente*



Nota. Elaboración Propia

PESO ESPECIFICO

Foto 16. *Peso del recipiente lleno*



Nota. Elaboración Propia

Foto 17. *Secado de la muestra*



Nota. Elaboración Propia

ABSORCIÓN

Foto 18. *Secado de la muestra*



Nota. Elaboración Propia

Foto 19. *Compactación de la muestra*



Nota. Elaboración Propia

Foto 20. *Prueba del cono*



Nota. Elaboración Propia

PROCTOR

Foto 21. Proctor – C1



Nota. Elaboración Propia

Foto 22. Proctor – C2



Nota. Elaboración Propia

Foto 23. Proctor – C3



Nota. Elaboración Propia

CBR

Foto 24. CBR – C1



Nota. Elaboración Propia

Foto 25. CBR – C1



Nota. Elaboración Propia

Foto 26. CBR – C2



Nota. Elaboración Propia

Foto 27. CBR – C3



Nota. Elaboración Propia

Foto 28. CBR – C3



Nota. Elaboración Propia

PRUEBAS DE LABORATORIO

AGREGADO GRUESO

Foto 29. Cuarteo del Agregado Grueso



Nota. Elaboración Propia

GRANULOMETRIA

Foto 30. Tamizaje



Nota. Elaboración Propia

Foto 31. *Separación de mallas*



Nota. Elaboración Propia

CONTENIDO DE HUMEDAD

Foto 32. *Humedeciendo la muestra*



Nota. Elaboración Propia

Foto 33. *Peso de la muestra*



Nota. Elaboración Propia

PESO VOLUMETRICO

Foto 34. *Peso del recipiente vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 35. Compactación del agregado



Nota. Elaboración Propia

Foto 36. Peso del recipiente lleno



Nota. Elaboración Propia

Foto 37. *Medición del recipiente*



Nota. Elaboración Propia

ABSORCIÓN

Foto 38. *Secado de la muestra*



Nota. Elaboración Propia

Foto 39. *Pesado de la muestra*



Nota. Elaboración Propia

Foto 40. *Peso de la muestra sumergida en agua*



Nota. Elaboración Propia

Foto 41. *Secado de muestras*



Nota. Elaboración Propia

ELABORACIÓN DE PROBETAS

Foto 42. *Vaciado de agregados*



Nota. Elaboración Propia

Foto 43. *Vaciado de agua*



Nota. Elaboración Propia

Foto 44. *Mezcla del concreto*



Nota. Elaboración Propia

Foto 45. *Compactación del concreto en las probetas*



Nota. Elaboración Propia

Foto 46. *Probetas con 15% de porcentaje de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 47. *Probetas con 20% de porcentaje de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 48. *Probetas con 25% de porcentaje de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 49. *Probetas con 30% de porcentaje de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 50. *Probetas con 35% de porcentaje de vacío*



Nota. Elaboración Propia

ROTURA DE PROBETAS A LOS 7 DIAS

Foto 51. *Probeta 1 – 15% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 52. *Probeta 2 – 15% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 53. *Probeta 1 – 20% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 54. *Probeta 2 – 20% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 55. *Probeta 1 – 25% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 56. *Probeta 2 – 25% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 57. *Probeta 1 – 30% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 58. *Probeta 2 – 30% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 59. *Probeta 1 – 35% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 60. *Probeta 2 – 35% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

ROTURA DE PROBETAS A LOS 14 DIAS

Foto61

Probeta 1 – 15% de vacío



Nota. Elaboración Propia

Foto 62. Probeta 2 – 15% de vacío



Nota. Elaboración Propia

Foto 63. *Probeta 1 – 20% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 64. *Probeta 2 – 20% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 65. *Probeta 1 – 25% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 66. *Probeta 2 – 25% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 67. *Probeta 1 – 30% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 68. *Probeta 2 – 30% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 69. *Probeta 1 – 35% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 70. *Probeta 2 – 35% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 71. *Probeta 1 – 20% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 72. *Probeta 2 – 20% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 73. *Probeta 1 – 25% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 74. *Probeta 2 – 25% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 75. *Probeta 1 – 30% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 76. *Probeta 2 – 30% de vacío*



Nota. Elaboración Propia

Foto 77. Probeta 1 – 35% de vacío



Nota. Elaboración Propia

Foto 78. Probeta 2 – 35% de vacío



Nota. Elaboración Propia

ESCORRENTILLA

Foto 79. Prueba de escorrentía superficial con concreto 15% vacío



Nota. Elaboración Propia

Foto 80. Prueba de escorrentía superficial con concreto 20% vacío



Nota. Elaboración Propia

Foto 81. Prueba de escorrentía superficial con concreto 25% vacío



Nota. Elaboración Propia

Foto 82. Prueba de escorrentía con concreto 30% vacío



Nota. Elaboración Propia

Foto 83. Prueba de escorrentía superficial con concreto 35% vacío



Nota. Elaboración Propia

INFILTRACIÓN

Foto 84. Prueba de infiltración con concreto 15% vacío



Nota. Elaboración Propia

Foto 85. Prueba de infiltración con concreto 20% vacío



Nota. Elaboración Propia

Foto 86. Prueba de infiltración con concreto 25% vacío



Nota. Elaboración Propia

Foto 87. Prueba de infiltración con concreto 30% vacío



Nota. Elaboración Propia

Foto 88. Prueba de infiltración con concreto 35% vacío



Nota. Elaboración Propia

7.10 Anexo 10.

Presupuesto aproximado del pavimento permeable

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Precio Unitario (S/.)	Parcial (S/.)
1	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
1.1	Excavación de terreno para zanja y losa	m3	1587.5	47.88	76009.50
1.2	Nivelación y compactación del terreno	m2	3175.04	35.88	113920.44
1.3	Eliminación de material excedente	M3	1587.5	24.37	38687.38
2	BASE GRANULAR				
2.1	Suministro y colocación de base granular drenante (0.35 m)	m3	1111.26	103.88	115437.69
3	CONCRETO PERMEABLE				
3.1	Concreto permeable f'c=100 kg/cm ² (1:0.99:8.89/0.3)	m3	476.26	245.35	116850.39
4	SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL				
4.1	Suministro e instalacion de Tubería PVC Serie 20 Ø4"	m	536.69	66.35	35609.38
4.2	Suministro y colocacion de cajas de inspección de concreto simple 0.50x0.50x0.60m	und	11	542.33	5965.63
4.3	Muro de descarga con enrocado de protección	m3	0.375	174.68	65.51
4.4	Muro de concreto para descarga de drenaje pluvial	m3	0.24	287.46	68.99
	SUBTOTAL				502614.90
	GASTOS GENERALES Y CONTINGENCIA (12%)				60313.79
	TOTAL GENERAL (S/)				562928.68

7.11 Anexo 11.

PLANO GENERAL DEL DISEÑO DE DRENAJE PLUVIAL CON CURVAS DE NIVEL