

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“Diseño de un sistema de subdrenaje para
pavimento permeable en condiciones de alta
precipitación en el distrito de Yanacancha,
Pasco”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: García Cabrera, John Pierre

ASESOR: Tuanama Lavi, Jose Wicley

HUÁNUCO – PERÚ

2026

U

D

H

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Hidráulica**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** (2020)**CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:****Área:** Ingeniería, Tecnología**Sub área:** Ingeniería civil**Disciplina:** Ingeniería civil**DATOS DEL PROGRAMA:**

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero(a) Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 77063012

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 05860064

Grado/Título: Maestro en gerencia pública

Código ORCID: 0000-0002-5148-6384

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745
2	Davila Herrera, Percy Mello	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41050949	0000-0001-5484-6982
3	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 16:00 horas del día jueves 03 de setiembre de 2026, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

❖ MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA	PRESIDENTE
❖ MG. PERCY MELLO DAVILA HERRERA	SECRETARIO
❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN N° 1508-2026-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE PARA PAVIMENTO PERMEABLE EN CONDICIONES DE ALTA PRECIPITACIÓN EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO", presentado por el (la) Bachiller Bach: John Pierre GARCÍA CABRERA, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 15 y cualitativo de BUENO (Art. 47).

Siendo las 17:00 horas del día 03 del mes de setiembre del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA
DNI: 70902371
ORCID: 0000-0002-3650-3745
PRESIDENTE


MG. PERCY MELLO DAVILA HERRERA
DNI: 41050949
ORCID: 0000-0001-5484-6962
SECRETARIO (A)


MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO
DNI: 41891649
ORCID: 0000-0001-8392-1769
VOCAL

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: **JOHN PIERRE GARCIA CABRERA**, de la investigación titulada **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE PARA PAVIMENTO PERMEABLE EN CONDICIONES DE ALTA PRECIPITACIÓN EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO"**, con asesor(a): **JOSE WICLEY TUANAMA LAVI**, designado(a) mediante documento: **RESOLUCIÓN N° 1422-2025-D-FI-UDH** del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del **24 %** verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 22 de julio de 2026



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

Nota: La presente constancia tendrá una **vigencia de cuatro (4) meses**, conforme a lo establecido en la **Directiva del Software de Identificación de Similitud y Originalidad**, aprobada mediante **Resolución N° 532-2024-P-CD-UDH**.

Vencido dicho plazo, el solicitante deberá realizar nuevamente el procedimiento correspondiente para la emisión de una nueva constancia.

Válida hasta el 22 de noviembre de 2026.

85. JOHN PIERRE GARCIA CABRERA.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorioacademico.upc.edu.pe	9%
	Fuente de Internet	
2	hdl.handle.net	3%
	Fuente de Internet	
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	2%
	Trabajo del estudiante	
4	repositorio.udh.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	cdn.www.gob.pe	1%
	Fuente de Internet	
6	pdfcoffee.com	1%
	Fuente de Internet	
7	Submitted to Universidad Politécnica del Perú	1%
	Trabajo del estudiante	
8	repositorio.upla.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
9	riujap.ujap.edu.ve	<1%
	Fuente de Internet	
10	repositorio.lamolina.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis padres, por ser el mayor ejemplo de esfuerzo, honestidad y perseverancia que he tenido a lo largo de mi vida. Su amor, apoyo incondicional y enseñanzas han sido el fundamento que me permitió alcanzar esta meta académica.

A mi hermana, por acompañarme en cada etapa de este camino, por su constante respaldo y por motivarme a seguir adelante aun en los momentos de mayor dificultad.

A mi querida abuela Mamá Lucha, quien permanece siempre en mi corazón. Aunque hoy ya no me acompaña físicamente, su cariño, sus consejos y los valores que me inculcó continúan guiando mi vida y fortaleciendo cada uno de mis pasos.

Con profundo agradecimiento y cariño, dedico este logro a mi familia, porque cada página de este trabajo refleja también el esfuerzo, el apoyo y la confianza que siempre depositaron en mí.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi reconocimiento a mi asesor de tesis por el acompañamiento brindado durante el desarrollo de esta investigación. Las observaciones realizadas durante el proceso de asesoría contribuyeron significativamente para fortalecer la calidad académica del presente trabajo y culminarlo satisfactoriamente.

Asimismo, agradezco a los miembros del jurado evaluador por el tiempo dedicado a la revisión de la investigación, así como por sus valiosos comentarios y sugerencias, los cuales contribuyeron a enriquecer el contenido de esta tesis.

Extiendo también mi reconocimiento a todas las personas que, de una u otra manera, brindaron su apoyo durante el desarrollo de esta etapa académica.

Finalmente, agradezco a mi familia por su respaldo constante, su comprensión y la confianza depositada en mí, factores que hicieron posible alcanzar este importante objetivo profesional.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
INTRODUCCIÓN	X
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
CAPÍTULO I	14
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2.1 PROBLEMA GENERAL	15
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
1.3 OBJETIVO GENERAL	15
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.5.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	16
1.5.2 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	16
1.5.3 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	17
1.5.4 JUSTIFICACIÓN SOCIAL	17
1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.7 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.7.1 VIABILIDAD TEÓRICA	18
1.7.2 VIABILIDAD ECONÓMICA	18
1.7.3. VIABILIDAD SOCIAL	18
CAPÍTULO II	20
MARCO TEÓRICO	20
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.1.1. ANTECEDENTE INTERNACIONAL	20
2.1.2. ANTECEDENTE NACIONAL	22

2.1.3. ANTECEDENTE LOCAL.....	24
2.2. BASES TEÓRICAS	26
2.2.1. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO	
PERMEABLE	26
2.2.2. PATOLOGÍAS DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS	30
2.2.3. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO SEGÚN LA	
METODOLOGÍA AASHTO 93.....	32
2.2.4. SISTEMA DE SUBDRENAJE	38
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	41
2.4. HIPÓTESIS	43
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	43
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	43
2.5. VARIABLES.....	43
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE	43
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	43
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	44
CAPÍTULO III	45
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	45
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	45
3.1.1 ENFOQUE	45
3.1.2 ALCANCE O NIVEL	45
3.1.3 DISEÑO	46
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	46
3.2.1 POBLACIÓN	46
3.2.2 MUESTRA.....	47
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE	
DATOS	48
3.3.1 TÉCNICAS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS	48
3.3.2 INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	49
3.4 TÉCNICA PARA EL PROCESAMIENTO Y EL ANÁLISIS DE LA	
INFORMACIÓN	49
3.5 ASPECTOS ÉTICOS.....	50
CAPÍTULO IV.....	52
RESULTADOS.....	52

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	52
4.1.1. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DEL CONCRETO PERMEABLE.....	52
4.1.2. PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO PERMEABLE.....	59
4.1.3. DISEÑO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO	66
4.1.4. DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SUBDRENAJE	71
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	83
CAPÍTULO V.....	85
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	85
5.1. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	85
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES.....	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
ANEXOS:.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Calificación Del Índice De Serviciabilidad (Psi)	34
Tabla 2 Coeficientes De Drenaje.....	37
Tabla 3 Valores De Pérdida De Soporte	38
Tabla 4 Operacionalización De Variables.....	44
Tabla 5 Ensayo De Los Agregados Gruesos Y Finos	53
Tabla 6 Parámetros De La Ecuación Fundamental	66
Tabla 7 Gradación Del Material Del Afirmado	67
Tabla 8 Resultados Del Ensayo De Permeabilidad	69
Tabla 9 Valores De Riesgo Admisibles	72
Tabla 10 PP Max En 24h Desde 1995 Al 2024	73
Tabla 11 Distribución De Probabilidades.....	75
Tabla 12 Valores Para Fi	77
Tabla 13 Valores Para Fr	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Concreto permeable.....	26
Figura 2 Esfuerzo de compresión en probetas de concreto	27
Figura 3 Resistencia a la flexión	28
Figura 4 Muestra de permeabilidad.....	29
Figura 5 Infiltración de pavimentos permeables.....	29
Figura 6 Porosidad y conectividad de poros en un concreto de baja y alta resistencia.....	30
Figura 7 Ecuación fundamental de AASHTO 93	33
Figura 8 Esfuerzo vs deformación.....	36
Figura 9 Transferencia de carga	37
Figura 10 Geodrén Vial y filtro Francés.....	39
Figura 11 Componentes del Geodrén Vial	39
Figura 12 Colocación del Geodrén Vial	40
Figura 13 Caudal total de diseño	40
Figura 14 Modelo del pavimento permeable	53
Figura 15 Ensayo Agregado Grueso	54
Figura 16 Ensayo Agregado Fino.....	54
Figura 17 Ensayo de peso unitario-agregado grueso	55
Figura 18 Ensayo de peso unitario-agregado fino.....	55
Figura 19 Ensayo contenido de humedad.....	56
Figura 20 Ensayo de gravedad específica y absorción-agregado grueso... 56	
Figura 21 Ensayo de gravedad específica y absorción-agregado fino..... 57	
Figura 22 Diseño de mezcla del concreto permeable	57
Figura 23 Peso de los materiales.....	58
Figura 24 Probetas cilíndricas.....	58
Figura 25 Probetas rectangulares	59
Figura 26 Rotura de la probeta 1 a los 7 días	60
Figura 27 Rotura de la probeta 2 a los 7 días	60
Figura 28 Rotura de la probeta 3 a los 7 días	61
Figura 29 Rotura de la probeta 1 a los 14 días	61
Figura 30 Rotura de la probeta 2 a los 14 días	62
Figura 31 Rotura de la probeta 3 a los 14 días	62
Figura 32 Rotura de la probeta a los 28 días	63
Figura 33 Ensayo de viga a los 7 días	64
Figura 34 Ensayo de viga a los 14 días	64
Figura 35 Ensayo de viga a los 28 días	65
Figura 36 Ensayo del anillo de infiltración	65
Figura 37 Espesor de losa	67
Figura 38 Humedecimiento de la muestra	68
Figura 39 Temperatura del fluido	69
Figura 40 Coeficiente de permeabilidad.....	70
Figura 41 Distribución LogNormal 3.....	74
Figura 42 Intensidad máxima de la lluvia	76
Figura 43 Curva I-D-T	76
Figura 44 Caudal de diseño actual - Geosoft.....	78

Figura 45 Caudal de diseño propuesto - Geosoft.....	79
Figura 46 Parámetros de diseño-Geosoft	80
Figura 47 Resultados de diseño propuesto.....	81
Figura 48 Reporte del diseño propuesto	81
Figura 49 Plano sección pavimento drenante y sistema de geodrén vial....	82
Figura 50 Modelamiento	82

INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de las ciudades y el aumento de superficies impermeables han incrementado los problemas asociados al manejo de las aguas de lluvia, ocasionando una mayor exigencia sobre la infraestructura de drenaje urbano. Esta situación se acentúa en zonas con precipitaciones frecuentes, donde la escorrentía superficial favorece el deterioro prematuro de los pavimentos y afecta las condiciones de seguridad y transitabilidad. Frente a este escenario, resulta necesario incorporar alternativas constructivas que contribuyan a una gestión más eficiente del recurso hídrico, siendo el pavimento permeable una de las soluciones con mayor potencial de aplicación.

Este tipo de pavimento facilita el paso del agua hacia las capas inferiores de la estructura, disminuyendo el volumen de escorrentía superficial y favoreciendo la recarga del suelo. No obstante, su funcionamiento depende tanto de sus características mecánicas e hidráulicas como de la eficiencia del sistema encargado de conducir el agua infiltrada fuera de la estructura. Por ello, el diseño adecuado del subdrenaje constituye un aspecto esencial, especialmente en terrenos con limitada capacidad de infiltración, donde el exceso de humedad puede afectar el comportamiento estructural del pavimento.

La investigación se desarrolló en el distrito de Yanacancha, provincia y departamento de Pasco, una zona caracterizada por presentar precipitaciones intensas y condiciones de drenaje poco favorables. En ese contexto, se planteó el diseño de un sistema de subdrenaje integrado a un pavimento permeable, con la finalidad de incrementar su desempeño estructural e hidráulico bajo condiciones climáticas propias del área de estudio.

Para ello, se efectuó el análisis del tránsito vehicular, obteniéndose un valor de 59 530 ESAL, a partir del cual se determinó un espesor de losa de 10cm. Asimismo, se diseñó una mezcla de concreto permeable con una porosidad del 4%, alcanzando una resistencia a compresión de 397,36kg/cm², una resistencia a flexión de 53,01kg/cm² y una permeabilidad de 0,2122cm/s, resultados que evidencian un comportamiento favorable desde el punto de

vista estructural e hidráulico.

En cuanto al diseño hidráulico, se determinó un caudal de infiltración requerido de 1,85l/s, mientras que el sistema de subdrenaje propuesto presenta una capacidad de conducción de 26,5l/s, lo que garantiza una evacuación eficiente del agua infiltrada y evita la saturación del sistema. Asimismo, se evidenció una mejora del 19,4% en la capacidad de infiltración respecto a la condición actual.

En este marco, la investigación tiene como objetivo diseñar un sistema de subdrenaje para pavimento permeable que permita optimizar su desempeño en condiciones de alta precipitación. La hipótesis planteada sostiene que el diseño adecuado del sistema de subdrenaje mejora significativamente el desempeño del pavimento permeable, lo cual es validado a través de los resultados obtenidos.

Finalmente, el estudio aporta una solución técnica aplicable a contextos urbanos con características similares, integrando criterios estructurales e hidráulicos para el diseño de pavimentos más eficientes, sostenibles y adaptados a las condiciones climáticas actuales.

RESUMEN

La investigación tuvo como propósito desarrollar el diseño de un sistema de subdrenaje para un pavimento permeable destinado a operar bajo condiciones de elevada precipitación en el distrito de Yanacancha, provincia de Pasco. La propuesta buscó optimizar el comportamiento estructural e hidráulico del pavimento mediante el adecuado manejo del agua infiltrada, reduciendo los efectos negativos ocasionados por la acumulación de aguas pluviales en la infraestructura vial. Para ello, se adoptó un enfoque cuantitativo con alcance aplicado y nivel explicativo-propositivo.

El diseño estructural consideró un tránsito acumulado de 59 530 ESAL, obteniéndose un espesor de losa de 10cm para una subrasante clasificada como suelo tipo CL. Asimismo, se desarrolló una mezcla de concreto permeable con una porosidad del 4%, alcanzando una resistencia promedio a compresión de 397,36kg/cm², una resistencia a flexión de 53,01kg/cm² y una permeabilidad de 0,2122cm/s, parámetros que evidencian un desempeño favorable desde el punto de vista estructural e hidráulico.

El análisis hidráulico permitió determinar un caudal de infiltración de 1,85l/s, verificándose que el sistema de subdrenaje diseñado posee una capacidad de conducción de 26,5l/s, suficiente para evacuar eficientemente el agua infiltrada. Asimismo, se registró un incremento del 19,4% en la capacidad de infiltración respecto de la condición inicial del pavimento.

Los resultados obtenidos permitieron aceptar la hipótesis general de la investigación, evidenciando que la incorporación de un sistema de subdrenaje mejora significativamente el desempeño del pavimento permeable. En consecuencia, la propuesta constituye una alternativa técnicamente viable para el manejo de aguas pluviales en vías urbanas sometidas a condiciones de alta precipitación.

Palabras clave: pavimento permeable, subdrenaje, infiltración, desempeño hidráulico, drenaje vial.

ABSTRACT

This research focused on the design of a subdrainage system for permeable concrete pavement under high rainfall conditions in the district of Yanacancha, Pasco Province, Peru. The proposed solution was intended to improve the structural and hydraulic performance of the pavement by efficiently managing infiltrated stormwater, thereby minimizing the adverse effects of water accumulation on urban road infrastructure. The study adopted a quantitative approach with an applied and explanatory-propositional research level.

The structural pavement design was based on a cumulative traffic load of 59,530 ESAL, resulting in a slab thickness of 10cm over a CL-type subgrade. In addition, a permeable concrete mixture with 4% porosity was developed, achieving an average compressive strength of 397.36kg/cm², a flexural strength of 53.01kg/cm², and a permeability coefficient of 0.2122cm/s, demonstrating satisfactory structural and hydraulic performance.

Hydraulic analysis determined a required infiltration flow of 1.85l/s. The proposed subdrainage system showed a conveyance capacity of 26.5l/s, ensuring efficient drainage of infiltrated water. Furthermore, the infiltration capacity increased by 19.4% compared with the existing condition.

The findings confirmed the research hypothesis, demonstrating that the incorporation of a subdrainage system significantly enhances the performance of permeable pavement. Therefore, the proposed design represents a technically feasible alternative for stormwater management in urban areas exposed to high precipitation.

Keywords: Permeable pavement, subdrainage, infiltration, hydraulic performance, roadway drainage.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A nivel internacional, el diseño de los sistemas de drenaje constituye un aspecto fundamental para garantizar el adecuado desempeño de los pavimentos, especialmente en zonas donde las precipitaciones son frecuentes e intensas. La metodología AASHTO 1993 destaca que el control de la humedad en las capas que conforman la estructura del pavimento resulta determinante, debido a que la presencia excesiva de agua disminuye la capacidad resistente de los materiales y favorece la aparición de deformaciones y fallas prematuras (AASHTO, 1993). Asimismo, investigaciones desarrolladas en Colombia y Brasil evidencian que la incorporación de sistemas de subdrenaje mejora significativamente el comportamiento de los pavimentos rígidos sometidos a climas lluviosos (Ramírez et al., 2018). De igual manera, en Estados Unidos y diversos países europeos se han establecido guías modernas de diseño que consideran el manejo del agua superficial y subterránea como un elemento indispensable para el funcionamiento de la infraestructura vial (FHWA, 2016).

En el contexto nacional, el Perú presenta deficiencias estructurales en sus sistemas de drenaje vial. Muchas ciudades no han incorporado criterios técnicos adecuados en el diseño de subdrenajes para pavimentos, especialmente en regiones con alta pluviosidad. Según el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), durante la temporada de lluvias 2021-2022, varias infraestructuras viales colapsaron como consecuencia de la ausencia de infraestructura destinada al drenaje de aguas pluviales, lo que resalta la necesidad de una planificación más rigurosa (INDECI, 2022). Estudios como el de Salazar y Vega (2020) en la región de Cusco, demostraron que el rediseño de un sistema de subdrenaje bajo normativa AASHTO redujo en un 40% el deterioro del pavimento en un tramo urbano de características similares.

A nivel regional, en el Asentamiento Humano Víctor Raúl Haya de la Torre del distrito de Yanacancha, la problemática es evidente en diversas vías urbanas expuestas a lluvias intensas. Un caso representativo se observa en

el Jr. Huánuco, desde la cuadra 1 hasta la cuadra 2, donde la ausencia de un sistema de subdrenaje ha generado el deterioro progresivo del pavimento rígido. Las constantes precipitaciones han provocado encharcamientos, agrietamientos y pérdida de capacidad estructural en la vía, afectando tanto a peatones como a vehículos. Esta vía requiere una intervención urgente con soluciones basadas en normativas técnicas actualizadas, dado el riesgo de colapso por humedad acumulada en la subrasante.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

- ¿De qué manera el diseño de un sistema de pavimento rígido permeable complementado con un sistema de subdrenaje mejora la gestión de aguas pluviales en el jirón Huánuco desde la cuadra 1 hasta la 2, en el AA. HH. Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito de Yanacancha, provincia de Pasco, región Pasco?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo determinar el diseño estructural del pavimento permeable en función del tránsito vehicular y las condiciones geotécnicas de la subrasante?
- ¿Cómo diseñar la mezcla de concreto permeable que garantice adecuadas propiedades mecánicas e hidráulicas?
- ¿Cómo diseñar un sistema de subdrenaje que permita la evacuación eficiente del agua infiltrada en el pavimento permeable?

1.3 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema de pavimento rígido permeable complementado con un sistema de subdrenaje, para mejorar la gestión de aguas pluviales en el jirón Huánuco desde la cuadra 1 hasta la 2, en el AA. HH Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito de Yanacancha, provincia de Pasco, región Pasco.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el diseño estructural del pavimento permeable, mediante el análisis del tránsito vehicular y las condiciones geotécnicas de la subrasante.

- Diseñar la mezcla de concreto permeable y evaluar sus propiedades mecánicas e hidráulicas, a través de ensayos de resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad.
- Diseñar el sistema de subdrenaje vial, mediante el análisis del caudal de infiltración y el modelamiento hidráulico, garantizando la adecuada evacuación del agua infiltrada.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La fundamentación teórica de este estudio se sustentó en los principios técnicos establecidos por la metodología AASHTO 93 y en diversas guías especializadas para el diseño de pavimentos, las cuales reconocen al drenaje como un elemento esencial para preservar el desempeño estructural de la infraestructura vial. Asimismo, se consideraron investigaciones que evidencian la influencia de la humedad sobre la subrasante y las capas inferiores del pavimento, debido a que esta condición disminuye su capacidad resistente y acelera su deterioro. En ese contexto, la incorporación de pavimentos permeables junto con sistemas de subdrenaje adecuadamente diseñados constituye una alternativa para reducir dichos efectos. En consecuencia, este estudio contribuye al fortalecimiento del conocimiento relacionado con la interacción entre el comportamiento estructural del pavimento, el funcionamiento hidráulico y las condiciones climáticas del entorno vial.

1.5.2 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Desde el enfoque práctico, el proyecto buscó brindar una solución concreta y aplicable a una problemática real identificada en el jirón Huánuco del AA. HH. Víctor Raúl Haya de la Torre, distrito de Yanacancha, provincia de Pasco, región Pasco, donde la acumulación de agua causada por precipitaciones intensas afectó el desempeño del pavimento rígido. Frente a ello, el diseño de un sistema de subdrenaje eficiente, complementado con el uso de concreto permeable de alta resistencia, permitió extender la vida útil de la vía y reducir los costos de mantenimiento. Además, se propuso un modelo técnico que pudo ser replicado en otras zonas urbanas del país con condiciones similares,

contribuyendo así a mejorar la calidad de las obras viales mediante soluciones actualizadas y sostenibles.

1.5.3 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Desde la perspectiva metodológica, la investigación se desarrolló con base en normas internacionales como AASHTO 93 y ASTM, apoyándose en el software Geosoft PAVCO 4.0 para el modelamiento del sistema de subdrenaje. Esta metodología permitió obtener información confiable a partir de la obtención, organización y análisis de la información recopilada. Asimismo, la integración de ensayos de laboratorio, tales como CBR, resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad, junto con el aforo vehicular, permitió abordar la problemática de manera integral, garantizando resultados consistentes y representativos de las condiciones de la zona de estudio.

1.5.4 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

El estudio posee relevancia social porque plantea una alternativa técnica destinada a atender los problemas de drenaje que afectan al jirón Huánuco, ubicado en el AA. HH. Víctor Raúl Haya de la Torre, distrito de Yanacancha, provincia de Pasco, región Pasco. La implementación de un pavimento permeable complementado con un sistema de subdrenaje contribuirá a disminuir los efectos ocasionados por el estancamiento de las aguas pluviales, mejorando las condiciones de transitabilidad y seguridad para peatones y vehículos. Asimismo, la propuesta permitirá extender el periodo de servicio de la infraestructura vial y optimizar el aprovechamiento de los recursos destinados al mantenimiento de las vías. Del mismo modo, el diseño podrá servir como referencia para futuras intervenciones en zonas urbanas con características similares, promoviendo soluciones sostenibles que favorezcan la adaptación de la infraestructura frente a eventos de alta precipitación.

1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a las restricciones presupuestarias del estudio, no fue posible construir un prototipo físico a escala real, por lo que la propuesta se desarrolló mediante modelamiento utilizando software especializado. En el área de estudio no se evidenció la presencia de nivel freático; por tal motivo, el diseño hidráulico del sistema de subdrenaje no consideró el cálculo del caudal

asociado a su abatimiento. En relación con la caracterización mecánica del concreto permeable, los ensayos de compresión y flexión se efectuaron únicamente a los 7, 14 y 28 días. No obstante, el diseño del espesor del pavimento se realizó utilizando los valores obtenidos a los 28 días, los cuales cumplen con las exigencias establecidas en el Manual de Carreteras del MTC (2014).

1.7 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1 VIABILIDAD TEÓRICA

La viabilidad teórica del estudio se fundamenta en la disponibilidad de bases técnicas consolidadas y normativas ampliamente reconocidas, entre ellas la metodología AASHTO 1993, los estándares ASTM y las guías de diseño para pavimentos permeables. Asimismo, el estudio toma como referencias antecedentes científicos que respaldan la influencia del diseño del subdrenaje sobre el comportamiento estructural de los pavimentos en zonas de alta precipitación, proporcionando una base conceptual suficiente como soporte conceptual para la ejecución del estudio.

1.7.2 VIABILIDAD ECONÓMICA

La investigación es económicamente viable debido a que los recursos requeridos para su desarrollo se encuentran dentro de las posibilidades del proyecto. Con el propósito de optimizar los costos de ejecución, el diseño del sistema de subdrenaje será evaluado mediante el software especializado Geosoft PAVCO 4.0, evitando la construcción de un prototipo físico a escala real. Asimismo, los ensayos de laboratorio correspondientes al CBR, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y permeabilidad serán realizados en un laboratorio especializado de la localidad, lo que permitirá aprovechar la infraestructura disponible sin comprometer la confiabilidad ni la calidad técnica de los resultados.

1.7.3. VIABILIDAD SOCIAL

Socialmente, la investigación será altamente viable, ya que atenderá una necesidad real de la población ubicada en el jirón Huánuco en el AA. HH Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito de Yanacancha, provincia de Pasco, región Pasco, donde las constantes precipitaciones han deteriorado el pavimento rígido existente, afectando la

transitabilidad y seguridad vial. La incorporación del sistema diseñado permitirá mejorar la funcionalidad y durabilidad de la vía, generando beneficios directos en las condiciones de movilidad y bienestar de la población beneficiaria. Asimismo, la propuesta podrá ser replicada en otras zonas urbanas con condiciones similares, promoviendo soluciones sostenibles que respondan a los efectos del cambio climático y a la optimización de los recursos públicos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTE INTERNACIONAL

Cacciuttolo et al. (2023), en el estudio titulado “Evaluation of the Use of Permeable Interlocking Concrete Pavement in Chile: Urban Infrastructure Solution for Adaptation and Mitigation against Climate Change” se desarrolló con la finalidad de analizar el comportamiento hidráulico y estructural de un pavimento intertrabado permeable (PICP) como alternativa sostenible para zonas urbanas expuestas a problemas de escorrentía superficial., considerando condiciones climáticas críticas (140mm/24h con una recurrencia de 100 años). El diseño fue experimental aplicado, con simulaciones hidrológicas y validación mediante modelado físico a escala real. La muestra fue un área de estacionamiento de 240m² construida con bloques tipo PICP con juntas de arena gruesa, capa base granular de 30cm y subbase drenante de grava de 20cm, instalada en Temuco, Chile, zona caracterizada por suelos arcillosos y pendientes leves (3–5%). La localización fue la Región de La Araucanía, con precipitaciones anuales superiores a 1200mm. Como instrumentos se usaron sensores de humedad, medición de caudal, ensayos de infiltración y software SWMM (Storm Water Management Model) para simular escurrimientos y tiempos de respuesta. Los resultados mostraron que el sistema permitió infiltrar hasta 673m³ por evento de lluvia extremo, reduciendo el 90% del volumen escurrido hacia la red pluvial, y recomendando su aplicación como sistema complementario de subdrenaje urbano con beneficio adicional en áreas verdes.

Guerra Chayña & Guerra Ramos (2024), desarrollaron el estudio titulado “Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible” se planteó como objetivo diseñar e implementar un pavimento rígido permeable que permita evacuar eficientemente el agua de lluvia en vías urbanas de bajo tránsito, con base en la metodología AASHTO 93 y criterios de hidráulica urbana. El diseño fue

preexperimental y cuantitativo, con evaluación en campo de la eficiencia hidráulica y estructural del sistema. La muestra incluyó cuatro tramos de 10m de longitud c/u en calles de Juliaca, Perú, con losa de concreto permeable de 20cm (relación A/C = 0.35), armado con fibras de polipropileno (0.05%) y subbase filtrante de 30cm de grava triturada ($D_{50} = 12\text{mm}$), incluyendo tubería de drenaje de PVC de 4" perforada en fondo de zanja drenante. La localización fue la zona urbana de Juliaca, caracterizada por suelos limo-arenosos y un régimen pluvial que alcanza 950mm/año. Como instrumentos se emplearon ensayos de permeabilidad (0.463cm/s), resistencia a compresión (196.95kg/cm²), módulo de rotura (31.74kg/cm²), y tiempos de drenaje controlados en laboratorio (tiempo total de evacuación: 1h 36min). Los resultados demostraron que el sistema cumple parámetros técnicos para zonas urbanas con baja carga estructural, y que la adición de fibras aumenta la resistencia sin comprometer la porosidad, resultando en una solución viable y económica para el control del agua superficial.

National Academies (2022), presentó el estudio titulado Subsurface Drainage Practices in Pavement Design, Construction, and Maintenance, orientada a identificar y sintetizar las principales prácticas empleadas por los Departamentos de Transporte de Estados Unidos (DOTs) en el diseño, construcción y mantenimiento del drenaje subterráneo aplicado a pavimentos rígidos y flexibles del drenaje subterráneo en pavimentos rígidos y flexibles. El estudio se desarrolló bajo un enfoque descriptivo y transversal, sustentado en una encuesta estructurada dirigida a ingenieros responsables de la gestión vial. La muestra estuvo compuesta por 41 DOTs estatales, lo que representó el 82% de participación nacional. La localización abarcó regiones con distintas condiciones climáticas (áridas, templadas, tropicales y frías), lo cual permitió una visión integral. Como instrumentos se utilizó un cuestionario de 20 ítems sobre diseño de zanjas drenantes, uso de geotextiles, criterios de instalación de tuberías perforadas, y mantenimiento preventivo de sistemas de drenaje. Los hallazgos evidenciaron que más del 80% de los DOTs incorporan rutinas de inspección, emplean materiales drenantes con $D_{50} \geq 9,5\text{mm}$ y diseñan

sistemas con una vida útil proyectada de 20 años; sin embargo, se identificó una falta de uniformidad en los criterios relacionados con la profundidad de instalación (30 a 90cm) y el uso de geocompuestos, por lo que se recomendó elaborar manuales técnicos estandarizados a nivel nacional.

2.1.2. ANTECEDENTE NACIONAL

Mayo Advíncula (2023), en su investigación “Pavimento drenante para evacuar aguas pluviales en las calles de la Ciudad de Huánuco” orientada al diseño de un pavimento permeable de concreto para optimizar la evacuación de aguas pluviales en zonas urbanas con infraestructura deficiente y frecuentes anegamientos. El diseño fue de tipo mixto: experimental en laboratorio y aplicado a nivel de campo, con análisis de desempeño hidráulico y mecánico. Como parte del estudio se fabricaron probetas cilíndricas y prismáticas de concreto permeable empleando agregados de 3/8" provenientes de la cantera Andabamba-Figueroa, cemento Portland tipo I y relación agua/cemento de 0.35, con un contenido de vacíos del 22.6%. La localización del estudio fue en calles con pendientes menores al 2% en zonas urbanizadas de Huánuco, expuestas a precipitaciones de hasta 90mm/h en eventos críticos. Se emplearon como instrumentos ensayos de permeabilidad vertical (ASTM C1701), resistencia a compresión axial (ASTM C39), módulo de elasticidad dinámico y simulaciones de infiltración con flujo superficial en modelos hidráulicos reducidos. Los resultados mostraron que la mezcla desarrollada presentó una resistencia promedio de 185kg/cm² y una permeabilidad efectiva entre 0.68 y 0.88cm/s, permitiendo evacuar completamente 12L de agua en menos de 30 segundos por metro cuadrado, demostrando viabilidad estructural e hidráulica para pavimentos urbanos en condiciones similares.

Alba Pellejo (2018), presentó la investigación titulada “Pavimento Rígido con Sistema de Drenaje Pluvial, Caserío Lampanín, Distrito de Cáceres del Perú, Provincia del Santa, Región de Ancash” cuyo propósito fue diseñar una estructura de pavimento rígido complementada con un sistema de drenaje superficial para incrementar las condiciones de transitabilidad en temporadas de lluvia en calles sin

tratamiento hidráulico. El diseño fue no experimental, descriptivo y técnico-normativo. La muestra comprendió un conjunto de vías urbanas del caserío Lampanín, con secciones viales de 5 a 7m de ancho, pendientes longitudinales menores a 3% y tránsito clasificado como T1 según DG-2018. La localización fue el distrito de Cáceres del Perú, provincia del Santa, región Ancash. Como instrumentos se emplearon estudios de suelos (CBR promedio de 10.25%), ensayos Proctor, levantamientos topográficos con estación total y análisis pluviométrico basado en registros de 15 años. Los resultados determinaron que el diseño óptimo requería losas de 15cm de espesor con subbase de afirmado compactado de 20cm, y cunetas triangulares de concreto simple con 10cm de profundidad y 20cm de ancho. Se estimó una capacidad de evacuación de 25–35l/s para eventos de lluvia moderada, recomendando limpieza preventiva trimestral para asegurar su funcionamiento.

Meza Mozo y Ríos Chomba (2024), desarrollaron el estudio titulado “Diseño estructural del pavimento rígido con drenaje pluvial de las vías principales del sector Parque Industrial, La Esperanza, Trujillo”, orientado al diseño de una estructura de pavimento rígido complementada con un sistema de drenaje pluvial superficial y subterráneo para vías sometidas a precipitaciones estacionales de alta intensidad. El diseño fue aplicado, con enfoque técnico y normativo, empleando el método AASHTO 93 complementado con la Norma Técnica Peruana E.050 y criterios hidráulicos del Reglamento Nacional de Edificaciones. El estudio comprendió un tramo de 1,8km de vías urbanas, donde se detectaron problemas de inundación superficial y falla estructural por falta de drenaje. La localización fue el distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo, región La Libertad. Para el desarrollo de la investigación se emplearon calicatas geotécnicas (CBR promedio 9%), levantamiento con estación total, modelado en Civil 3D, cálculos de escorrentía con método racional y dimensionamiento hidráulico con fórmulas de Manning. Los resultados propusieron un diseño estructural con losas de 25cm de espesor, subbase de 30cm de grava compactada ($D_{50} = 19\text{mm}$), cunetas trapezoidales de concreto armado de 0.35m de

profundidad y tubos de drenaje de 12" de PVC con capacidad de evacuación de 90l/s, proyectando una vida útil de 20 años con mantenimiento periódico.

2.1.3. ANTECEDENTE LOCAL

Cavero Castillo y Estrada Durand (2022), desarrollaron la investigación titulada "Diseño de Pavimento Rígido empleando Concreto Permeable como mejora del Drenaje Vial, jirón 28 de Julio, Yanahuanca – Pasco" orientada a evaluar la viabilidad técnica del empleo de concreto permeable como alternativa para mitigar la acumulación de aguas pluviales en una vía urbana con pendientes menores al 2% y suelo limo-arenoso de baja infiltración natural. El diseño fue cuantitativo, aplicado y cuasi-experimental, con comparación de resistencias y coeficientes de permeabilidad en probetas cilíndricas de concreto de 10cm × 20cm. La muestra incluyó tres configuraciones de mezcla de concreto permeable, variando la relación agua/cemento (0.32–0.45), contenido de vacíos (10%, 15% y 20%) y tamaño máximo de agregado (grava 3/8" lavada). La investigación se desarrolló en el jirón 28 de Julio, Yanahuanca – Pasco, a 3160msnm. Para la recolección de información se emplearon ensayos de resistencia a compresión (ASTM C39), permeabilidad vertical (ASTM C1701) y evaluación del módulo de elasticidad estático. La mezcla elaborada con un contenido de vacíos del 10% registró una resistencia de 194,67kg/cm² y una permeabilidad de 0,225cm/s, logrando el mejor equilibrio estructural-hidráulico; mientras que las de 15% y 20% incrementaron el coeficiente de infiltración (hasta 0.381cm/s), pero redujeron la resistencia por debajo de los 160kg/cm², evidenciando que la dosificación óptima depende del uso previsto y condiciones de carga vehicular.

Rojas Huamán y Salazar Toribio (2021), desarrollaron la investigación titulada "Evaluación del desempeño hidráulico de sistemas de drenaje subterráneo en vías urbanas con alta precipitación en el distrito de Yanacancha – Pasco", desarrollada en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC), orientada a analizar la eficiencia de un sistema de subdren francés instalado experimentalmente bajo una carpeta asfáltica para reducir la

acumulación superficial de agua en temporadas de lluvia intensa (>1400mm/año). El estudio fue cuantitativo, aplicado y cuasi-experimental, realizando comparaciones antes y después de la implementación del subdren en un tramo piloto de 80m lineales. Se utilizaron tuberías corrugadas perforadas de 6" con geotextil no tejido (180 g/m²), cama filtrante de grava lavada ¾", y pendiente de descarga de 1%. Los instrumentos incluyeron ensayos de infiltración in situ (método de doble anillo, ASTM D3385), mediciones de lámina de agua superficial con sensores de nivel, y análisis de capacidad de evacuación mediante cronometraje de eventos reales de precipitación (>25mm/h). Los resultados mostraron una reducción del 72% en tiempo de drenaje superficial y una mejora del 65% en capacidad de evacuación subterránea, evidenciando la importancia crítica del subdrenaje profundo como medida complementaria al pavimento en suelos limo-arenosos de baja permeabilidad.

Huamán Paucarchuco y Rivera Baltazar (2023), desarrollaron la investigación titulada "Evaluación del deterioro prematuro del pavimento flexible por deficiente drenaje subterráneo en la avenida Daniel Alcides Carrión, distrito de Yanacancha – Pasco", desarrollada en la Universidad Privada de Huancayo Franklin Roosevelt, orientada a diagnosticar el impacto generado por la ausencia de un sistema de subdrenaje sobre el comportamiento estructural del pavimento flexible en una vía colectora expuesta a altas precipitaciones anuales (>1300mm/año) y suelo subrasante con alta plasticidad (IP > 15%). El estudio fue cuantitativo, descriptivo-explicativo y de campo, realizando auscultación visual con metodología PCI (ASTM D6433), CBR in situ (ASTM D1883) y ensayo de contenido de humedad natural (ASTM D2216) en 12 unidades muestrales distribuidas en tramos con y sin presencia de drenaje lateral superficial. Los resultados evidenciaron un PCI promedio = 48 (estado "malo"), acompañado de presencia de exudación asfáltica, ahuellamiento y fisuras en piel de cocodrilo, confirmando que la capilaridad ascendente y saturación persistente fueron los principales detonantes del deterioro prematuro. Los autores concluyeron que la implementación de un sistema de subdrenaje longitudinal y capa filtrante

granular habría evitado más del 60% de los daños detectados, reforzando la prioridad del drenaje subterráneo en zonas altoandinas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO PERMEABLE

Las propiedades mecánicas corresponden a los parámetros que describen la respuesta del material frente a la aplicación de cargas y esfuerzos externos. Dichas propiedades permiten estimar el comportamiento resistente del material durante su vida útil frente a diferentes condiciones de servicio, constituyendo un criterio esencial para el diseño y desempeño de las estructuras de ingeniería civil. Entre las propiedades físicas más relevantes del concreto permeable destaca su elevada permeabilidad, la cual favorece la circulación del agua mediante su red interna de vacíos.

El concreto permeable, conocido también como concreto poroso, se caracteriza por presentar una estructura con un elevado porcentaje de vacíos interconectados, condición que permite la infiltración del agua hacia las capas inferiores del pavimento. Su composición generalmente incluye cemento Portland, agregado grueso y, dependiendo del diseño de la mezcla, una proporción mínima de agregado fino. Debido a estas características, este tipo de concreto resulta apropiado para aplicaciones donde se requiere controlar la escorrentía superficial, como pavimentos urbanos, estacionamientos, áreas de circulación vehicular y otras superficies expuestas a precipitaciones frecuentes. Además, contribuye a disminuir el transporte de partículas finas del suelo y favorece la protección de elementos subterráneos, entre ellos cimentaciones y tuberías (ACI Committee 552, 2010).

Figura 1

Concreto permeable



Nota. La figura ilustra cómo el agua circula a través del sistema de vacíos de un concreto permeable

2.2.1.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. De acuerdo con la **ASTM C39**, la resistencia a la compresión se define como la capacidad del concreto para soportar esfuerzos de compresión axial antes de alcanzar su falla. Este parámetro constituye uno de los parámetros más representativos del desempeño mecánico del material y su determinación se realiza mediante el ensayo de probetas cilíndricas, expresándose habitualmente en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2). En el caso del concreto permeable, diversos estudios reportan que el incremento del contenido de vacíos favorece la infiltración del agua; sin embargo, también ocasiona una disminución de la resistencia mecánica debido a la menor cantidad de pasta de cemento que participa en la transmisión de esfuerzos (Azpilicueta, 2015).

Figura 2

Esfuerzo de compresión en probetas de concreto



Nota. La figura representa el ensayo mecánico aplicado a probetas de concreto para determinar su resistencia a esfuerzos axiales

2.2.1.2. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN. La resistencia a la corresponde a la capacidad del concreto permeable para soportar esfuerzos de flexión sin presentar fractura, siendo una propiedad fundamental en el diseño de pavimentos de concreto. Su

determinación se realiza mediante los métodos normalizados en las normas ASTM C78 o ASTM C293, obteniéndose resultados expresados en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2). Diversas investigaciones indican que el aumento del porcentaje de vacíos reduce la capacidad resistente del material; no obstante, la incorporación de pequeñas cantidades de agregado fino en la mezcla puede mejorar significativamente su comportamiento frente a esfuerzos de flexión (ACI Committee 522, 2010; Amorós & Bendezú, 2019).

Figura 3

Resistencia a la flexión



Nota. En la figura se visualiza el ensayo mecánico utilizado para determinar la resistencia a la flexión del concreto

2.2.1.3. PERMEABILIDAD. Entre las propiedades más importantes del concreto permeable es su capacidad para facilitar el flujo del agua a través de su estructura porosa una vez endurecido. Esta propiedad se determina mediante ensayos de permeabilidad realizados con permeámetro, los cuales permiten cuantificar la capacidad de infiltración del agua. Diversos estudios señalan que un mayor contenido de aire incrementa la permeabilidad del material; sin embargo, dicho aumento de la porosidad suele ir acompañado de una disminución de la resistencia mecánica, debido a la disminución del área efectiva que resiste las cargas (ACI Committee 522, 2010).

Figura 4

Muestra de permeabilidad

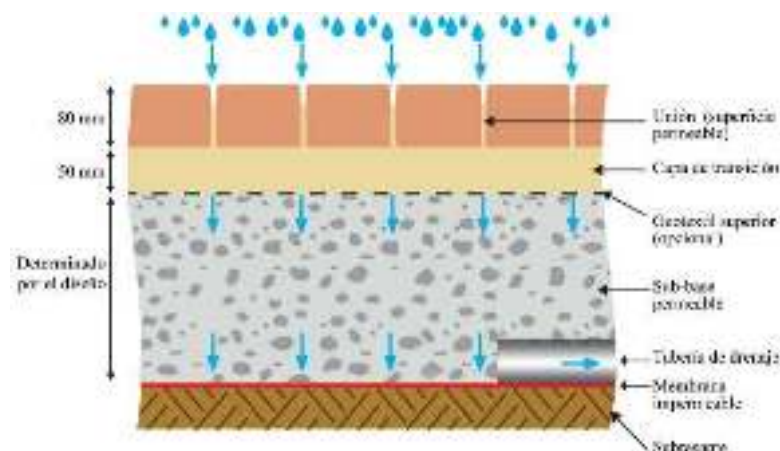


Nota. En la imagen se muestra la capacidad del concreto poroso para permitir el flujo de líquidos a través de su red de vacíos interconectados

2.2.1.4. INFILTRACIÓN. La infiltración constituye una de las principales propiedades hidráulicas del concreto permeable, ya que está estrechamente relacionada con la porosidad del material. A medida que aumenta la porosidad del material, también se incrementa la facilidad con la que el agua atraviesa su estructura hacia las capas inferiores. Este comportamiento, conocido como conductividad hidráulica, representa el volumen de agua que atraviesa el concreto durante un intervalo de tiempo determinado. En laboratorio, esta propiedad se determina mediante la empleando la Ley de Darcy, la cual permite cuantificar el flujo del agua a través de medios porosos.

Figura 5

Infiltración de pavimentos permeables

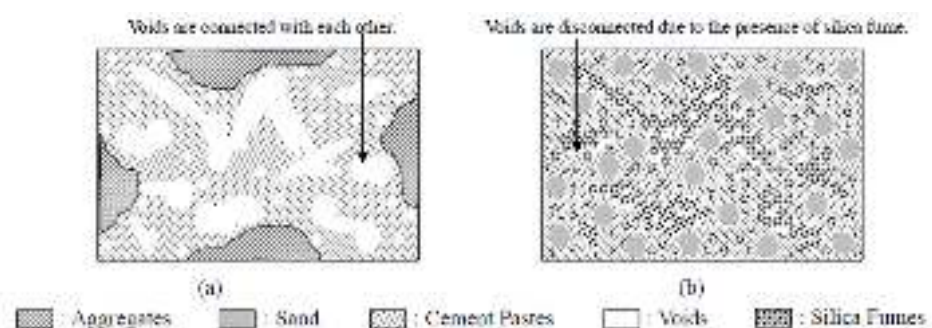


Nota. En la imagen se evidencia cómo el concreto poroso permite el paso del agua pluvial hacia el subsuelo a través de sus poros

2.2.1.5. POROSIDAD. Después del proceso de endurecimiento, el concreto permeable, permite el paso del agua a través de su estructura, tal como se aprecia en la Figura 4. La evaluación de su capacidad de infiltración se realiza mediante el ensayo con permeámetro. Los resultados de estas pruebas indican que conforme aumenta el contenido de aire en la mezcla, también lo hace la permeabilidad del concreto. Sin embargo, este incremento en la porosidad conlleva una reducción en su resistencia a la compresión (ACI Committee 522, 2010).

Figura 6

Porosidad y conectividad de poros en un concreto de baja y alta resistencia



Nota. La imagen ilustra cómo varía la porosidad y la conectividad entre poros en función del nivel de resistencia del concreto

2.2.2. PATOLOGÍAS DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

Según Aldana (2021), los pavimentos rígidos presentan diversas patologías asociadas al tránsito, las condiciones ambientales y las deficiencias constructivas. Entre las más representativas se encuentran las siguientes:

- **Escalonamiento:** Se produce cuando existe una diferencia de nivel entre los bordes de las losas adyacentes en una junta, generando un desnivel visible similar a un escalón. Este deterioro suele originarse como consecuencia del tránsito repetitivo sobre losas que presentan fisuras o que carecen de pasadores que transfieran adecuadamente las cargas.
- **Grieta transversal:** Se identifica como una fisura que cruza perpendicularmente el eje del carril. Generalmente se origina cuando la junta de retracción ha sido realizada con retraso, lo que impide un control adecuado de las tensiones de contracción en el concreto.

- **Cuarteo en malla fina:** También conocido como “grietas en piel de cocodrilo”, se manifiesta mediante un patrón de microfisuras superficiales distribuidas de forma irregular. Las causas más frecuentes incluyen variaciones térmicas, una protección insuficiente del concreto mientras ocurre el fraguado o la aplicación excesiva de agua en la superficie con fines estéticos durante el acabado.
- **Descascarillado:** Es la desintegración progresiva de la capa superficial del pavimento, que inicia con el desprendimiento del mortero y, en etapas avanzadas, involucra la pérdida de los agregados. Esta falla suele estar relacionada con el uso de arena de baja calidad, una dosificación inadecuada del concreto o la acumulación de mortero superficial provocada por una vibración excesiva durante el vaciado.
- **Fluencia del sellado:** Se refiere al deterioro o pérdida del material sellante de las juntas longitudinales y transversales. Esto puede deberse a deficiencias en la calidad del producto utilizado, exceso de material aplicado o a un diseño incorrecto de las dimensiones de la acanaladura donde se aloja el sellado.
- **Falta de textura superficial:** Ocurre cuando la superficie del pavimento pierde su rugosidad, incrementando el riesgo de deslizamiento vehicular. Este problema puede ser provocado por el desgaste de la macrotextura debido al tráfico o mala ejecución del acabado superficial, así como por una microtextura deficiente ocasionada por materiales pulimentables, contaminación superficial o carbonatación del cemento.

Seguidamente, se describen las fallas presentes en pavimentos rígidos, conforme a lo establecido en la gestión de infraestructura vial del Instituto de la Construcción y Gerencia (2016)

Tipo de Defecto:

- **Ahuellamiento:** Consiste en la formación de depresiones o hundimientos localizados en las zonas de rodadura del pavimento, generando marcas longitudinales. En algunos casos, puede producirse una elevación en los bordes del área deformada. Este tipo

de falla suele hacerse más evidente tras precipitaciones, cuando los surcos se llenan de agua. Generalmente, su origen está asociado a la compactación insuficiente o desplazamiento lateral de los materiales bajo la acción repetitiva del tránsito vehicular.

- Desprendimiento: Se caracteriza por la pérdida progresiva de la capa superficial del pavimento, lo que puede incluir el desgaste del ligante o la separación de los agregados. Esta falla es común en áreas con exposición frecuente a vehículos pesados o especiales, y también puede ser provocada por el contacto continuo con sustancias como combustibles, aceites o la pérdida de adhesión del tratamiento superficial.
- Exudación: Es un fenómeno asociado al proceso de segregación del concreto durante su fraguado, caracterizado por la aparición de humedad o agua libre acumulada en la superficie de la mezcla, lo cual puede afectar la homogeneidad y calidad del acabado superficial.
- Corrugaciones: Se manifiestan como ondulaciones o patrones repetitivos de crestas y depresiones a lo largo del eje del pavimento, generalmente con una separación menor a los 3 metros. Este tipo de deformación suele deberse a inestabilidades en la mezcla superficial bajo la acción dinámica del tránsito.
- Fisuras en piel de cocodrilo: Este tipo de agrietamiento se caracteriza por un patrón interconectado de pequeñas fisuras, similares al patrón de una piel de cocodrilo, y se localiza únicamente en zonas sometidas a cargas vehiculares repetidas, como las huellas de los carriles. No aparece en áreas no transitadas, a menos que toda la superficie esté sujeta a esfuerzos constantes.

2.2.3. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO SEGÚN LA METODOLOGÍA AASHTO 93

En la actualidad, no existe una metodología de diseño desarrollada exclusivamente para pavimentos de concreto permeable. Por esta razón, la presente investigación adoptó el procedimiento establecido en la metodología AASHTO 93, ampliamente utilizada para el dimensionamiento estructural de pavimentos rígidos. La selección de

esta metodología responde a que, a diferencia de otros enfoques, considera el criterio de serviciabilidad como uno de los parámetros fundamentales del diseño estructural. La ecuación fundamental del método se muestra en la Figura 7.

Seguidamente, se presentan las diez variables que conforman dicha ecuación, organizadas en cuatro grupos principales:

Figura 7

Ecuación fundamental de AASHTO 93

$$\text{Log } W_{18} = Z_0 S_0 + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^{-4}}{(D+1)^{1.42}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log \left[\frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{E_c}{k} \right]^{0.25}} \right]} \right]$$

Nota. Adaptado del “Manual de carreteras”, por ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014

Donde:

W18 = Número de cargas de 18kips (80kN) previstas.

S0 = Desvío estándar de todas las variables.

ZR = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.

D = Espesor de la losa del pavimento en pulg.

S'c = Módulo de rotura del concreto en psi.

ΔPSI = Pérdida de Serviciabilidad prevista en el diseño (Pt=Serviciabilidad final).

J = Coeficiente de transferencia de carga.

Cd = Coeficiente de drenaje.

K = Módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balastro), en pci (psi/pulg).

EC = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.

2.2.3.1. VARIABLES DE DISEÑO

2.2.3.1.1. VARIABLE DE TIEMPO. La variable tiempo corresponde al intervalo previsto para que el pavimento conserve un nivel aceptable de desempeño funcional, comprendido entre el inicio de su operación y el instante en

que llega el nivel mínimo de serviciabilidad previsto en el diseño.

2.2.3.1.2. TRÁNSITO. El tránsito representa uno de los parámetros más importantes considerados por la metodología AASHTO 93, debido a que las cargas transmitidas por los vehículos generan esfuerzos y deformaciones que influyen directamente en el deterioro del pavimento. Para cuantificar este efecto se emplea el concepto de ESAL (Equivalent Single Axle Load), el cual permite expresar las diferentes combinaciones de carga en términos de un eje simple estándar de 18kip (80kN). La estimación adecuada del tránsito acumulado resulta indispensable para establecer el dimensionamiento estructural del pavimento y garantizar su desempeño durante el período de diseño.

2.2.3.1.3. CONFIABILIDAD. La confiabilidad se refiere a la probabilidad de que el pavimento cumpla satisfactoriamente con las condiciones de servicio previstas durante su vida útil, tomando en cuenta las variabilidades asociadas al tránsito, los materiales, las condiciones ambientales y el proceso constructivo.

2.2.3.2. CRITERIOS DE COMPORTAMIENTO

2.2.3.2.1. SERVICIABILIDAD. La serviciabilidad se define como el nivel de funcionamiento que presenta un pavimento durante un determinado momento de su vida útil, reflejando la capacidad de brindar niveles aceptables de seguridad, comodidad y funcionalidad para los usuarios. En la metodología AASHTO 93, este criterio se expresa mediante el Índice de Serviciabilidad (PSI), cuya categoría se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Calificación del índice de Serviciabilidad (PSI)

Índice de Serviciabilidad (PSI)	Calificación
0 - 1	Muy mal
1 - 2	Mala
2 - 3	Regular

3 - 4

Buena

4 - 5

Muy buena

Nota. Adaptado del: "Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos", por ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014

El índice de serviciabilidad inicial está determinado por la calidad del diseño estructural y del proceso constructivo, mientras que el valor final del índice psi depende del nivel de importancia funcional de la vía.

2.2.3.3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

2.2.3.3.1. MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE (K). El módulo de reacción de la subrasante (k) representa la capacidad del terreno de fundación para oponerse a las deformaciones ocasionadas por la aplicación de cargas verticales. Aunque este parámetro puede obtenerse mediante el ensayo de placa de carga, dicho procedimiento suele resultar costoso y de difícil ejecución; por ello, es frecuente estimarlo a partir de correlaciones desarrolladas a partir de ensayos geotécnicos más accesibles, como el CBR, método que fue empleado en la presente investigación.

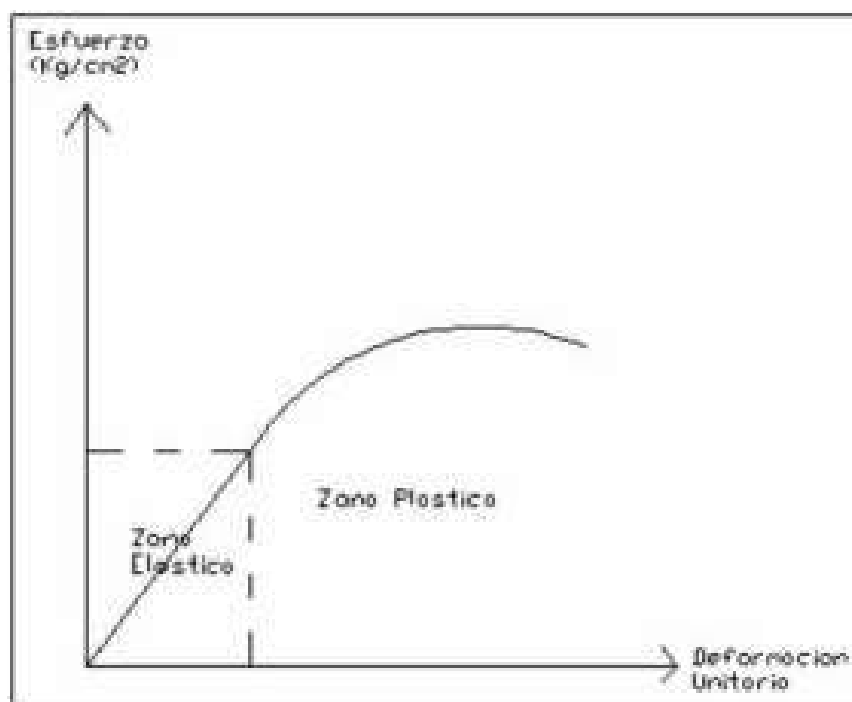
2.2.3.3.2. MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO. El módulo de rotura del concreto corresponde a un parámetro representativo de la aptitud del concreto para soportar esfuerzos de tracción por flexión antes de que se produzca el agrietamiento. En el diseño de pavimentos rígidos se emplea como parámetro representativo la resistencia obtenida mediante el ensayo de flexión realizado a los 28 días, valor que sirve de referencia en el diseño estructural de la losa.

2.2.3.3.3. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO. El módulo de elasticidad del concreto (E_c) representa la rigidez del material frente a la aplicación de esfuerzos, estableciendo la relación entre las cargas aplicadas y la deformación unitaria generada dentro del rango elástico. Mientras el material permanezca dentro de este

comportamiento, las deformaciones son proporcionales a las cargas aplicadas, cumpliéndose la Ley de Hooke. Esta propiedad resulta fundamental para evaluar la respuesta estructural del concreto frente a las sollicitaciones de servicio. La representación gráfica de esta relación se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Esfuerzo vs deformación



Nota. Adaptado de “¿QUÉ ES EL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN EL CONCRETO?”, por Argos 360, 2019 (<https://360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>)

2.2.3.4. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

2.2.3.4.1. DRENAJE. El drenaje representa uno de los aspectos fundamentales que más influye en el comportamiento estructural y la durabilidad de los pavimentos, debido a que la presencia de agua en la estructura favorece la reducción de la capacidad estructural de los materiales. Por esta razón, la metodología AASHTO considera el coeficiente de drenaje (C_d) como un parámetro fundamental para el diseño estructural. Las recomendaciones propuestas para este coeficiente se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2

Coeficientes de drenaje

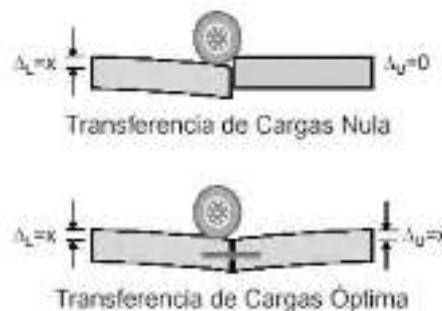
Calificación	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50% de su agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación			
		< 1%	1 - 5%	5 - 25%	>25%
Excelente	2 horas	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1 día	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1 semana	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.090	0.90
Pobre	1 mes	1.10-1.00	1.00-0.090	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	Nunca	1.00-0.090	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Nota. Adaptado de "Capítulo 1 AASHTO", por Alcántara, 2014

2.2.3.4.2. TRANSFERENCIA DE CARGA. Las deflexiones elevadas en el pavimento pueden originar el fenómeno de bombeo en la subbase y, con el tiempo, favorecer el agrietamiento o la fractura de las losas de concreto. La transferencia de carga describe la capacidad de una losa para transmitir parte de las cargas aplicadas hacia las losas adyacentes mediante las juntas o grietas existentes. En la metodología AASHTO, este comportamiento se representa a través del coeficiente de transferencia de carga (J). La Figura 9 muestra el comportamiento de una transferencia eficiente, donde la losa adyacente experimenta una deflexión similar a la losa cargada; por el contrario, cuando no existe transferencia de carga, la losa vecina permanece prácticamente sin desplazamiento (Alcántara, 2014).

Figura 9

Transferencia de carga



Nota. Adaptado de "Capítulo 1 AASHTO", por Alcantara, 2014.

(<https://hugoalcantara.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/02/disec3b1o-aashto93.pdf>)

2.2.3.4.3. PERDIDA DE SOPORTE. La pérdida de soporte se define como la reducción de la capacidad resistente de la subrasante o de la subbase como consecuencia de procesos de erosión, asentamientos diferenciales o formación de vacíos bajo la losa de concreto. Esta condición provoca un incremento en las deformaciones verticales del pavimento y afecta su comportamiento estructural. En la metodología AASHTO, este fenómeno se incorpora mediante el factor LS (Loss of Support), el cual considera el efecto de la pérdida de apoyo de la losa sobre la respuesta del pavimento. Los rangos sugeridos por AASHTO para este parámetro, en función del tipo de material, su rigidez y su módulo de elasticidad, se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3

Valores de Pérdida de soporte

Tipo de material	Pérdida de soporte
Base granular tratada con cemento (E=1,000,000 a 2,000,000psi)	0.0 - 1.0
Mezclas de agregados con cemento (E=500,000 a 1,000,000psi)	0.0 - 1.0
Bases tratadas con asfalto (E=350,000 a 1,000,000psi)	0.0 - 1.0
Mezclas bituminosas estabilizadas (E=40,000 a 300,000psi)	0.0 - 1.0
Estabilizados con cal (E=20,000 a 70,000psi)	1.0 - 3.0
Materiales granulares sin ligante (E=15,000 a 45,000psi)	1.0 - 3.0
Materiales granulares finos o subrasante natural (E=3,000 a 40,000psi)	2.0 - 3.0

Nota. Adaptado de "Capítulo 1 AASHTO", por Alcántara, 2014.

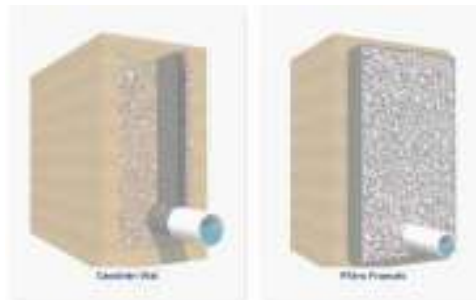
2.2.4. SISTEMA DE SUBDRENAJE

Según la décima edición del manual *Diseño de Infraestructura con Geosintéticos* (Wavin, s.f.), los sistemas de subdrenaje elaborados con geocompuestos constituyen una alternativa eficiente para captar, conducir y evacuar el agua infiltrada en la estructura del pavimento. Su elevada permeabilidad y capacidad de drenaje favorecen un flujo continuo del agua, lo que optimiza el funcionamiento hidráulico del sistema. En comparación con soluciones tradicionales, como el filtro

francés, estos sistemas requieren una menor cantidad de agregados pétreos, disminuyen el tiempo requerido para su instalación y presentan una mayor resistencia frente a procesos de colmatación. Además, Wavin señala que el empleo del Geodrén Vial puede representar un ahorro aproximado del 26% respecto al filtro francés convencional. La Figura 10 muestra una comparación entre ambos sistemas de drenaje.

Figura 10

Geodrén Vial y filtro Francés



Nota. Adaptado de “Diseño de Infraestructura con geosintéticos”, por Wavin Geosoft, s.f. (<https://n9.cl/u3m8g5>)

2.2.4.1. GEODRÉN VIAL. El Geodrén Vial se define como un sistema prefabricado de drenaje elaborado mediante la integración de un geotextil no tejido, un núcleo drenante y una tubería perforada destinada a la conducción del agua. La combinación de estos componentes permite recolectar, conducir y descargar el flujo infiltrado de manera eficiente, contribuyendo al adecuado funcionamiento hidráulico del pavimento. Su instalación en zanjas o trincheras disminuye el riesgo a la colmatación y mejora la durabilidad del sistema frente a soluciones tradicionales. La Figura 12 presenta el esquema general de instalación del Geodrén Vial.

Figura 11

Componentes del Geodrén Vial



Nota. Adaptado de “Diseño de Infraestructura con geosintéticos”, por Wavin Geosoft, s.f. (<https://n9.cl/u3m8g5>)

Figura 12

Colocación del Geodrén Vial



Nota. Adaptado de “Diseño de Infraestructura con geosintéticos”, por Wavin Geosoft, s.f. (<https://n9.cl/u3m8g5>)

2.2.4.2. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO. Después de establecer los puntos de descarga del sistema de subdrenaje, es necesario identificar las fuentes que contribuirán con el ingreso de agua al sistema para estimar el caudal de diseño. Dichos aportes provienen principalmente del agua proveniente de la infiltración de las precipitaciones a través de la estructura del pavimento y, cuando existe, del ascenso del nivel freático. Con el fin de garantizar un adecuado funcionamiento hidráulico, el sistema de subdrenaje requiere complementarse con elementos de drenaje superficial que limiten la penetración del agua hacia las capas estructurales inferiores del pavimento. La representación esquemática de estas fuentes se presenta en la Figura 13.

Figura 13

Caudal total de diseño



Nota. Adaptado de “Diseño de Infraestructura con geosintéticos”, por Wavin Geosoft, s.f. (<https://n9.cl/u3m8g5>)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Pavimento rígido:** Se denomina pavimento rígido a la estructura vial conformada por losas de concreto hidráulico, cuya función es distribuir las cargas del tránsito hacia la subrasante, proporcionando mayor capacidad estructural, rigidez y durabilidad (Instituto Mexicano del Transporte, 2008).
- **Concreto permeable:** El concreto permeable corresponde a una mezcla especialmente diseñada con un elevado porcentaje de vacíos interconectados, característica que favorece la infiltración del agua pluvial hacia las capas estructurales inferiores del pavimento y disminuye la escorrentía superficial (ACI Committee 522, 2010).
- **Subdrenaje:** El subdrenaje corresponde al conjunto de elementos destinados a captar, conducir y evacuar el agua infiltrada ubicada bajo la estructura del pavimento, evitando la acumulación de humedad en la subrasante y preservando el adecuado desempeño estructural de la vía (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).
- **Coeficiente de drenaje (Cd):** El coeficiente de drenaje es un factor correctivo que se incorpora al diseño estructural de capas granulares para considerar la calidad y eficacia del drenaje, dependiendo del tiempo que estas permanecen saturadas (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 1993).
- **Serviciabilidad:** La serviciabilidad se define como la capacidad funcional del pavimento para proporcionar confort, seguridad y condiciones aceptables de circulación durante su vida útil, en respuesta a las cargas del tránsito y a factores ambientales (Huang, 2004).
- **Módulo de rotura del concreto:** El módulo de rotura del concreto corresponde a un parámetro que expresa la capacidad del material para resistir esfuerzos de flexión antes de la aparición de fisuras asociadas a cargas repetitivas del tránsito. En el diseño de pavimentos rígidos, el valor de referencia corresponde al módulo de rotura obtenido mediante el ensayo de flexión realizado sobre vigas a los 28 días de curado, conforme a lo señalado por Neville (2011).
- **Módulo de reacción de la subrasante (k):** El módulo de reacción de

la subrasante (k) representa la rigidez del terreno de fundación mediante la relación entre la carga aplicada y la deformación producida. Este parámetro permite estimar la capacidad de soporte de la subrasante y constituye una variable fundamental en el diseño estructural de pavimentos rígidos (Das, 2011).

- **Infiltración:** La infiltración corresponde al proceso por el cual el agua pluvial ingresa en el suelo o pavimento a través de sus poros, siendo un fenómeno influenciado por la conectividad y tamaño de los vacíos del material (Coduto, 2011).
- **Carga equivalente de eje simple (ESAL):** La ESAL es una unidad estandarizada que representa el efecto de una carga vehicular sobre el pavimento, convertida a una carga de eje simple de 18kips (80kN), y se utiliza para estimar el desgaste acumulado a lo largo de la vida útil del pavimento (AASHTO, 1993).
- **Drenaje superficial:** El drenaje superficial consiste en el conjunto de obras destinadas a recolectar y canalizar las aguas pluviales fuera del área de rodadura para evitar su infiltración y acumulación sobre la calzada (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, 2013).
- **Fatiga del concreto:** La fatiga del concreto corresponde al proceso de deterioro progresivo causado por la repetición de cargas dinámicas, lo que con el tiempo produce microgrietas que pueden convertirse en fallas estructurales visibles (Neville, 2011).
- **Durabilidad del pavimento:** La durabilidad del pavimento expresa la aptitud de la estructura para conservar sus condiciones de servicio y su funcionamiento funcional a lo largo del tiempo frente a la acción del tránsito y de los agentes ambientales (Huang, 2004).
- **Permeabilidad:** La permeabilidad constituye una propiedad física que describe la propiedad de un material, como el concreto o el suelo, para facilitar el paso del agua a través de su estructura cuando existe un gradiente hidráulico (Mehta & Monteiro, 2014).
- **Ley de Darcy:** La Ley de Darcy establece que el caudal de flujo a través de un medio poroso es proporcional al área, al gradiente hidráulico y a la conductividad del material, siendo fundamental para

calcular la infiltración (Coduto, 2011).

- **Índice CBR (California Bearing Ratio):** El CBR es un parámetro utilizado para evaluar la capacidad de soporte de un suelo a partir de un ensayo de penetración, y se utiliza ampliamente para el diseño de capas estructurales en pavimentos (Das, 2011).
- **Ahuellamiento:** El ahuellamiento es una deformación permanente en la capa de rodadura del pavimento, caracterizada por depresiones longitudinales en las huellas de los neumáticos, debido a cargas repetidas y mal comportamiento estructural (Instituto de la Construcción y Gerencia, 2016).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

El diseño de un sistema de pavimento rígido permeable complementado con un sistema de subdrenaje mejora significativamente la gestión de aguas pluviales en el jirón Huánuco desde la cuadra 1 hasta la 2, en el AA. HH. Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito de Yanacancha, provincia de Pasco, región Pasco.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

- El adecuado diseño estructural del pavimento permeable, en función del tránsito vehicular y las condiciones de la subrasante, permite garantizar su desempeño estructural en vías urbanas.
- El diseño de la mezcla de concreto permeable con propiedades mecánicas e hidráulicas adecuadas permite asegurar su funcionalidad estructural e infiltración del agua.
- El diseño de un sistema de subdrenaje adecuado permite la evacuación eficiente del agua infiltrada, mejorando el desempeño hidráulico del pavimento permeable.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Desempeño del pavimento permeable

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Diseño del sistema de subdrenaje

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 4

Operacionalización de Variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTO	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable Independiente: Diseño del sistema de subdrenaje	Diseño hidráulico del sistema	Caudal de infiltración estimado (Q)	Simulación hidráulica	Software Geosoft Pavco 4	Continua
		Capacidad de evacuación del geodren	Cálculo técnico	Manual AASHTO 93	Continua
	Diseño estructural del subdrenaje	Diámetro y pendiente de tuberías	Evaluación de diseño	Memoria de cálculo	Cualitativa ordinal
		Nivel de conectividad con la base y subbase	Revisión técnica	Ficha técnica del geocompuesto	Cualitativa ordinal
Variable Dependiente: Desempeño del pavimento permeable	Resistencia mecánica	Resistencia a la compresión (ASTM C39)	Ensayo de laboratorio	Pruebas con cilindros de concreto	Continua
		Resistencia a la flexión (ASTM C78)	Ensayo de laboratorio	Viga con tercera carga	Continua
	Comportamiento hidráulico	Permeabilidad del concreto (ASTM C1701)	Ensayo de infiltración	Permeámetro en campo	Continua
	Durabilidad y servicio	Vida útil estimada del pavimento (años)	Cálculo estructural	Método AASHTO 93	Continua
		Reducción de fallas por humedad (ahuellamiento, grietas)	Inspección visual	Lista de chequeo de fallas	Cualitativa ordinal

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación aplicada tiene como finalidad emplear conocimientos científicos para resolver problemas específicos del entorno y generar soluciones con posibilidad de aplicación práctica. Su propósito consiste en transformar el conocimiento teórico en propuestas técnicas orientadas a mejorar procesos, productos o servicios dentro de un contexto determinado (Hernández, Fernández & Baptista, 2014, p. 8).

Nuestra investigación es aplicada porque busca resolver un problema concreto (la mejora del desempeño del pavimento permeable en condiciones de alta precipitación) mediante el desarrollo y diseño de una solución técnica (sistema de subdrenaje).

3.1.1 ENFOQUE

El enfoque cuantitativo se basa en la recopilación y procesamiento de información numérica, con el propósito de describir fenómenos, contrastar hipótesis y determinar relaciones entre variables mediante procedimientos estadísticos y mediciones objetivas (Hernández, Fernández & Baptista, 2014, p. 4).

Nuestra investigación es de enfoque cuantitativa porque utiliza mediciones numéricas, análisis de datos técnicos (resistencia, permeabilidad, tránsito W18, etc.), cálculos estructurales y simulaciones con software para validar la propuesta.

3.1.2 ALCANCE O NIVEL

El nivel explicativo-propositivo busca comprender las relaciones de causa y efecto existentes entre las variables de estudio y, con base en los resultados obtenidos, formular alternativas de solución aplicables al problema investigado. Además de explicar el comportamiento del fenómeno, este nivel orienta el desarrollo de propuestas técnicas para su intervención (Sampieri, Collado & Lucio, 2014, p. 91).

Nuestra investigación es de nivel explicativo propositivo porque analiza la relación entre el diseño del subdrenaje y el desempeño del pavimento permeable, y también plantea una solución técnica concreta

a un problema real mediante el diseño de pavimento.

3.1.3 DISEÑO

El diseño no experimental corresponde a investigaciones donde las variables no son manipuladas deliberadamente. El investigador observa los fenómenos tal como ocurren en su contexto real y posteriormente analiza las relaciones existentes entre ellos, sin intervenir en las condiciones del estudio (Hernández, Fernández & Baptista, 2014, p. 151).

La investigación adopta un diseño no experimental, debido a que las variables no son manipuladas de manera directa; solamente se registran, analizan y modelan las condiciones existentes para el desarrollo del estudio.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la población está conformada por el conjunto de unidades o elementos que comparten determinadas características y sobre los cuales se pretende obtener información para responder al problema de investigación (p. 174).

Para la presente investigación, la población estuvo conformada por las vías pavimentadas ubicadas en el AA. HH. Víctor Raúl Haya de la Torre, distrito de Yanacancha, provincia y departamento de Pasco. Estas vías presentan problemas relacionados con la acumulación de aguas pluviales y el deterioro progresivo del pavimento rígido, asociados principalmente a la ausencia de un sistema eficiente de subdrenaje y a las condiciones de alta precipitación propias de la zona.

De acuerdo con la información del SENAMHI (2024), la ciudad de Pasco registra precipitaciones medias anuales superiores a 1 400mm, presentándose durante eventos críticos intensidades mayores a 80mm/h. Estas condiciones favorecen la saturación de la subrasante y aceleran procesos de deterioro estructural como fisuración, exudación y pérdida de soporte del pavimento (Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, MTC, 2014).

Adicionalmente, la Guía de Diseño de Pavimentos del MTC

(2014), establece que toda estructura vial debe incorporar sistemas de drenaje superficial o subdrenaje que garanticen la evacuación del agua infiltrada para evitar el deterioro prematuro de las capas inferiores. La metodología AASHTO 1993, por su parte, considera el coeficiente de drenaje (C_d) como parámetro fundamental en el diseño estructural, destacando que un pavimento sin drenaje adecuado puede reducir su vida útil hasta en un 40%.

En consecuencia, las vías pavimentadas del AA. HH. Víctor Raúl Haya de la Torre constituyen una población representativa para evaluar el comportamiento estructural e hidráulico del pavimento bajo condiciones de alta precipitación, permitiendo obtener resultados técnicamente aplicables a sectores urbanos con características similares.

3.2.2 MUESTRA

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), la muestra constituye un subconjunto de la población seleccionada para obtener información que permita responder al problema de investigación y alcanzar los objetivos planteados (p. 176).

La muestra estuvo conformada por un tramo de 100m lineales del Jr. Huánuco, comprendido entre la cuadra 1 y la cuadra 2, ubicado en el AA. HH. Víctor Raúl Haya de la Torre, distrito de Yanacancha, provincia y departamento de Pasco. La selección se realizó mediante un muestreo no probabilístico por criterio técnico, debido a que este sector presenta las condiciones más representativas para evaluar el comportamiento del sistema de subdrenaje, tales como acumulación recurrente de aguas pluviales, fisuración del pavimento asociada al bombeo y pendiente longitudinal inferior al 1%.

Las especificaciones de la AASHTO M 288-17 (Geotextile Specification for Highway Applications) establecen que, las vías con pendientes menores al 1% requieren de sistemas de subdrenaje complementarios con geocompuestos para evitar la saturación de la base y subbase. Asimismo, el Manual de Carreteras del MTC (DG-2018) establece que la evaluación de las condiciones hidráulicas y geotécnicas

debe realizarse en el tramo representativo de mayor deterioro, con el fin de proponer soluciones extrapolables al resto de la vía.

La selección de la muestra permite la toma de datos experimentales de campo y laboratorio, incluyendo aforo vehicular (para determinar el tránsito W18), caracterización del suelo (CBR, módulo k) y análisis de precipitación. La información obtenida constituirá el sustento técnico para el diseño hidráulico y estructural del sistema de subdrenaje, aplicando la metodología AASHTO 93 y el modelamiento numérico mediante el software Geosoft PAVCO 4.0, conforme a las recomendaciones de la Federal Highway Administration (FHWA, 2016) para sistemas de drenaje vial urbano.

De este modo, el tramo seleccionado constituye una muestra técnica representativa y viable, que permite validar el comportamiento de la propuesta en condiciones reales de alta pluviosidad y baja pendiente, garantizando la replicabilidad del modelo en otras vías urbanas del país.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1 TÉCNICAS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS

- **Observación directa:** Se utilizó para evaluar las condiciones físicas del tramo de estudio, identificando fallas superficiales, deterioros visibles y zonas con acumulación de aguas pluviales.
- **Aforo vehicular (conteo manual):** Permitió cuantificar el volumen de tránsito y convertir las cargas vehiculares al parámetro ESAL (W18), información indispensable para el dimensionamiento estructural del pavimento conforme a la metodología AASHTO 93.
- **Ensayos de laboratorio:** Se efectuaron para determinar las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable mediante los ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y permeabilidad.
- **Revisión documental:** Incluye la recopilación de datos históricos de precipitación de estaciones meteorológicas y normas técnicas (AASHTO, ASTM, MTC, etc.).
- **Simulación computacional:** Se utilizó el software Geosoft PAVCO

4.0 para modelar hidráulicamente el sistema de subdrenaje y verificar el comportamiento de la propuesta de diseño.

3.3.2 INSTRUMENTOS DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS

- **Planillas de conteo vehicular y cronómetros:** Para registrar el tránsito durante el aforo.
- **Probetas cilíndricas y vigas de concreto:** Usadas en los ensayos ASTM C39 (compresión), C78 (flexión) y C1701 (permeabilidad).
- **Permeámetro de carga constante:** Equipo empleado para determinar la permeabilidad del concreto permeable mediante el ensayo correspondiente.
- **Software Geosoft PAVCO 4.0:** Para simular y calcular hidráulicamente el comportamiento del subdrenaje.
- **Datos pluviométricos del SENAMHI:** Como fuente documental para estimar el caudal de diseño.

3.4 TÉCNICA PARA EL PROCESAMIENTO Y EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El procesamiento y análisis de la información se realizó mediante un enfoque cuantitativo y técnico-normativo, empleando los datos obtenidos en campo y laboratorio para el dimensionamiento estructural del pavimento y el diseño hidráulico del sistema de subdrenaje. Para ello se analizaron variables como el tránsito vehicular (W18), el CBR de la subrasante, las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable y los registros históricos de precipitación, aplicando los criterios establecidos por la metodología AASHTO 93 y las normas técnicas correspondientes. La integración de esta información permitirá realizar el dimensionamiento estructural del pavimento y el diseño hidráulico del sistema de subdrenaje.

Como complemento del análisis se utilizó el software Geosoft PAVCO 4.0, el cual facilitó la simulación hidráulica del sistema de subdrenaje bajo condiciones de diseño y permitió validar técnicamente la propuesta desarrollada.

El procesamiento de la información comprendió cuatro etapas principales. En primer lugar, se analizaron las condiciones del tramo de estudio mediante la información obtenida en campo, incluyendo el aforo

vehicular, la caracterización geotécnica y los registros históricos de precipitación. Posteriormente, se procesaron los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable. Con dichos parámetros se efectuó el dimensionamiento estructural del pavimento utilizando la metodología AASHTO 93. Finalmente, se realizó el modelamiento hidráulico del sistema de subdrenaje mediante el software Geosoft PAVCO 4.0, verificando la capacidad de conducción y el comportamiento hidráulico de la propuesta.

3.5 ASPECTOS ÉTICOS

La presente investigación se desarrolló respetando los principios éticos que orientan la investigación científica, garantizando la responsabilidad académica, la veracidad de la información obtenida y el cumplimiento de la normativa vigente durante todas las etapas del estudio.

Los resultados obtenidos durante los ensayos de laboratorio y el modelamiento hidráulico fueron registrados, procesados y documentados de manera objetiva, garantizando la confiabilidad y trazabilidad de la información presentada.

Asimismo, el manejo de la información se realizó con criterios de honestidad y transparencia, reconociendo adecuadamente las fuentes bibliográficas empleadas, entre ellas normas técnicas (AASHTO, ASTM y Manual de Carreteras del MTC) y antecedentes científicos relacionados con pavimentos permeables y sistemas de subdrenaje.

Del mismo modo, se garantizó la responsabilidad técnica en cada una de las etapas de la investigación, verificando que las propuestas de diseño estructural e hidráulico estuvieran sustentadas en metodologías reconocidas y criterios normativos vigentes, evitando recomendaciones que pudieran comprometer el comportamiento de la infraestructura vial.

Desde la perspectiva ambiental, la investigación estuvo orientada hacia el desarrollo de soluciones sostenibles para el manejo eficiente del agua pluvial mediante pavimentos permeables y sistemas de subdrenaje, contribuyendo a disminuir la escorrentía superficial y los impactos asociados a inundaciones urbanas.

Finalmente, debido a que la investigación se desarrolló mediante

ensayos de laboratorio y modelamiento computacional, no fue necesaria la participación directa de personas ni animales. En consecuencia, no se requirió la aplicación de protocolos de consentimiento informado; sin embargo, durante la ejecución de los ensayos se respetaron las normas de seguridad para el manejo de equipos, materiales y procedimientos de laboratorio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DEL CONCRETO PERMEABLE

Considerando las condiciones de tránsito vehicular y las características hidráulicas de la zona de estudio, se diseñó una mezcla de concreto permeable que permitiera satisfacer simultáneamente los requerimientos estructurales e hidráulicos del proyecto. Para ello se adoptó un diseño de mezcla orientado a mejorar la resistencia mecánica sin comprometer la capacidad de infiltración del material.

En consecuencia, se seleccionó la metodología de diseño para pavimentos permeables resistentes a la obstrucción (Clog-Resistant Pavement, CRP), propuesta por Kia, Wong y Cheeseman. Este enfoque integra criterios estructurales e hidráulicos con el propósito de mejorar el comportamiento del pavimento frente al tránsito vehicular y reducir las limitaciones observadas en los concretos permeables convencionales, especialmente en lo relacionado con la resistencia mecánica y la capacidad de drenaje.

El sistema CRP se desarrolla incorporando canales de poro recto dentro de un mortero autocompactante, conforme a los lineamientos de American Concrete Institute ACI 237. Esta configuración genera una red de vacíos uniforme y con baja tortuosidad, favoreciendo simultáneamente el desempeño estructural y la capacidad de infiltración del material.

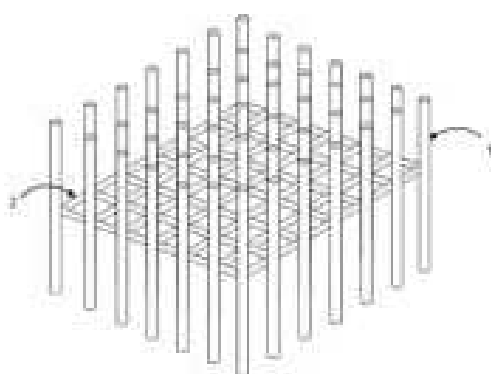
La mezcla diseñada presenta una porosidad aproximada del 4%, alcanzando resistencias superiores a 50MPa a compresión y mayores a 4MPa a flexión, además de una permeabilidad superior a 2cm/s y permeabilidad mayor a 2cm/s. Asimismo, estudios experimentales han evidenciado que el CRP mantiene su desempeño hidráulico incluso tras ciclos repetidos de flujo con presencia de arena y arcilla, mostrando una menor susceptibilidad a la obstrucción. En comparación con los pavimentos permeables convencionales que presentan una porosidad

equivalente, este sistema alcanza aproximadamente el doble de resistencia mecánica y una permeabilidad hasta diez veces superior.

En consecuencia, el pavimento CRP se perfila como una alternativa técnicamente superior frente a los pavimentos permeables tradicionales, especialmente en escenarios donde se requiere elevada capacidad estructural y eficiente infiltración de agua pluvial (Kia et al., 2021).

Figura 14

Modelo del pavimento permeable



Fuente: “Structural and hydrological design of permeable concrete pavements.”, por Kia et al., 2021 (<https://acortar.link/VUiNKD>).

Como etapa previa al diseño de la mezcla, se realizaron los ensayos de caracterización física de los agregados fino y grueso. Los resultados obtenidos constituyeron los parámetros de entrada para el diseño de la mezcla de concreto permeable y se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5

Ensayo de los agregados gruesos y finos

Agregados		Ensayos	Norma
A. Grueso	Análisis granulométrico		ASTM C136-05
A. Fino	Análisis granulométrico		ASTM C128
A. Grueso	Gravedad específica y absorción		ASTM C127-01
A. Fino	Gravedad específica y absorción		ASTM C128-04a
A. Grueso	Peso unitario (suelto y varillado)		ASTM C29
A. Fino	Peso unitario (suelto y varillado)		ASTM C29
A. Grueso	Contenido de humedad		ASTM C566
A. Fino	Contenido de humedad		ASTM C566

4.1.1.1. ENSAYO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS. Como etapa previa al diseño de la mezcla de concreto permeable, se realizaron los ensayos de caracterización física de los agregados fino y grueso. Las Figuras 15 y 16 muestran el procedimiento de análisis granulométrico aplicado a ambos materiales, cuyos resultados sirvieron como parámetros de entrada para el diseño de la mezcla.

Figura 15

Ensayo Agregado Grueso



Figura 16

Ensayo Agregado Fino



4.1.1.2. ENSAYO PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTO DEL AGREGADO FINO Y GRUESO.

Las Figuras 17 y 18 presentan el procedimiento empleado para determinar el peso unitario del agregado grueso y fino, respectivamente. Los resultados obtenidos fueron de $1,369\text{g/cm}^3$ y $1,537\text{g/cm}^3$ para el agregado grueso (estado suelto y compactado), mientras que para el agregado fino fueron de $1,324\text{g/cm}^3$ y $1,571\text{g/cm}^3$. Estos valores fueron considerados en el diseño de la mezcla de concreto permeable.

Figura 17

Ensayo de peso unitario-agregado grueso



Figura 18

Ensayo de peso unitario-agregado fino



4.1.1.3. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD. La Figura 19 presenta el ensayo de contenido de humedad realizado a los agregados, cuyo propósito fue determinar la humedad natural de las muestras antes del diseño de la mezcla. Los resultados completos se presentan en el anexo correspondiente.

Figura 19

Ensayo contenido de humedad



4.1.1.4. ENSAYO DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN. Las Figuras 20 y 21 muestran los ensayos de gravedad específica y absorción realizados a los agregados grueso y fino. Los valores obtenidos se presentan en los Anexos 7 y 8 y fueron utilizados para el diseño de la mezcla de concreto permeable.

Figura 20

Ensayo de gravedad específica y absorción-agregado grueso



Figura 21

Ensayo de gravedad específica y absorción-agregado fino



4.1.1.5. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE MEZCLA CON 4% DE VACÍOS. Con los resultados obtenidos en la caracterización de los agregados se procedió al diseño de la mezcla de concreto permeable, adoptando un contenido de vacíos del 4%, conforme a los criterios establecidos por el Comité ACI 237, tal como se aprecia en la Figura 22.

Para la elaboración de las probetas se incorporaron tubos de PVC de 5/8" distribuidos uniformemente dentro del molde, con el propósito de generar canales continuos que favorecieran la infiltración del agua sin comprometer el comportamiento mecánico del concreto.

Figura 22

Diseño de mezcla del concreto permeable

CE Cemento Sol tipo I:	311	kg/m ³	W/P A.F. =	0.28
FRM:	1/4"		W/P A.G. =	5.35
Slump:	210 mm		Área comprimida =	51
F _{ck} :	350	kg/cm ²		
Tipo de agregado:	Angular			
			Factor cemento =	1.70
				2.0 lb
			R_{a/c} = 0.40	

INGREDIENTE	FRM kg/m ³	Humedad	Área de comprimida	VOLUMEN ABSORCIÓN	PROPORCIÓN	PESO HUMEDO kg	Área de Prueba (m ²)
Cemento Sol tipo I	311			0.1140	0.31	4.2110	0.23
Aditivo							
Agua	1000			0.2450	140	127	15.33
Substrato de arena	1200			0.0244	5.1	5.1	1.80
Área agregada	0.196			0.0001			
A. Fino	2050	0.00%	0.00%	0.2490	607	679	125.32
A. Grueso	2500	0.00%	0.00%	0.2405	645	499	218.96
			Volumen agua	0.3012			
			Volumen agregado	0.8767			
			% A. Fino	0.004			
			% A. Grueso	0.00%			

Posteriormente, la mezcla fue preparada, colocada en moldes cilíndricos y prismáticos y compactada hasta obtener una distribución homogénea del material y minimizar la presencia de vacíos no deseados.

Se fabricaron nueve probetas cilíndricas de 10cm × 20cm para los ensayos de resistencia a la compresión y nueve probetas prismáticas de 50 × 16 × 15cm para los ensayos de resistencia a la flexión, distribuidas en edades de evaluación de 7,14 y 28 días.

Figura 23

Peso de los materiales



Figura 24

Probetas cilíndricas



Figura 25

Probetas rectangulares



4.1.2. PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL CONCRETO PERMEABLE

4.1.2.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO. Transcurridos 7 días de curado, se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión en tres probetas. Antes de iniciar la rotura, se verificó el estado de los pares de neopreno, asegurando que no presentaran desgaste por uso. Los resultados obtenidos fueron cargas máximas de 304,14kN, 300,82kN y 309,15kN, que corresponden a resistencias a la compresión de 379,99kg/cm², 376,73kg/cm² y 383,72kg/cm², respectivamente. El valor promedio de resistencia a los 7 días fue de 380,15kg/cm².

Posteriormente, a los 14 días de curado, se ensayaron otras tres probetas a compresión. Las cargas máximas registradas fueron 326,06kN, 293,62kN y 313,24kN, obteniéndose resistencias de 406,98kg/cm², 372,34kg/cm² y 392,20kg/cm², respectivamente. El promedio de resistencia a la compresión a los 14 días fue de 390,51kg/cm².

Luego, a los 28 días de curado, se ensayaron otras tres probetas a compresión. Las cargas máximas registradas fueron

298,07kN, 331,0kN y 317,98kN, obteniéndose resistencias de 372,47kg/cm², 417,34kg/cm² y 402,28kg/cm², respectivamente. El promedio de resistencia a la compresión a los 28 días fue de 397,36kg/cm²

Los cálculos detallados correspondientes a las resistencias obtenidas a los 7,14 y 28 días se presentan en el Anexo 10.

Figura 26

Rotura de la probeta 1 a los 7 días



Figura 27

Rotura de la probeta 2 a los 7 días



Figura 28

Rotura de la probeta 3 a los 7 días



Figura 29

Rotura de la probeta 1 a los 14 días



Figura 30

Rotura de la probeta 2 a los 14 días



Figura 31

Rotura de la probeta 3 a los 14 días



Figura 32

Rotura de la probeta a los 28 días



4.1.2.2. ENSAYO DE FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO ENDURECIDO. A los 7, 14 y 28 días de curado se evaluó la resistencia a la flexión mediante ensayos realizados sobre vigas prismáticas de concreto. Previamente se delimitaron las zonas de falla dejando una pulgada en los extremos y se verificaron las dimensiones de cada espécimen antes de aplicar la carga.

Las cargas máximas registradas fueron 21,71kN, 20,67kN y 17,79kN, a partir de las cuales se calcularon resistencias a la flexión de 28,21kg/cm², 27,57kg/cm² y 23,73kg/cm², respectivamente. Con un promedio a los 7 días de 26,50kg/cm².

De manera similar, a los 14 días se ensayaron tres vigas adicionales. Las cargas alcanzadas fueron 39,58kN, 38.19kN y 36,84kN, a partir de las cuales se calcularon resistencias a la flexión de 51,77kg/cm², 49,94kg/cm² y 49,14kg/cm², respectivamente. Con un promedio a los 14 días de 50,29kg/cm².

Posteriormente, a los 28 días se ensayaron tres vigas más. Las cargas alcanzadas fueron 40,44kN, 39.01kN y 40,44kN, a partir de las cuales se calcularon resistencias a la flexión de 54,11kg/cm²,

52,37kg/cm² y 52,54kg/cm², respectivamente. Con un promedio a los 28 días de 53,01kg/cm².

Los cálculos detallados correspondientes a las resistencias a la flexión a los 7, 14 y 28 días se presentan en el Anexo 11.

Figura 33

Ensayo de viga a los 7 días



Figura 34

Ensayo de viga a los 14 días



Figura 35

Ensayo de viga a los 28 días



4.1.2.3. ENSAYO DE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO: ANILLO DE FILTRACIÓN (ASTM C1701). Una vez definida la dosificación de la mezcla, se evaluó experimentalmente la permeabilidad del concreto permeable mediante el ensayo de anillo de infiltración conforme a la ASTM C1701. El procedimiento consistió en fijar el anillo sobre la superficie del espécimen, verter un volumen previamente determinado de agua y registrar el tiempo necesario para que esta se infiltrara completamente.

Con base en los cálculos desarrollados (Anexo 12), se determinó un coeficiente de permeabilidad de 0,2122cm/s, valor que evidencia un adecuado comportamiento hidráulico para el pavimento permeable diseñado.

Figura 36

Ensayo del anillo de infiltración



4.1.3. DISEÑO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO

4.1.3.1. LOSA DE CONCRETO DEL PAVIMENTO. El

dimensionamiento estructural del pavimento se realizó para un período de diseño de 20 años mediante la metodología AASHTO 93, utilizando la información obtenida durante la caracterización de la subrasante y el estudio de tránsito. Como datos de entrada se consideraron el tránsito acumulado expresado en ESAL (W18), el CBR de la subrasante, el módulo de reacción (k) y las variables estructurales definidas por el método AASHTO 93.

Asimismo, el diseño incorporó otros parámetros fundamentales establecidos por la metodología AASHTO 93, tales como la desviación estándar (S_0), la pérdida de serviciabilidad (ΔPSI), el coeficiente de drenaje (Cd), el módulo de rotura del concreto (S'_c), el índice de serviciabilidad inicial (P_t), el coeficiente de transferencia de carga (J) y el módulo de elasticidad del concreto (E_c).

Los valores finalmente adoptados para cada variable de diseño se presentan en la Tabla 6 y fueron establecidos con base en los resultados experimentales obtenidos durante la investigación realizadas a los 28 días.

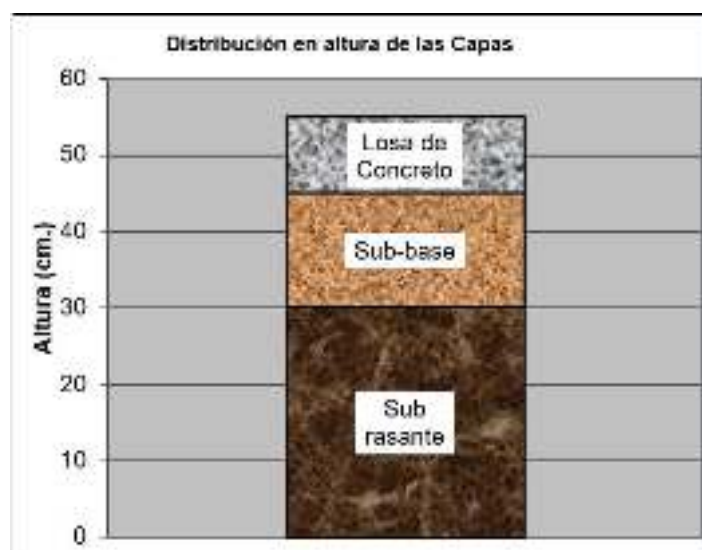
Tabla 6

Parámetros de la ecuación fundamental

PARAMETROS DE LA ECUACIÓN		
R=	50%	
So=	0.30	
W18=	5.95E+04	Esal
ΔPSI =	2.50	
Zr=	0.000	
P_t =	2.0	
Cd=	1.2	
J=	3.2	
E_c =	4,523,603.54	pci
K=	49.96	pci
S'_c =	598.665	psi

Figura 37

Espesor de losa



Fuente: Adaptado de: "Capas de un pavimento rígido", J. Zapién, s.f (https://issuu.com/laser_laboratorio/docs/capas_de_un_pavimento_rigido.docx/s/2585538)

Sin embargo, según el MTC (2014)

4.1.3.2. BASE O SUB BASE DEL PAVIMENTO. La estructura de la subbase permeable fue diseñada con un espesor de 15cm, considerando el empleo de materiales de origen calcáreo o arenisco que presenten propiedades adecuadas de permeabilidad. De acuerdo con el Manual de Carreteras: Suelos y Pavimentos (MTC, 2014), específicamente con la clasificación establecida en el Capítulo XI, el material seleccionado corresponde a una gradación tipo E, cuya distribución granulométrica se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Gradación del material del afirmado

Porcentaje que pasa del tamiz	Gradación C	Gradación D	Gradación E	Gradación F
50mm (2")				
37.5mm (1 1/2")				
25mm (1")	100	100	100	100
19mm (3/4")				
12.5mm (1/2")				
9.5mm (3/8")	50-85	60-100		
4.75mm (Nº4)	35-65	50-85	55-100	70-100

2.36mm (N°8)				
2.0mm (N°10)	25-50	40-70	40-100	55-100
4.25 um (N°40)	15-30	25-45	20-50	30-70
75 um (N°200)	5-15	5-20	6-20	8-25
Índice de Plasticidad	4-9	4-9	4-9	4-9
Límite Líquido	Máx. 35%	Máx. 35%	Máx. 35%	Máx. 35%
Desgaste Los Ángeles	Máx. 50%	Máx. 50%	Máx. 50%	Máx. 50%
CBR (referido al 100% de la Máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5mm))	Mín. 40%	Mín. 40%	Mín. 40%	Mín. 40%

Fuente: De: "Manual de carretera Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos", por ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.

4.1.3.3. ENSAYO DE LA PERMEABILIDAD DE LA SUB

BASE. La permeabilidad de la subbase fue determinada mediante permeámetro utilizando una muestra de afirmado correspondiente al material seleccionado para el proyecto. El coeficiente de permeabilidad se calculó considerando los parámetros establecidos para el ensayo y aplicando el factor de corrección por temperatura.

El valor promedio obtenido fue de 0,00045cm/s, calculado a partir de cuatro determinaciones, cuyos resultados individuales se presentan en la Tabla 8.

Figura 38

Humedecimiento de la muestra



Figura 39*Temperatura del fluido***Tabla 8***Resultados del ensayo de permeabilidad*

Ensayo	1	2	3	4
Descarga (Q)cm ³	100	100	100	100
Carga hidráulica (h)cm	91.5	91.5	91.5	91.5
Tiempo (t) seg	331.1	349	338	363
Temperatura de ensayo (T)°C	20.8	20.8	20.8	20.8
Área de la sección transversal de la muestra (A)cm ²	79.9258	79.926	79.926	79.926
Altura de la muestra (L)cm	11.647	11.647	11.647	11.647
Coefficiente de permeabilidad (K=Q*L/(A*t*h))cm/seg	0.00048	0.00046	0.00047	0.00044
Corrección por temperatura (Rt)	0.981	0.981	0.981	0.981
Coefficiente de permeabilidad a 20.8°C (K)cm/seg	0.0005	0.0004	0.0005	0.0004
K promedio a 20.8°C (cm/seg)	0.000453			

El ensayo de laboratorio permitió establecer un coeficiente de permeabilidad (K) promedio de 0,00045cm/s, obtenido mediante cuatro determinaciones experimentales realizadas sobre el material de afirmado empleado como subbase.

De acuerdo con la clasificación de permeabilidad de los suelos, este valor corresponde a un material con baja capacidad de infiltración. No obstante, esta condición resulta compatible con el sistema de drenaje propuesto, ya que favorece el control del flujo infiltrado dentro de la estructura del pavimento y facilita su conducción hacia el sistema de evacuación diseñado.

Figura 40

Coeficiente de permeabilidad



Fuente: Coeficiente de permeabilidad según el tipo de suelo. De “Coeficiente de permeabilidad”, por la Food and Agriculture Organization (FAO), (s.f.) (<https://acortar.link/ruaQwg>)

4.1.3.4. SUBRASANTE DEL PAVIMENTO. De acuerdo con el estudio de mecánica de suelos, la subrasante ubicada entre las profundidades de 0,35m y 1,50m fue clasificada, conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), como un suelo tipo CL, correspondiente a arcillas inorgánicas de baja plasticidad. El material presenta una tonalidad beige, consistencia media a baja y un contenido de humedad natural de 13,77%,

características consideradas para el diseño estructural del pavimento.

4.1.4. DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SUBDRENAJE

4.1.4.1. CAUDAL DE DISEÑO DE SUBDRENAJE. El diseño hidráulico del sistema de subdrenaje se efectuó considerando únicamente el aporte de agua proveniente de la infiltración a través del pavimento y las características hidráulicas de la subrasante. De acuerdo con la evaluación hidrogeológica del área de estudio y la información obtenida en calicatas, no se identificó nivel freático, por lo que este aporte no fue incorporado en el análisis hidráulico.

4.1.4.1.1. CAUDAL POR INFILTRACIÓN. El caudal de infiltración utilizado para el dimensionamiento del sistema de subdrenaje se estimó mediante la siguiente expresión:

$$Q_{inf} = I_R * B * L * F_i * F_R$$

Donde:

I_R = precipitación máxima horaria de frecuencia anual

B = ancho de la vía

L = longitud del tramo de drenaje

F_i =factor de infiltración

F_R =factor de retención de la base

A. PRECIPITACIÓN MÁXIMA HORARIA DE FRECUENCIA ANUAL (I_R)

La determinación de la precipitación máxima horaria de frecuencia anual (I_R) se realizó mediante un procedimiento técnico secuencial. Para ello se adoptó un período de retorno compatible con el nivel de riesgo admisible y la vida útil del sistema. Posteriormente, se estimó la precipitación máxima correspondiente a un período de retorno de 10 años mediante un ajuste probabilístico efectuado con el software HidroEsta. Finalmente, utilizando los registros de precipitación máxima diaria y el tiempo de concentración determinado en campo, se calculó la precipitación máxima horaria de frecuencia anual necesaria para el dimensionamiento del sistema.

A.1. PERIODO DE RETORNO

El período de retorno empleado para el diseño hidráulico se estableció considerando el nivel de riesgo admisible y la vida útil prevista para la infraestructura. Para ello, se utilizó la siguiente expresión:

$$T = \frac{1}{(1 - (1 - R)^{\frac{1}{n}})}$$

Conforme a los criterios establecidos en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC, para obras de subdrenaje se adoptó un riesgo admisible del 40% (Tabla 9) y una vida útil de diseño de 15 años. Como resultado, se determinó un período de retorno de 30 años, valor empleado para el dimensionamiento hidráulico del sistema.

Tabla 9

Valores de riesgo admisibles

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (%)
Puentes	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

Fuente: Adaptado de “Manual de hidrología, hidráulica y drenaje”

A.2. PPMÁX PARA 24H CON T=10 AÑOS

Los registros históricos de precipitación máxima en 24 horas fueron obtenidos de la estación meteorológica Cerro de Pasco para el período 1995–2024, seleccionada por su proximidad al área de estudio y la disponibilidad de información pluviométrica continua.

Tabla 10*PP MAX en 24h desde 1995 al 2024*

AÑO	CERRO DE PASCO
1995	25.1
1998	30.5
1999	38
2000	22.6
2001	29.4
2002	26.8
2003	20.7
2004	33.2
2005	46.7
2006	25.4
2007	26.7
2008	29.4
2009	39.2
2010	27.8
2011	24
2012	24
2013	19.3
2014	21.5
2015	25.1
2016	18
2017	28
2018	51
2019	60
2022	47.2
2023	40
2024	37
PP MÁX	60

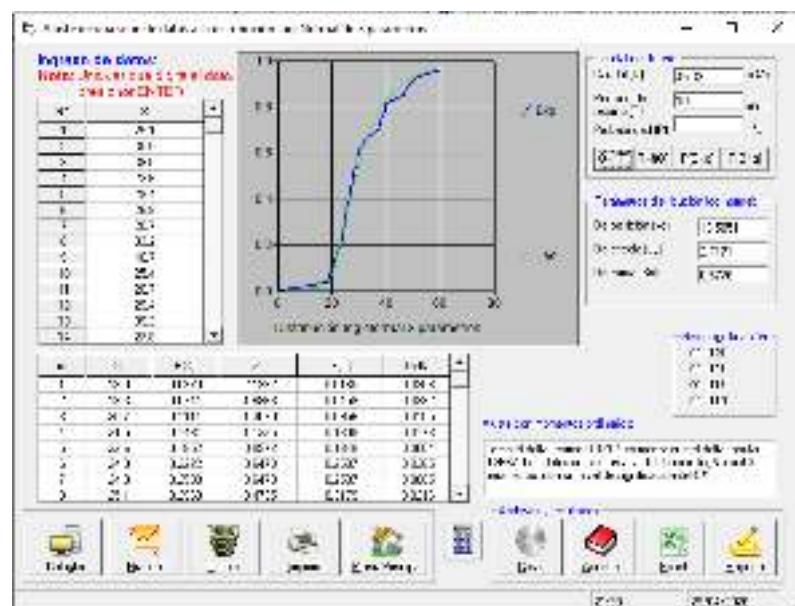
Fuente: Extracción de datos pluviométricos Estación de Cerro de Pasco desde 1995 hasta 2024

Los registros fueron analizados mediante el software

HidroEsta utilizando diferentes distribuciones probabilísticas con el fin de estimar la precipitación correspondiente a un período de retorno de 10 años. Entre las distribuciones evaluadas, LogNormal 3 presentó el menor error ($\Delta = 0,0712$), por lo que fue seleccionada para estimar la precipitación máxima de diseño, obteniéndose un valor de 45,32mm en 24 horas que se presentan en la Figura 41. El mismo procedimiento fue aplicado a las distribuciones Normal, LogNormal 2, Log Pearson Tipo III, Gamma 2, Gamma 3, Gumbel I y Gumbel II, cuyos resultados completos se muestran en el Anexo 3.

Figura 41

Distribución LogNormal 3



El análisis estadístico de los registros de precipitación máxima en 24 horas mostró que la distribución LogNormal 3 presentó el mejor ajuste, al registrar el menor valor de delta teórico (0,0712) entre las funciones de probabilidad evaluadas, como se observa en la Tabla 11. Con base en este ajuste, se determinó una precipitación máxima de diseño de 45,32mm para un período de retorno de 10 años ($T = 10$ años).

Tabla 11 Distribución de probabilidades

Distribución	Delta teórico	Delta tabular
Normal	0.1676	0.257
LogNormal 2	0.1142	0.257
LogNormal 3	0.0712	0.257
Gamma 2	0.1347	0.257
Gamma 3	0.09488	0.257
Log Pearson tipo III	0.07826	0.257
Gumbel	0.1037	0.257
Log Gumbel	0.0875	0.257

A.3. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración (T_c) fue estimado mediante la ecuación propuesta por Kirpich (1940), presentada a continuación:

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

Donde:

L: longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (m)

S: pendiente promedio de la cuenca (m/m)

T_c : tiempo de concentración (min)

Considerando una longitud del canal de 100m y una pendiente de 0,010m/m, se obtuvo un tiempo de concentración de 3,98min.

A.4. PP MÁX HORARIA ANUAL

La intensidad máxima horaria de precipitación fue obtenida mediante el criterio de Federal Bell, empleando los parámetros hidrológicos previamente determinados con el software HidroEsta. Los parámetros utilizados en el cálculo fueron definidos en las etapas previas del análisis hidrológico y se resumen a continuación:

Periodo de retorno (T): 30 años

Precipitación máxima en 24 horas (T = 10 años):

45.32mm

Tiempo de concentración: 3.98min

Con estos parámetros se obtuvo una intensidad máxima de precipitación de 110,85mm/h, utilizada para el cálculo del caudal de diseño. La curva IDF correspondiente se presenta en la Figura 43.

Figura 42

Intensidad máxima de la lluvia

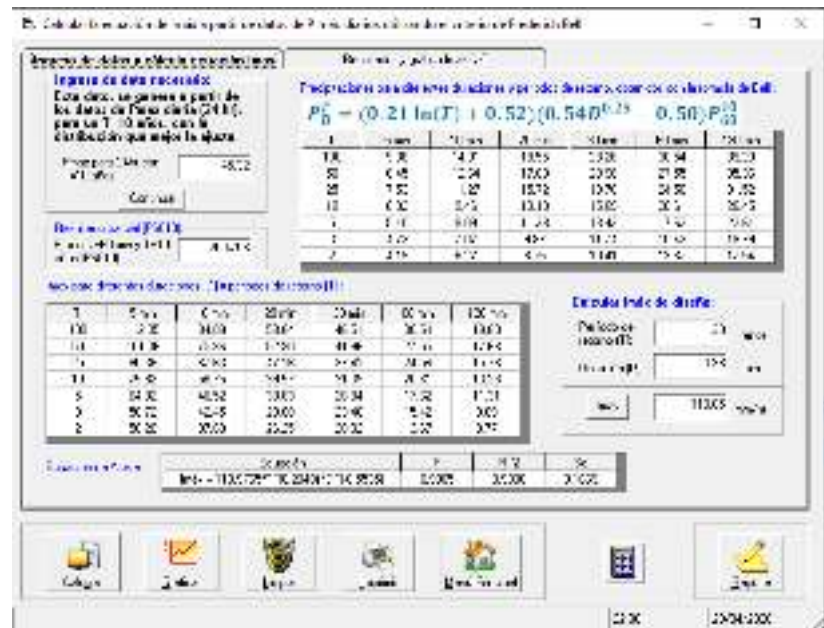
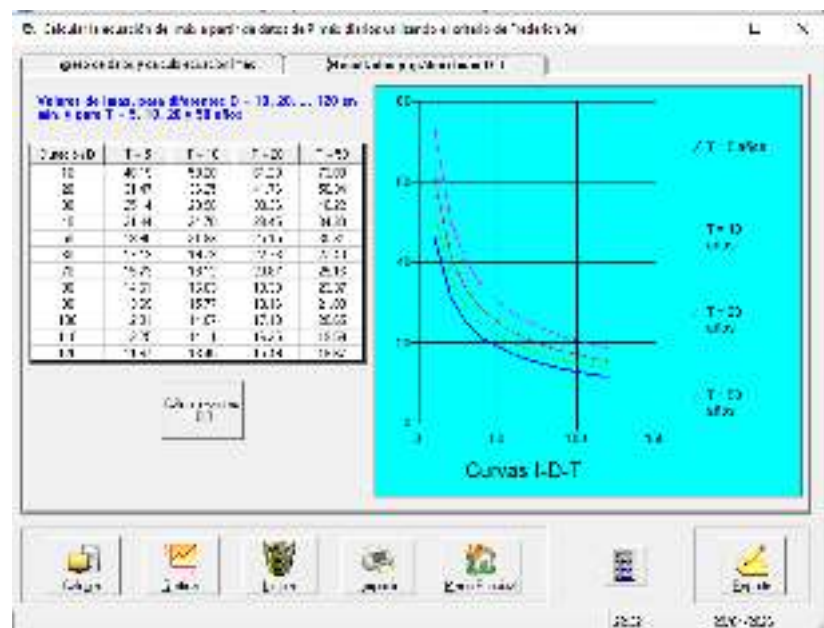


Figura 43

Curva I-D-T



B. DIMENSIONES DE LA VÍA Y EXTENSIÓN DEL TRAMO DE DRENAJE

La vía evaluada presenta un ancho total de calzada de 6,00m, conformado por dos carriles de 3,00m cada uno, y una longitud de drenaje de 100m.

Para el diseño hidráulico se consideró un subdren longitudinal ubicado en uno de los bordes de la calzada, adoptándose un ancho de semibanca de 3,00m para el cálculo del área de aporte.

C. Factor de infiltración y Factor de retención de la base

La Tabla 12 presenta los factores de infiltración (F_i) recomendados para distintos tipos de superficie de rodadura, mientras que la Tabla 13 muestra los valores sugeridos para el factor de retención de la base (F_r), de acuerdo con las recomendaciones del manual de referencia.

Tabla 12

Valores para F_i

Tipo de Carpeta	F_i
Carpetas asfálticas muy bien conservadas	0.3
Carpetas asfálticas normalmente conservadas	0.4
Carpetas asfálticas pobremente conservadas	0.5
Carpetas de concreto de cemento Portland	0.67
Campos deportivos o terreno natural	0.7-0.8

Fuente: Adaptado de “Diseño de Infraestructura con geosintéticos”

Tabla 13

Valores para F_r

Tipo de Base	F_r
Bases bien gradadas, en servicio 5 años o más	1/4
Bases bien gradadas, en servicio menos de 5 años	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio 5 años o más	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio menos de 5 años	1/2

Fuente: Adaptado de “Diseño de Infraestructura con geosintéticos”

4.1.4.1.2. CAUDAL DE DISEÑO SITUACIÓN ACTUAL.

Para estimar el caudal de diseño correspondiente a la

condición actual del proyecto se emplearon los siguientes parámetros de entrada: una precipitación máxima horaria de 110,85mm/h asociada a un período de retorno anual, un ancho de semibanca de 3,00m, una longitud de drenaje de 100m, un factor de infiltración (F_i) igual a 0,67 para pavimentos de concreto y un factor de retención de la base (F_r) de 0,25 correspondiente a materiales granulares con más de cinco años de servicio.

Con estos parámetros, el software Geosoft permitió calcular un caudal de diseño de 1,55l/s, considerando únicamente el aporte generado por infiltración y descartando la contribución del nivel freático, de acuerdo con las condiciones identificadas en el área de estudio (Figura 44).

Figura 44

Caudal de diseño actual - Geosoft



4.1.4.1.3. CAUDAL DE DISEÑO PROPUESTO. Para el diseño del sistema propuesto se mantuvieron los mismos parámetros geométricos e hidrológicos considerados en la condición actual, incluyendo una precipitación máxima horaria de 110,85mm/h, un ancho de semibanca de 3,00m y una longitud de drenaje de 100m. Como criterio de diseño, se adoptó un factor de infiltración (F_i) de 0,80, correspondiente a superficies con comportamiento similar al de campos deportivos o terreno natural. Asimismo, se conservó un factor de retención de la base (F_r) igual a 0,25 para bases bien

gradadas con más de cinco años de servicio.

Con los parámetros definidos y empleando el software Geosoft, se obtuvo un caudal de diseño de 1,85l/s, considerando únicamente el aporte por infiltración y descartando la influencia del abatimiento del nivel freático.

Al comparar este resultado con la condición actual, cuyo caudal de diseño fue de 1,55l/s, se observa un incremento de 0,30l/s en la capacidad de infiltración del sistema, equivalente a un aumento aproximado del 19,4%, lo que evidencia una mejora en el desempeño hidráulico de la propuesta.

Figura 45

Caudal de diseño propuesto - Geosoft



A. PARÁMETROS DE DISEÑO

La Figura 46 resume los parámetros hidráulicos y geométricos utilizados para el diseño del sistema de subdrenaje, incluyendo las dimensiones del geodrén, propiedades del material drenante y factores de diseño considerados en el modelamiento.

Figura 46

Parámetros de diseño-Geosoft

The screenshot shows the 'Parámetros de diseño' (Design Parameters) window in Geosoft. The window is divided into several sections:

- Características del tubo:** Includes fields for 'Diámetro (mm)' (200), 'Longitud (m)' (100), and 'Espesor (mm)' (10).
- Material del drenaje:** Includes fields for 'Material' (Gravel), 'Porosidad' (0.4), and 'Permeabilidad' (10).
- Criterio de retención:** Includes a checkbox for 'Retención de sólidos' (checked) and a checkbox for 'Retención de agua' (unchecked).
- Verificación de la curva gradiente:** Includes a checkbox for 'Verificación' (checked) and a checkbox for 'Curva' (unchecked).
- Factores de reducción:** Includes a table with columns for 'Factor', 'Valor', and 'Unidad'. The table contains several rows of data, including 'Factor de reducción' and 'Valor'.

B. RESULTADOS DEL SISTEMA DE SUBDRENAJE PROPUESTO

La Figura 47 presenta los resultados obtenidos del diseño hidráulico del sistema de subdrenaje mediante el software Geosoft:

- Capacidad hidráulica de la tubería de drenaje de 26,5l/s, verificándose que el diámetro de 200mm es adecuado.
- Cumplimiento del criterio de retención, confirmándose que el medio filtrante es apropiado.
- Verificación del criterio de permeabilidad, obteniéndose un valor satisfactorio.
- Evaluación de la permitividad del sistema, la cual resulta adecuada.
- Análisis de la conducción en el plano del geocompuesto, determinándose que el geocompuesto seleccionado es apropiado para el diseño.

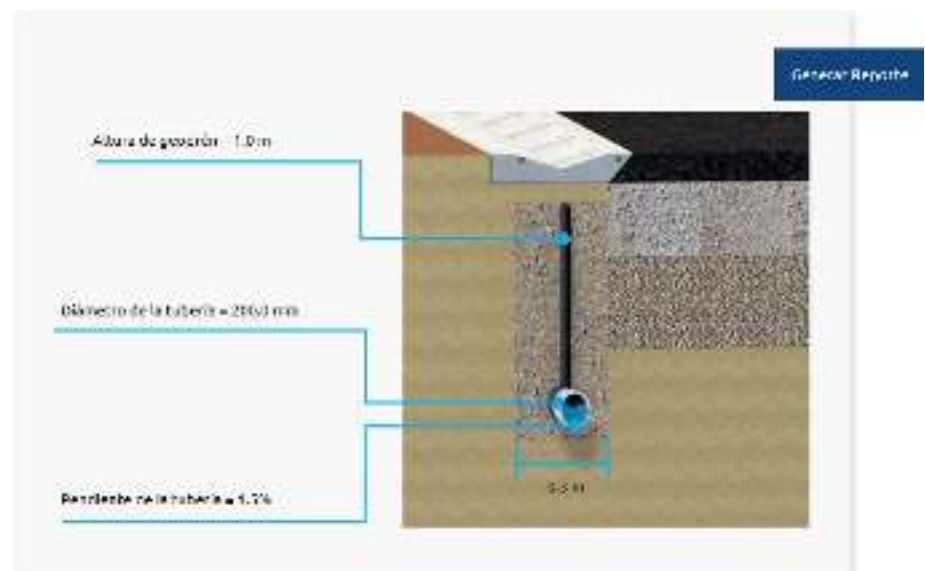
Figura 47

Resultados de diseño propuesto

El reporte generado por Geosoft confirmó la viabilidad hidráulica del diseño, definiéndose una tubería de 200mm de diámetro, pendiente longitudinal de 1,5% y una altura de geodrén de 1,0m (Figura 48).

Figura 48

Reporte del diseño propuesto



Como producto final del diseño se elaboró el plano constructivo del pavimento permeable con sistema de subdrenaje mediante geodrén vial (Figura 49).

Figura 49

Plano sección pavimento drenante y sistema de geodrén vial



Asimismo, se desarrolló un modelo isométrico del sistema propuesto para representar la configuración final del pavimento permeable y el sistema de drenaje (Figura 50).

Figura 50

Modelamiento



C. PRESUPUESTO REFERENCIAL

El análisis económico de la propuesta permitió establecer un costo referencial de S/ 6 137,50 por metro lineal, el cual incorpora las partidas correspondientes a instalaciones provisionales, trabajos preliminares, movimiento de tierras, concreto simple, concreto armado y obras de drenaje pluvial. El presupuesto detallado se incluye en el Anexo 12.

Para el tramo evaluado del Jr. Huánuco, comprendido entre las progresivas km 0+310 y km 0+410 (100m), se

determinó una inversión aproximada de S/ 613 750,00 para la ejecución del sistema de subdrenaje propuesto.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

La información obtenida a partir de los análisis estructurales, hidráulicos y experimentales permitió evaluar el cumplimiento de los objetivos de investigación y verificar las hipótesis planteadas respecto al comportamiento del pavimento permeable y del sistema de subdrenaje diseñado.

Respecto a la hipótesis general, los resultados experimentales y el análisis hidráulico evidencian que la solución propuesta satisface los requerimientos estructurales e hidráulicos establecidos para el estudio. La mezcla de concreto permeable alcanzó una resistencia promedio a compresión de 397,36kg/cm², una resistencia promedio a flexión de 53,01kg/cm² a los 28 días y una permeabilidad de 0,2122cm/s. Asimismo, el sistema de subdrenaje desarrolló una capacidad hidráulica de 26,5l/s frente a un caudal de diseño de 1,85l/s, garantizando un adecuado margen de seguridad hidráulica. Estos resultados permiten aceptar la hipótesis general.

La primera hipótesis específica quedó verificada al comprobar que el análisis del tránsito (59 530 ESAL), conjuntamente con la clasificación de la subrasante como suelo CL, permitió definir un espesor estructural de losa de 10cm para un período de diseño de 20 años, cumpliendo las condiciones de servicio previstas.

La segunda hipótesis específica fue aceptada debido a que la mezcla diseñada con un contenido de vacíos del 4% alcanzó propiedades mecánicas e hidráulicas compatibles con los criterios de diseño. La resistencia promedio a compresión evolucionó desde 380,15kg/cm² (7 días) hasta 397,3kg/cm² (28 días), mientras que la resistencia a flexión aumentó de 26,50 a 53,01kg/cm² en el mismo periodo. El coeficiente de permeabilidad obtenido fue de 0,2122cm/s, confirmando el equilibrio entre capacidad resistente y funcionalidad hidráulica del concreto permeable.

La tercera hipótesis específica quedó demostrada mediante el análisis hidráulico del sistema de subdrenaje. El caudal de diseño obtenido fue de 1,85l/s, superior en 19,4% respecto a la condición inicial (1,55l/s). El

modelamiento verificó además que una tubería de 200mm, una pendiente longitudinal de 1,5% y un geodrén de 1,0m proporcionan una capacidad hidráulica de 26,5l/s, suficiente para evacuar el agua infiltrada de manera segura.

En síntesis, la evidencia experimental, estructural e hidráulica confirma el cumplimiento de los objetivos de investigación y la aceptación de las hipótesis formuladas, demostrando la viabilidad técnica de incorporar un pavimento permeable complementado con un sistema de subdrenaje para zonas urbanas sometidas a precipitaciones intensas.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Los resultados obtenidos durante la investigación evidencian que la incorporación de un sistema de subdrenaje en un pavimento permeable constituye una solución técnicamente viable para mejorar el manejo de las aguas pluviales en zonas urbanas sometidas a precipitaciones intensas. La propuesta desarrollada no solo satisfizo los criterios estructurales establecidos para pavimentos rígidos, sino que también demostró un comportamiento hidráulico adecuado, validando la hipótesis general planteada.

En cuanto al comportamiento mecánico del concreto permeable, la mezcla diseñada alcanzó una resistencia promedio a compresión de $397,36\text{kg/cm}^2$, mientras que la resistencia a flexión fue de $53,01\text{kg/cm}^2$ a los 28 días de curado. Estos resultados superan los reportados por Mayo Advíncula (2023), quien obtuvo una resistencia promedio de 185kg/cm^2 , y por Cavero Castillo y Estrada Durand (2022), quienes informaron una resistencia máxima de $194,67\text{kg/cm}^2$. Las diferencias observadas pueden atribuirse principalmente al procedimiento de diseño adoptado en esta investigación, especialmente al control del contenido de vacíos, la selección granulométrica de los agregados y la dosificación de los materiales, factores que permitieron obtener un mejor equilibrio entre capacidad estructural y permeabilidad.

Desde la perspectiva de la ingeniería de pavimentos, los resultados demuestran que es posible desarrollar concretos permeables con elevadas propiedades mecánicas cuando se mantiene un equilibrio adecuado entre el contenido de vacíos y la matriz cementante. Los ensayos de laboratorio confirmaron experimentalmente esta condición, evidenciando que la mezcla diseñada satisface las exigencias estructurales previstas para las cargas de diseño.

Respecto al comportamiento hidráulico, el coeficiente de permeabilidad obtenido ($0,2122\text{cm/s}$) garantiza el paso continuo del agua a través del pavimento. Aunque este valor resulta inferior al reportado en algunos estudios

nacionales, dicha diferencia no representa una limitación técnica, sino que responde al criterio de diseño adoptado, orientado a incrementar la resistencia mecánica sin comprometer la funcionalidad hidráulica del sistema.

Los resultados obtenidos guardan concordancia con lo reportado por Cacciuttolo et al. (2023), quienes señalan que el desempeño de los pavimentos permeables depende del equilibrio entre la infiltración y la estabilidad estructural. En la presente investigación dicho equilibrio fue corroborado mediante ensayos mecánicos e hidráulicos, demostrando que la solución propuesta satisface simultáneamente ambos requerimientos.

En relación con el diseño estructural del pavimento, el tránsito acumulado de 59 530 ESAL permitió determinar un espesor de losa de 10cm para un período de diseño de 20 años. Este resultado coincide con lo reportado por Guerra Chayña y Guerra Ramos (2024); sin embargo, la presente investigación incorpora adicionalmente un sistema de subdrenaje diseñado específicamente para condiciones de alta precipitación, lo que representa un aporte adicional respecto a investigaciones enfocadas únicamente en el pavimento permeable.

Uno de los principales aportes de la investigación corresponde al comportamiento hidráulico del sistema de subdrenaje diseñado. El modelamiento hidráulico determinó una capacidad de conducción de 26,5l/s, frente a una demanda de 1,85l/s, lo que representa una capacidad aproximadamente catorce veces superior al caudal requerido y garantiza una evacuación eficiente del agua infiltrada durante eventos de lluvia intensa.

Asimismo, el incremento del 19,4% en la capacidad de infiltración respecto a la condición inicial evidencia que la incorporación del sistema de subdrenaje optimiza el funcionamiento hidráulico del pavimento. Este comportamiento se explica por la acción conjunta de la capa permeable, el material granular drenante y el geodrén longitudinal, elementos que favorecen la captación, conducción y evacuación continua del agua infiltrada, reduciendo el riesgo de acumulaciones internas que puedan afectar el desempeño del pavimento.

Los resultados obtenidos también muestran concordancia con los hallazgos de Rojas Huamán y Salazar Toribio (2021), quienes reportaron

mejoras significativas en la evacuación del agua mediante sistemas de subdrenaje. No obstante, la presente investigación amplía dichos resultados al integrar el drenaje subterráneo con un pavimento permeable de alta resistencia, proporcionando una solución que responde simultáneamente a los requerimientos estructurales e hidráulicos de la infraestructura vial.

En términos generales, los ensayos de laboratorio y el modelamiento hidráulico permitieron validar técnica y experimentalmente la propuesta desarrollada. La consistencia de los resultados obtenidos confirma que el sistema diseñado posee las condiciones necesarias para gestionar eficientemente las aguas pluviales en zonas de alta precipitación, constituyendo una alternativa técnica viable y replicable para proyectos viales con características geotécnicas y climáticas similares.

CONCLUSIONES

- Se concluye que el diseño del sistema de subdrenaje influye significativamente en el desempeño del pavimento permeable, ya que permite evacuar eficientemente el agua infiltrada. Esto se evidencia en la capacidad hidráulica del sistema de 26,5l/s, valor ampliamente superior al caudal requerido de 1,85l/s, garantizando un adecuado funcionamiento hidráulico y evitando la saturación de la estructura.
- El diseño estructural del pavimento permeable resulta adecuado para las condiciones de tránsito analizadas (59 530 ESAL) y las características de la subrasante tipo CL, determinándose un espesor de losa de 10cm, el cual cumple con los criterios de resistencia, serviciabilidad y vida útil proyectada.
- La mezcla de concreto permeable con un contenido de vacíos del 4% presentó un comportamiento estructural e hidráulico satisfactorio, alcanzando una resistencia promedio a compresión de 397,36kg/cm², una resistencia promedio a flexión de 53,01kg/cm² y una permeabilidad de 0,2122cm/s. Estos resultados evidencian que es posible lograr un adecuado equilibrio entre capacidad resistente y comportamiento hidráulico.
- El sistema propuesto mejora el comportamiento hidráulico respecto a la condición actual, incrementando el caudal de infiltración de 1,55l/s a 1,85l/s, lo que representa una mejora del 19,4%, contribuyendo a la reducción de escorrentía superficial y acumulación de agua en la vía.
- La integración de un pavimento permeable con un sistema de subdrenaje constituye una alternativa técnicamente viable para vías ubicadas en zonas de alta precipitación, al combinar criterios estructurales e hidráulicos que contribuyen a optimizar el desempeño del pavimento y mejorar la gestión del agua infiltrada.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar pavimentos rígidos permeables resistentes a la obstrucción (CRP) en vías urbanas con problemas recurrentes de acumulación de agua pluvial, especialmente en zonas de alta precipitación, debido a que esta tecnología ofrece un adecuado equilibrio entre capacidad estructural y comportamiento hidráulico, conforme a los resultados obtenidos en la investigación.
- Para futuros proyectos, se recomienda realizar estudios detallados del tránsito vehicular (W18) y de la caracterización geotécnica de la subrasante, con el propósito de garantizar que el dimensionamiento estructural mediante la metodología AASHTO 93 responda a las condiciones reales de carga y soporte del terreno.
- Se sugiere mantener un control riguroso en la dosificación y ejecución del concreto permeable, especialmente en el porcentaje de vacíos y la correcta incorporación de los canales de poro recto, ya que estos influyen directamente en el equilibrio entre resistencia mecánica y permeabilidad.
- Se recomienda ejecutar ensayos de permeabilidad periódicos durante la vida útil del pavimento, con el propósito de evaluar posibles procesos de colmatación y establecer programas de mantenimiento preventivo que aseguren la funcionalidad hidráulica del sistema.
- Para el diseño del subdrenaje, se recomienda modelar hidráulicamente el sistema considerando escenarios críticos de precipitación, asegurando que la capacidad de la tubería y del geocompuesto superen el caudal de diseño con un margen de seguridad adecuado, tal como se realizó en esta investigación.
- Se sugiere evaluar la implementación del sistema en tramos piloto adicionales, con monitoreo estructural e hidráulico a mediano plazo, a fin de validar su desempeño bajo condiciones reales de operación y tránsito continuo.
- Se recomienda que futuras investigaciones amplíen el estudio del comportamiento del pavimento permeable resistente a la obstrucción durante su vida útil, incorporando variables como la durabilidad, la

resistencia frente a ciclos de humedad y secado, los costos del ciclo de vida, los requerimientos de mantenimiento y el desempeño bajo cargas repetitivas.

- Desde el enfoque ambiental y de sostenibilidad, se recomienda promover este tipo de soluciones en planes de infraestructura urbana, ya que contribuyen a la gestión sostenible del agua pluvial, reducen la escorrentía superficial y favorecen la recarga controlada del sistema de drenaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A., & Salinas, P. (2019). *Evaluación de la vida útil del pavimento flexible de la vía Conococha – Yanacancha ante el incremento de los ejes equivalentes no proyectados, utilizando la metodología ASSHTO 93*. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/625384?show=full>
- Alba Pellejo, S. M. (2018). *Pavimento Rígido con Sistema de Drenaje Pluvial, Caserío Lampanín, Distrito de Cáceres del Perú, Provincia del Santa, Región de Ancash* (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo
- Alcantara. H. (2014). *Capítulo 1 AASHTO*. Wordpress. [Imagen]. Recuperado el 4 de junio de 2024, de <https://hugoalcantara.files.wordpress.com/2014/02/disec3b1o-aashto-93.pdf>
- Aldana, R. (2021). *Patologías en pavimentos de hormigón*. Aulas Carreteras. Recuperado el 5 de enero del 2024, de <https://www.aulacarreteras.com/patologias-en-pavimentos-de-hormigon/>
- American Concrete Institute Committee 522 (2010). 522R-10: *Report on Pervious Concrete (ACI 522 R-10)*. <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/51663557>
- Amorós, C., & Bendezú, J. (2019). *Diseño de mezcla de concreto permeable para la construcción de la superficie de rodadura de un pavimento de resistencia de 210kg/cm²* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/626313>
- Argos 360. (2019). *¿QUÉ ES EL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN EL CONCRETO?* [Imagen]. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>
- Azpilicueta, M. (2015). *Análisis comparativos de la resistencia a la compresión del concreto estimada a partir de la utilización del método de madurez*.

- [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Universidad Nacional de Ingeniería. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4406>
- Büyüköztürk, O. & Lau, D. (2007). *High Performance Concrete: Fundamentals and Application* [Imagen]. <https://www.semanticscholar.org/paper/High-Performance-Concrete%3A-Fundamentals-and-B>
- Cacciuttolo, O., González, M., & Barría, P. (2023). *Evaluation of the use of permeable interlocking concrete pavement in Chile: Urban infrastructure solution for adaptation and mitigation against climate change*. *Sustainability*, 15(2), 1234. <https://doi.org/10.3390/su15021234>
- Cavero Castillo, R. A., & Estrada Durand, F. (2022). *Diseño de Pavimento Rígido empleando Concreto Permeable como mejora del Drenaje Vial, jirón 28 de Julio, Yanahuanca – Pasco* (Tesis de pregrado). Universidad Continental
- Ciencia ergo-sum (2017). *Pavimentos permeables* [Imagen]. <https://www.redalyc.org/journal/104/10450491009/html/>
- Concreto único S.A (2017). *Concreto permeable* [Imagen]. <https://www.concretounico.com.pa/productos/concreto-permeable>
- Decreto supremo 017-2022-PCM. (2022). *Decreto Supremo que declara el Estado de Emergencia en algunos distritos de varias provincias del departamento de Cajamarca, por impacto de daños ante la ocurrencia de intensas precipitaciones pluviales. Presidencia de la República*. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-declara-el-estado-de-emergencia-en-algun-decreto-supremo-n-017-2022-pcm-2045398-1/>
- Ecocret (2021). *Concreto permeable* [Imagen]. <https://www.ecocret.com.pe/tipos-de-concreto/concreto-permeable>
- En concreto 360 (2020). *Ensayo de compresión en probeta de concreto* [Imagen]. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/ensayos-al-concreto/>
- Fernandez, M., Hernandez, C., Martin, M., & Domenech, I. (2021). *Comparison of permeable pavements effluent under Atlantic and*

- Mediterranean rainfall regimes: A mid-term laboratory experience. Building and Environment*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108332>
- Food and Agriculture Organization, (s.f.). *Coeficiente de permeabilidad*. Recuperado el 12 de enero de 2024, de https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm
- Guerra Chayña, H. M., & Guerra Ramos, W. (2024). *Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible*. *Revista de Ingeniería Civil y Ambiental del Perú*, 18(1), 45–60. <https://doi.org/10.35622/ricap.2024.18.1.04>
- Guerra, L. P. (2019). *Metodología para la reutilización de aguas lluvias y grises en edificaciones*. [Tesis de Maestría, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Académico UNC. <https://hdl.handle.net/10983/23395>
- Huamán Paucarchuco, R., & Rivera Baltazar, D. (2023). *Evaluación del deterioro prematuro del pavimento flexible por deficiente drenaje subterráneo en la avenida Daniel Alcides Carrión, distrito de Yanacancha – Pasco* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada de Huancayo Franklin Roosevelt]
- Instituto de la Construcción y Gerencia. (2016). *Gestión de la infraestructura vial*. Editorial ICG
- Kia, A., Delens, J.M., Wong, H. S., & Cheeseman, C. R. (2021). *Structural and hydrological design of permeable concrete pavements*. *Case Studies in Construction Materials*, 15, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00564>
- Mamani, J., & Huayna, H. (2021). *Concreto permeable como alternativa de drenaje de las aguas pluviales en pavimentos rígidos en la ciudad universitaria de la UNA – PUNO*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Académico UNA. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16895>

- Mayo Advíncula, F. J. (2023). *Pavimento drenante para evacuar aguas pluviales en las calles de la Ciudad de Huánuco* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Hermilio Valdizán
- Meza Mozo, J. A., & Ríos Chomba, D. J. (2024). *Diseño estructural del pavimento rígido con drenaje pluvial de las vías principales del sector Parque Industrial, La Esperanza, Trujillo* (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte
- Ministerio de Economía y Finanzas. (s.f.). *Aspectos de la demanda vehicular*. Recuperado el 29 de marzo de 2024, de <https://ofi5.mef.gob.pe/invierte/general/downloadArchivo?idArchivo=a3db355c-154c46a6-aae0-dddc141015b2.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2011). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Recuperado el 29 de marzo de 2024, de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normaslegales/4443017-20-2011-mtc-14>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos* [Imagen]. Recuperado el 29 de marzo de 2024, de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf
- Municipalidad de Cajamarca. (2022, 22 de marzo). *Nuevas cuadrillas de trabajadores municipales se suman a mejoramiento de vías en Cajamarca*. Recuperado el 29 de marzo de 2024, de <https://www.municaj.gob.pe/noticia/nuevas-cuadrillas-de-trabajadores-municipales-sesuman-mejoramiento-de-vias-en-cajamarca>
- Nailing, G., Hui, L., Bing, Y., Kaimin, F., Bo, Y., & Yaotinz, Z. (2021). *Mechanical responses analysis and modulus inverse calculation of permeable asphalt pavement under Dynamic load*. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 11 (2), 243-254. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2021.03.007>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2022). *Subsurface drainage practices in pavement design, construction, and*

- maintenance* (NCHRP Synthesis 579). The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/26666>
- Navarro, M. & Leon, J. (2019). *Estudio y diseño de Pavimentos Permeables para Estacionamientos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Académico UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/item/f666f7b9-e60e-4c4d-8354-e56435ea1914>
- Neyra, L. (2021). *Modelamiento Hidráulico del Río Amojú para la Reducción de Vulnerabilidad en el Sector San Camilo, Jaén – Cajamarca*. Neyra_GLM-SD.pdf (ucv.edu.pe)
- Osorio, J. (s.f.). *¿Qué es el módulo de elasticidad en el concreto?*. 360 en concreto. Recuperado el 4 de junio de 2024, de <https://360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-delconcreto/#:~:text=El%20m%C3%B3dulo%20de%20elasticidad%20de,de%20mascar%2C%20pero%20se%20estira>
- Quan, L., Sufang, L., Gaohui, H., Tao, Y., & Markus, O. (2020). *Infiltration Capacity and Structural Analysis of Permeable Pavements for Sustainable Urban: A Full-scale Case Study*. *Journal of Cleaner Production*, 288, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125111>
- Ravello, M. & Baldeón, A. (2020). *Propuesta de concretos permeables para la captación de agua de lluvia en pavimentos de estacionamientos de hospitales en Arequipa*. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/652418>
- ResearchGate (2019, 15 de noviembre). *Configuración para ensayo de resistencia a flexión* [Imagen]. https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Configuracion-para-ensayo-de-resistencia-a-flexion_fig1_337223871
- Rojas Huamán, J., & Salazar Toribio, M. (2021). *Evaluación del desempeño hidráulico de sistemas de drenaje subterráneo en vías urbanas con alta precipitación en el distrito de Yanacancha – Pasco* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]

- Rojas, W. (2024). *Impacto del cambio climático sobre el recurso hídrico en la cuenca amaju provincia de jaéncajamarca, periodo 2030-2060*. [Tesis para licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio UNC.
<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/6715/TE SIS2024%20UNC%20WILTER%20ROJAS%2043961821%20V1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Servicio Nacional de Meteorología e hidrología (2024). Datos metereologicos. Recuperado el 12 de enero de 2024, de <https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2022). *Informe Técnico: Análisis del periodo de lluvias 2021-2022 a nivel nacional*. Repositorio Senamhi. Recuperado el 12 de enero de 2024, de <https://hdl.handle.net/20.500.12542/2390>
- Tejas, J., & Urmil, D. (2021). *Construction of pervious concrete pavement stretch, Ahmedabad, india*. Case Studies in Construction Materials, 2214-5095. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00622>
- Wavin Geosoft. (s.f.). *Diseño de Infraestructura con geosintéticos*. Décima edición
<https://www.geosoftpavco.com/libro/DisenoDeInfraestructuraConGeosinteticosDecimaEdicion.pdf>
- Weather Spark (2021). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Jaén - Perú*. Recuperado el 3 de abril de 2024, de <https://es.weatherspark.com/y/19992/Clima-promedio-enJa%C3%A9n-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Yang, B., Li, H., Li, H., Ma, G., &, Zhuang, L. (2022). *Experimental investigation on the mechanical and hydraulic proceties of urease stabilized fine sand for fully permeable pavement*. International Journal of Transportation Science and Technology, 11 (1), 60-71.
<https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2020.12.002>
- Zapién, J. (s.f). *Capas de un pavimento rígido* [Imagen]. https://issuu.com/laser_laboratorio/docs/capas_de_un_pavimento_rigido.docx/s/2585538

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

García Cabrera, J. (2026). *Diseño de un sistema de subdrenaje para pavimento permeable en condiciones de alta precipitación en el distrito de Yanacancha, Pasco* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH. <http://...>

ANEXOS:

ANEXO 1

“Diseño de un sistema de subdrenaje para pavimento permeable en condiciones de alta precipitación en el distrito de Yanacancha, Pasco”

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Metodología
¿De qué manera el diseño de un sistema de pavimento rígido permeable complementado con un sistema de subdrenaje mejora la gestión de aguas pluviales en el jirón Huánuco desde la cuadra 1 hasta la 2, en el AA. HH. Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito de Yanacancha, provincia de Pasco, región Pasco?	Diseñar un sistema de pavimento rígido permeable complementado con un sistema de subdrenaje, para mejorar la gestión de aguas pluviales en el jirón Huánuco desde la cuadra 1 hasta la 2, en el AA. HH. Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito de Yanacancha, provincia de Pasco, región Pasco.	El diseño de un sistema de pavimento rígido permeable complementado con un sistema de subdrenaje mejora significativamente la gestión de aguas pluviales en el jirón Huánuco desde la cuadra 1 hasta la 2, en el AA. HH. Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito de Yanacancha, provincia de Pasco, región Pasco.	Variable Independiente: Diseño del sistema de subdrenaje Variable Dependiente: Desempeño del pavimento permeable	Tipo: Aplicada Enfoque: Cuantitativo Nivel: Explicativo - propositivo Población: La población de estudio está constituida las calles pavimentadas del AA. HH. Víctor Raúl Haya de la Torre, ubicado
•¿Cómo determinar el diseño estructural del pavimento permeable en función del tránsito vehicular y las	•Determinar el diseño estructural del pavimento permeable, mediante el análisis del tránsito vehicular y las condiciones geotécnicas de la subrasante.	•El adecuado diseño estructural del pavimento permeable, en función del tránsito vehicular y las condiciones de la subrasante, permite garantizar		

condiciones geotécnicas de la subrasante?	•Diseñar la mezcla de concreto permeable y evaluar sus propiedades mecánicas e hidráulicas, a través de ensayos de resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad. •Diseñar el sistema de subdrenaje vial, mediante el análisis del caudal de infiltración y el modelamiento hidráulico, garantizando la adecuada evacuación del agua infiltrada.	su desempeño estructural en vías urbanas. •El diseño de la mezcla de concreto permeable con propiedades mecánicas e hidráulicas adecuadas permite asegurar su funcionalidad estructural e infiltración del agua. •El diseño de un sistema de subdrenaje adecuado permite la evacuación eficiente del agua infiltrada, mejorando el desempeño hidráulico del pavimento permeable.	en el distrito de Yanacancha, provincia y departamento de Pasco. Muestra: La muestra está conformada por un tramo de 100 metros lineales correspondiente a la cuadra 1 y 2 del Jr. Huánuco.
---	--	---	---

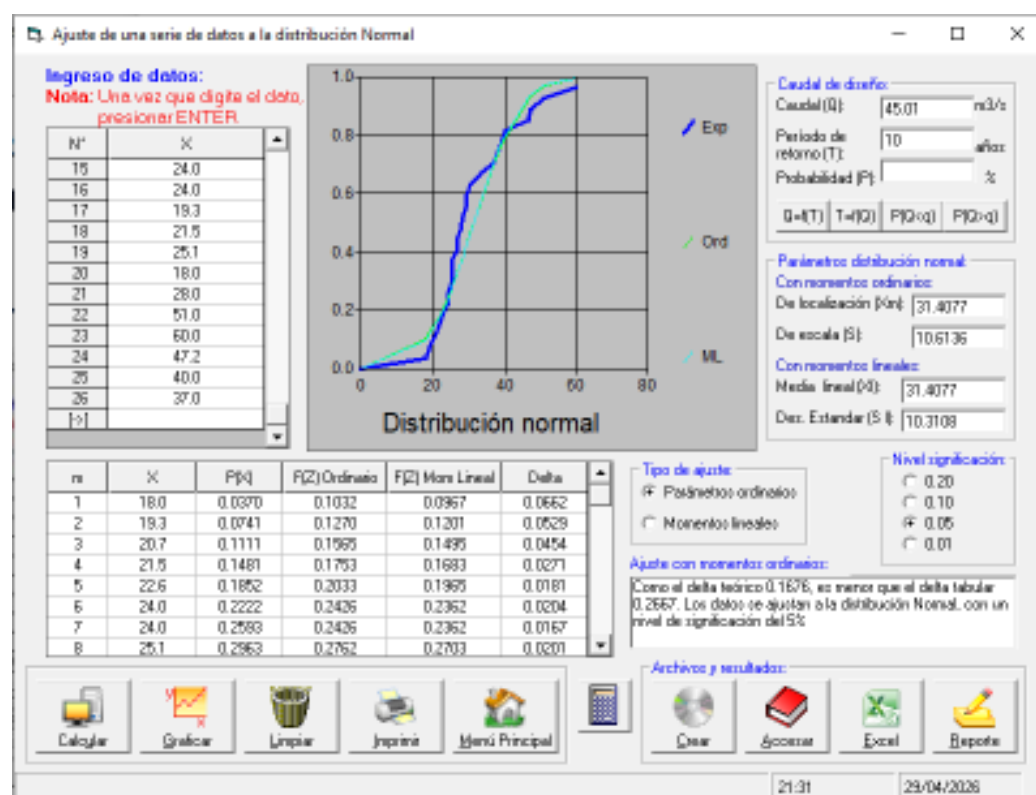
Ubicación



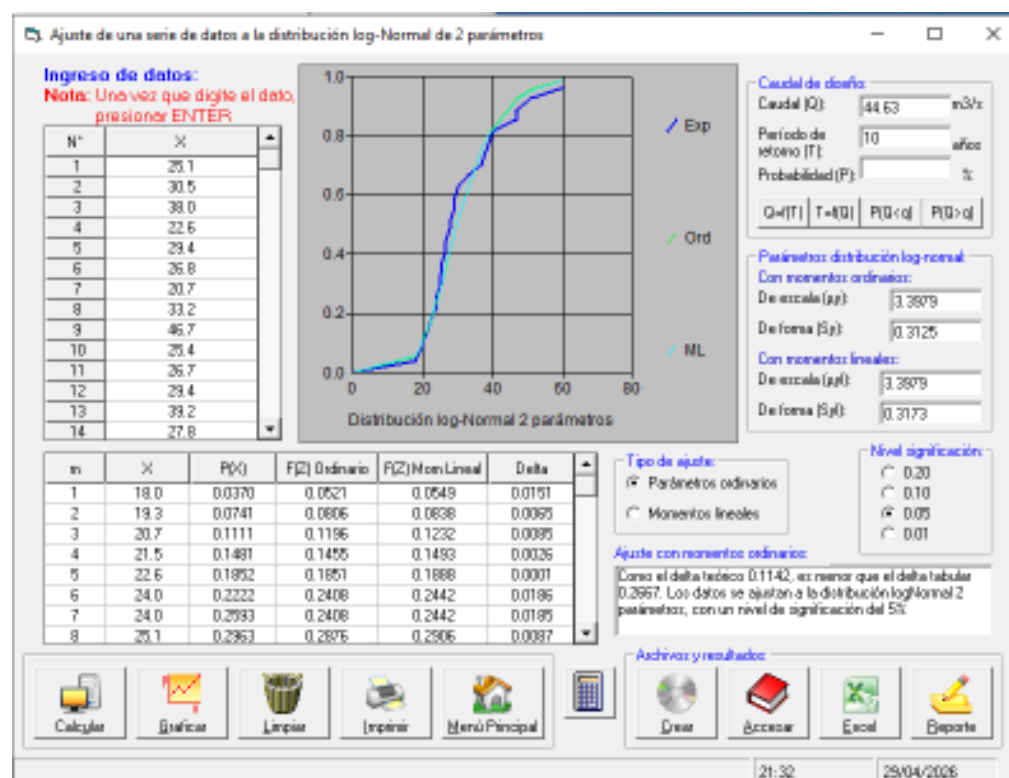
ANEXO 3

Resultados De Distribución Con El Software Hidroesta

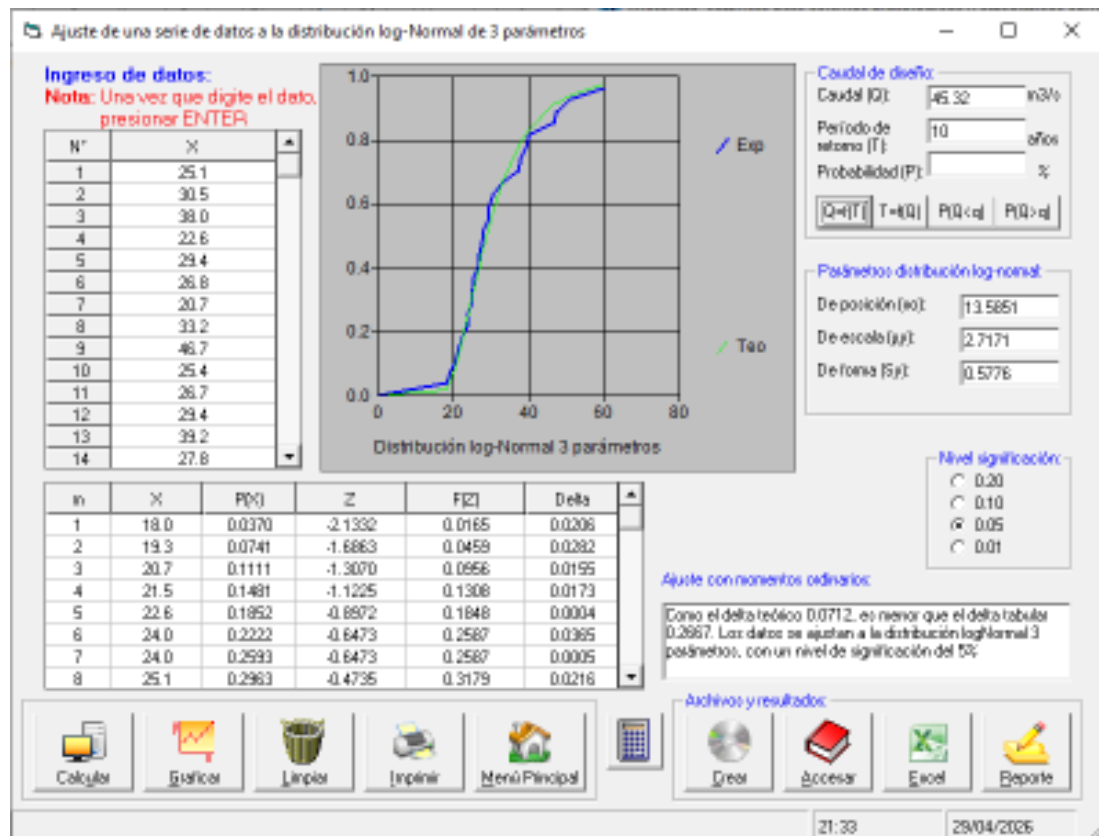
1. Distribución Normal



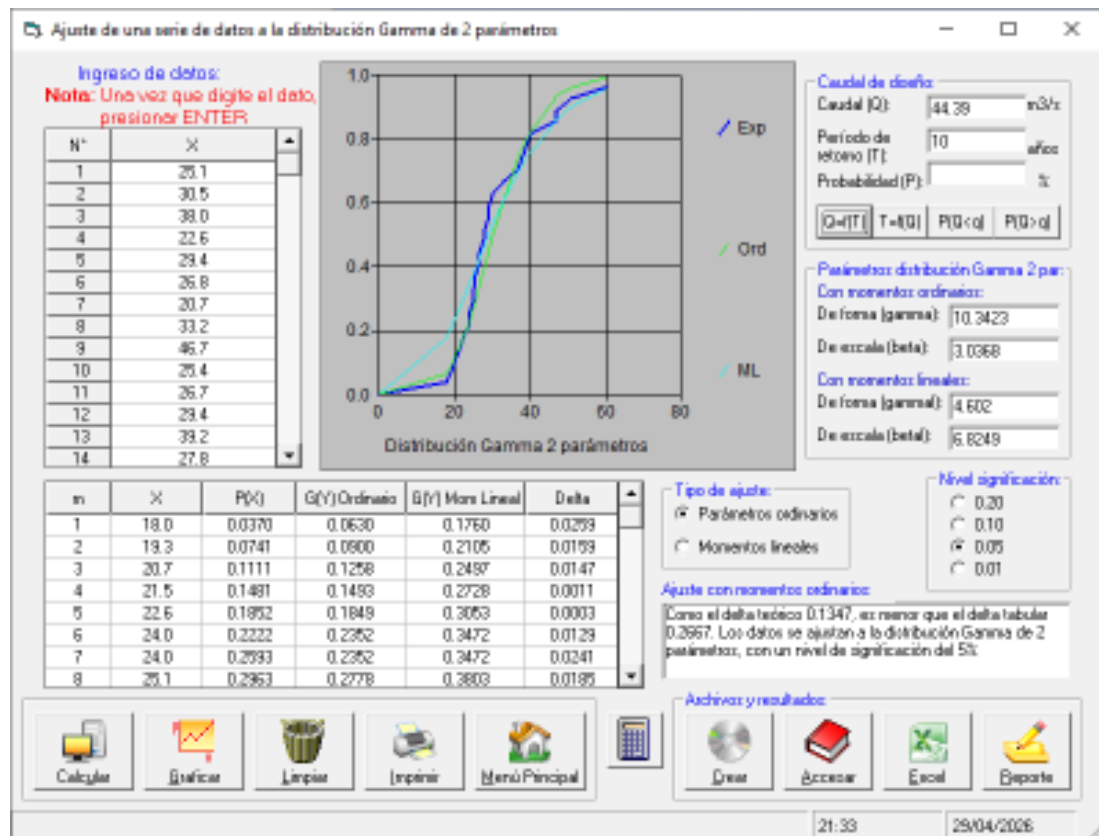
2. Distribución LogNormal 2



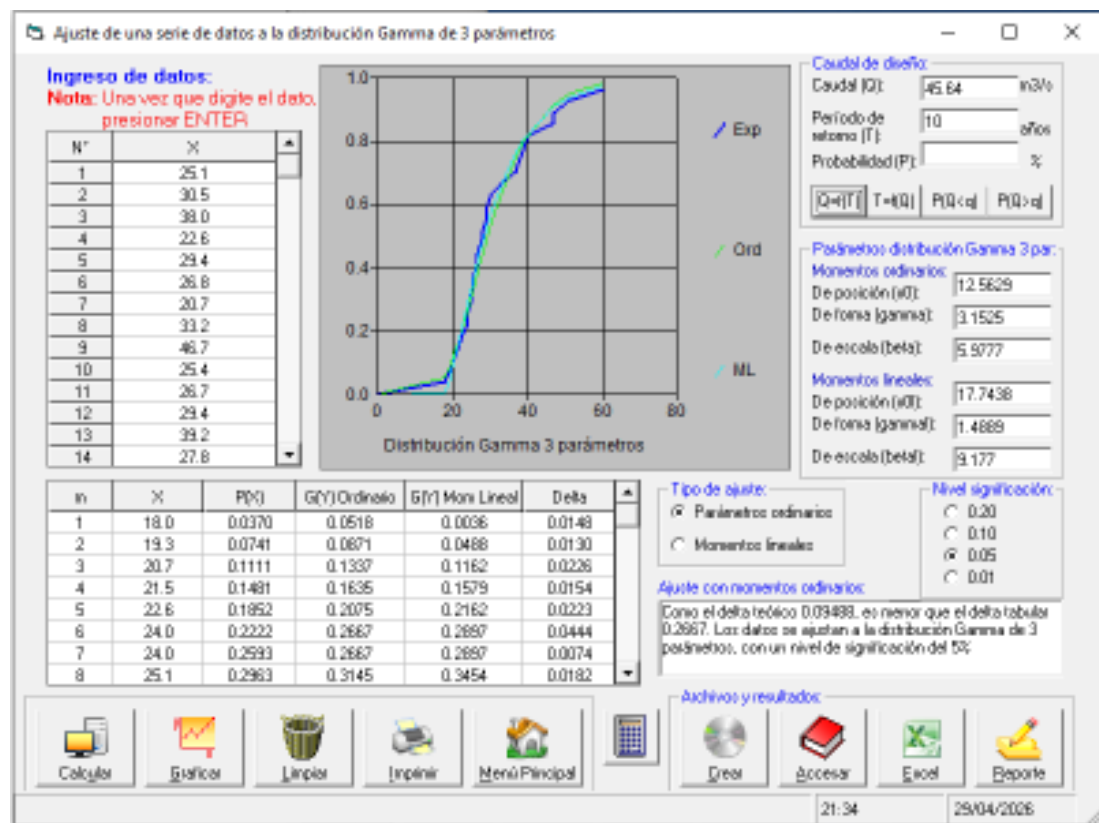
3. Distribución LogNormal 3



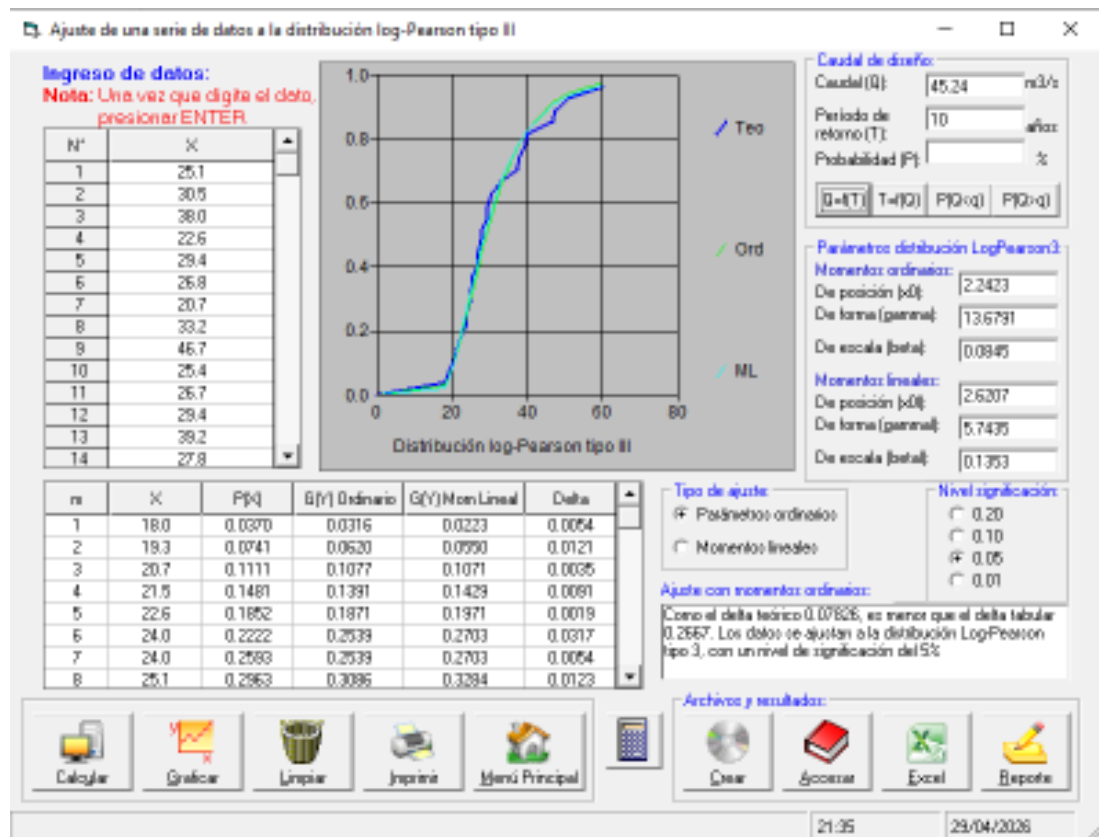
4. Distribución Gamma 2



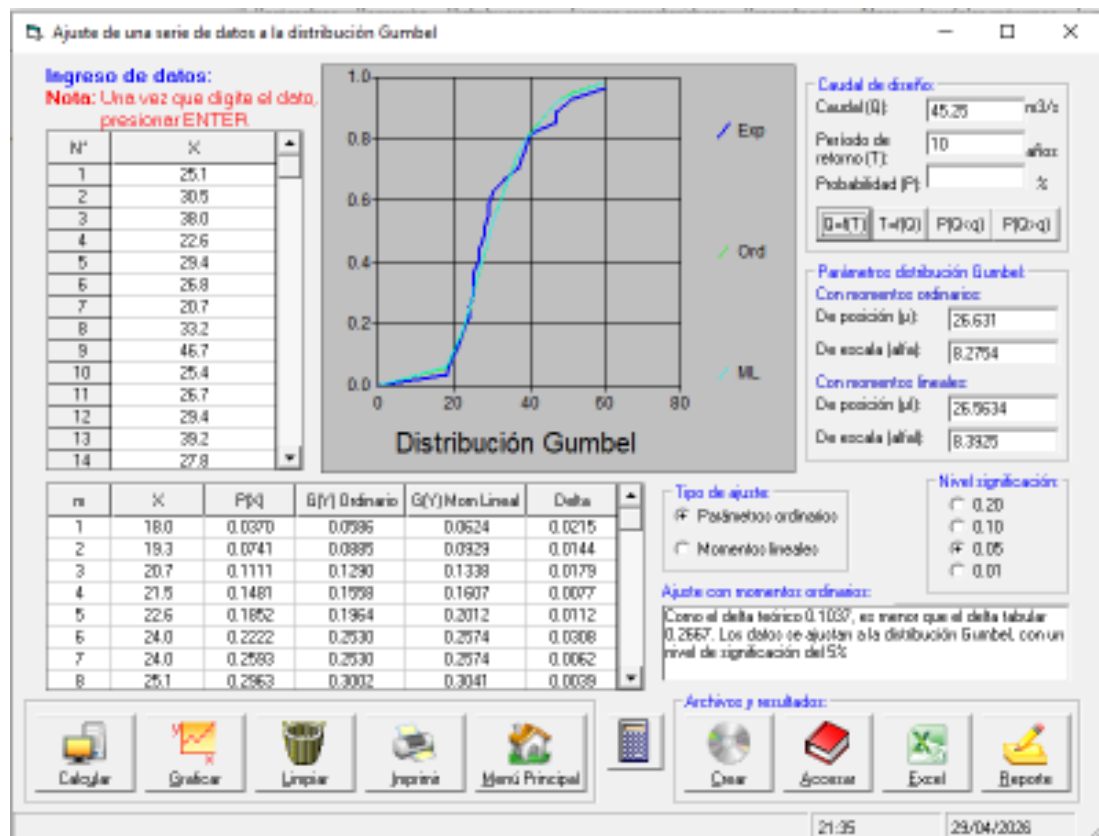
5. Distribución Gamma 3



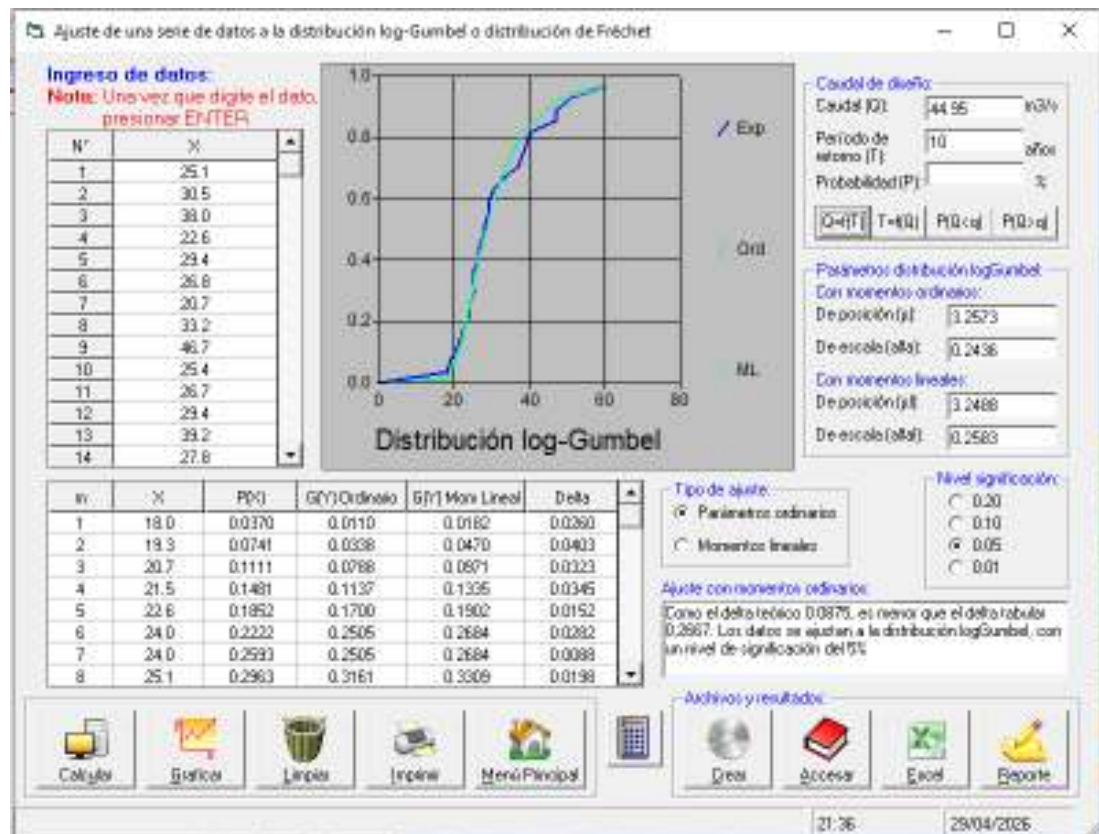
6. Distribución Log Pearson Tipo III (mejor ajuste)



7. Distribución Gumbel



8. Distribución Log Gumbel



ANEXO 4

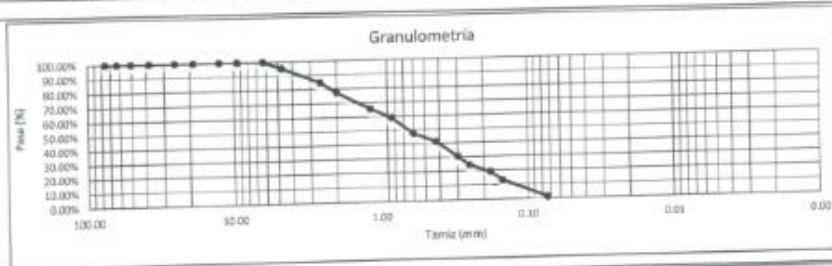


PROYECTO:	TESIS: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE PARA PAVIMENTO PERMEABLE EN CONDICIONES DE ALTA PRECIPITACIÓN EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO"				
UBICACIÓN:	REGIÓN HUÁNUCO				
TESISTA:	BACH. JOHN PIERRE GARCIA CARRERA				
DETALLE:	AGREGADO FINO				
FECHA:	FEBRERO DEL 2026				
PESO INICIAL:	737.60 Gr.				

TAMIZ N°	DIÁMETRO (mm)	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DETALLES Y DESCRIPCIÓN	
3"	76.20	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Grava (%):	4.85%
2 1/2"	63.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Arena (%):	93.72%
2"	50.80	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Pasante N°200 (%):	1.42%
1 1/2"	38.10	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Observaciones:	
1"	25.40	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
3/4"	19.05	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
1/2"	12.70	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
3/8"	9.53	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
1/4"	6.35	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
N°4	4.76	35.80	4.85%	4.85%	95.15%		
N°8	2.60	75.70	10.26%	15.12%	84.88%		
N°10	2.00	53.50	7.25%	22.37%	77.63%		
N°16	1.18	87.10	11.81%	34.18%	65.82%		
N°20	0.85	48.50	6.58%	40.75%	59.25%		
N°30	0.60	88.10	11.94%	52.70%	47.30%		
N°40	0.43	42.80	5.80%	58.50%	41.50%		
N°50	0.30	81.50	11.05%	69.55%	30.45%		
N°60	0.25	45.90	6.22%	75.77%	24.23%		
N°80	0.18	37.60	5.10%	80.87%	19.13%		
N°100	0.15	43.70	5.92%	86.80%	13.20%		
N°200	0.07	86.90	11.78%	98.58%	1.42%		
CAZOULETA	0.00	10.50	1.42%	100.00%	0.00%		
TOTAL		737.60	100.00%				

Granulometría

Tamiz (mm)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Pasante (%)
75	0.00	100.00
60	0.00	100.00
47.5	0.00	100.00
37.5	0.00	100.00
30	0.00	100.00
25	0.00	100.00
19	0.00	100.00
15	0.00	100.00
12.5	0.00	100.00
10	0.00	100.00
7.5	0.00	100.00
6	0.00	100.00
4.75	4.85	95.15
3.75	15.12	84.88
3	22.37	77.63
2.5	34.18	65.82
2	40.75	59.25
1.5	52.70	47.30
1.18	58.50	41.50
0.85	69.55	30.45
0.6	75.77	24.23
0.425	80.87	19.13
0.3	86.80	13.20
0.25	98.58	1.42
0.15	100.00	0.00



Mario Sáenz Villanueva Abal
TECNICO LABORATORISTA

Ing. Leonidas Villanueva Abal
CIP: 78839

URB. SAN ANDRES MZ "C" LT "6"
PILCO MARCA - HUÁNUCO
CELULAR: 920093390

RUC: 20529060832
RESOLUCION: N° 021482-2024/DSD - INDECOPI
INVERSIONES-EHEC-SRL@hotmail.com

ANEXO 5

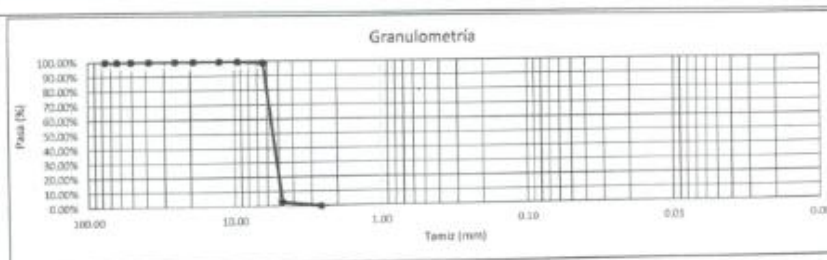


PROYECTO:	TESIS: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE PARA PAVIMENTO PERMEABLE EN CONDICIONES DE ALTA PRECIPITACIÓN EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO"				
UBICACIÓN:	REGIÓN HUÁNUCO				
TESISTA:	BACH. JOHN PIERRE GARCIA CARRERA				
DETALLE:	AGREGADO GRUESO				
FECHA:	FEBRERO DEL 2026				
PESO INICIAL:	1104.10 Gr.				

TAMIZ N°	DIÁMETRO (mm)	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DETALLES Y DESCRIPCIÓN	
3"	76.20	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Grava (%):	97.42%
2 1/2"	63.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Arena (%):	2.58%
2"	50.80	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Pasante N° 200 (%):	0.00%
1 1/2"	38.10	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Observaciones:	
1"	25.40	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
3/4"	19.05	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
1/2"	12.70	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
3/8"	9.53	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
1/4"	6.35	10.40	0.94%	0.94%	99.06%		
N°4	4.75	1065.20	96.48%	97.42%	2.58%		
N°8	2.60	28.50	2.58%	100.00%	0.00%		
TOTAL		1104.10	100.00%				

Granulometría

Tamiz (mm)	Pasa (%)
75.00	100.00
63.00	100.00
50.00	100.00
37.50	100.00
30.00	100.00
25.00	100.00
19.00	100.00
15.00	100.00
12.50	100.00
10.00	100.00
7.50	100.00
6.00	100.00
4.75	100.00
3.75	2.58
3.00	2.58
2.50	2.58
2.00	2.58
1.50	2.58
1.18	2.58




 Mario Silvestre Villanueva Nazario
 TÉCNICO LABORATORISTA


 Ing. Leobardo Villanueva Abad
 CIP: 78839

URB. SAN ANDRES MZ "C" LT "6"
 PILLCO MARCA - HUÁNUCO
 CELULAR: 920093390

RUC: 20529060832
 RESOLUCION: N° 021482-2024/DSD -
 INDECOPI
 INVERSIONES-EHEC-SRL@hotmail.com

ANEXO 6



INVERSIONES

EHEC S.C.R.L. - PERÚ

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - ASFALTO - CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCION

PROYECTO:	TESIS: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE PARA PAVIMENTO PERMEABLE EN CONDICIONES DE ALTA PRECIPITACIÓN EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO"	
UBICACIÓN:	REGIÓN HUÁNUCO	
TESISTA:	BACH. JOHN PIERRE GARCIA CABRERA	
DETALLE:	AGREGADO FINO	
FECHA:	FEBRERO DEL 2026	
PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO		
DATOS/N° DE PRUEBA		1
A	Molde (gr)	1644
B	Molde + Muestra (gr)	5358.9
C	Muestra (gr)	3714.9
D	Volumen del Recipiente (cm3)	2816
E	Peso unitario suelto (PUS) gr/cm3	1.319
DATOS/N° DE PRUEBA		2
A	Molde (gr)	1644
B	Molde + Muestra (gr)	5388.5
C	Muestra (gr)	3744.5
D	Volumen del Recipiente (cm3)	2816
E	Peso unitario suelto (PUS) gr/cm3	1.330
DATOS/N° DE PRUEBA		PROMEDIO
Peso unitario suelto (PUS) gr/cm3		1.324
PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO		
DATOS/N° DE PRUEBA		1
A	Molde (gr)	1644
B	Molde + Muestra (gr)	6102.7
C	Muestra (gr)	4458.7
D	Volumen del Recipiente (cm3)	2816
E	Peso unitario compactado (PUC) gr/cm3	1.583
DATOS/N° DE PRUEBA		2
A	Molde (gr)	1644
B	Molde + Muestra (gr)	6035.8
C	Muestra (gr)	4391.8
D	Volumen del Recipiente (cm3)	2816
E	Peso unitario compactado (PUC) gr/cm3	1.560
DATOS/N° DE PRUEBA		PROMEDIO
Peso unitario compactado (PUC) gr/cm3		1.571
Observaciones:		
 Mario Silvestre Villanueva Nazario TECNICO LABORATORISTA  Ing. Leonidas Villanueva Abal CIP: 78839		

URB. SAN ANDRES MZ "C" LT "6"

PILCO MARCA - HUÁNUCO

CELULAR: 920093390

RUC: 20529060832

RESOLUCION: N° 021482-2024/DSD - INDECOPI

INVERSIONES-EHEC-SRL@hotmail.com

ANEXO 7



PROYECTO:	TESIS: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE PARA PAVIMENTO PERMEABLE EN CONDICIONES DE ALTA PRECIPITACIÓN EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO"	
UBICACIÓN:	REGIÓN HUÁNUCO	
TESISTA:	BACH. JOHN PIERRE GARCIA CABRERA	
DETALLE:	AGREGADO GRUESO	
FECHA:	FEBRERO DEL 2026	

PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO		
DATOS/N° DE PRUEBA		1
A	Molde (gr)	1644
B	Molde + Muestra (gr)	5510
C	Muestra (gr)	3866
D	Volumen del Recipiente (cm ³)	2816
E	Peso unitario suelto (PUS) gr/cm ³	1.373

DATOS/N° DE PRUEBA		2
A	Molde (gr)	1644
B	Molde + Muestra (gr)	5488
C	Muestra (gr)	3844
D	Volumen del Recipiente (cm ³)	2816
E	Peso unitario suelto (PUS) gr/cm ³	1.365

DATOS/N° DE PRUEBA		PROMEDIO
Peso unitario suelto (PUS) gr/cm ³		1.369

PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO		
DATOS/N° DE PRUEBA		1
A	Molde (gr)	1644
B	Molde + Muestra (gr)	5928.8
C	Muestra (gr)	4284.8
D	Volumen del Recipiente (cm ³)	2816
E	Peso unitario compactado (PUC) gr/cm ³	1.522

DATOS/N° DE PRUEBA		2
A	Molde (gr)	1644
B	Molde + Muestra (gr)	6013.5
C	Muestra (gr)	4369.5
D	Volumen del Recipiente (cm ³)	2816
E	Peso unitario compactado (PUC) gr/cm ³	1.552

DATOS/N° DE PRUEBA		PROMEDIO
A	Peso unitario compactado (PUC) gr/cm ³	1.537

Observaciones:

Maria Silvestre Villanueva Nazario
 TECNICO LABORATORISTA

Ing. Leobidas Villanueva Abal
 CIP: 78839

URB. SAN ANDRES MZ "C" LT "6"
 PILLCO MARCA - HUÁNUCO
 CELULAR: 920093300

RUC: 20529060832
 RESOLUCION: N° 021482-2024/DSD -
 INDECOPI
 INVERSIONES-EHEC-SRL@hotmail.com

ANEXO 8

 INVERSIONES EHEC S.C.R.L. - PERÚ LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - ASFALTO - CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
PROYECTO:	TESIS: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE PARA PAVIMENTO PERMEABLE EN CONDICIONES DE ALTA PRECIPITACIÓN EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO"
UBICACIÓN:	REGIÓN HUÁNUCO
TESISTA:	BACH. JOHN PIERRE GARCIA CABRERA
DETALLE:	AGREGADO FINO
FECHA:	FEBRERO DEL 2026
MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO ASTM C127-15	
DATOS/N° DE PRUEBA	
A	Peso de la arena seca (gr)
	Peso de la arena superficialmente seca (gr)
	Peso de la arena SSS + peso del agua (sin fiola)
W	Peso del agua
V	Volumen de la fiola (ml)
RESULTADOS	
	Peso específico de masa
	Peso específico de masa saturada superficialmente seco
	Peso específico aparente
	Absorción (%)
DATOS/N° DE PRUEBA	
A	Peso de la arena seca (gr)
	Peso de la arena superficialmente seca (gr)
	Peso de la arena SSS + peso del agua (sin fiola)
W	Peso del agua
V	Volumen de la fiola (ml)
RESULTADOS	
	Peso específico de masa
	Peso específico de masa saturada superficialmente seco
	Peso específico aparente
	Absorción (%)
RESULTADOS	
	Peso específico de masa
	Peso específico de masa saturada superficialmente seco
	Peso específico aparente
	Absorción (%)
Observaciones:	
 Mario Silvestre Villanueva Nizano TECNICO LABORATORISTA  Ing. Lozada Villanueva Abal CIP: 78839	

URB. SAN ANDRES MZ "C" LT "6"
 PILLCO MARCA - HUÁNUCO
 CELULAR: 980003390

RUC: 20529060832
 RESOLUCION: N° 021482-2024/DSD -
 INDECOPI
 INVERSIONES-EHEC-SRL@hotmail.com

ANEXO 9



PROYECTO:	TESIS: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE PARA PAVIMENTO PERMEABLE EN CONDICIONES DE ALTA PRECIPITACIÓN EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO"	
UBICACIÓN:	REGIÓN HUÁNUCO	
TESISTA:	BACH. JOHN PIERRE GARCIA CABRERA	
DETALLE:	AGREGADO GRUESO	
FECHA:	FEBRERO DEL 2026	

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO ASTM C127-15

DATOS/N° DE PRUEBA		1
A	Masa de la muestra seca en el horno	1974.90
B	Masa de la muestra SSS	2000.00
C	Masa de la muestra sumergida	1245.80

RESULTADOS		1
Peso específico de masa		2.620
Peso específico de masa saturada superficialmente seco		2.654
Peso específico aparente		2.708
Absorción (%)		1.28%

DATOS/N° DE PRUEBA		2
A	Masa de la muestra seca en el horno	1974.20
B	Masa de la muestra SSS	2000.00
C	Masa de la muestra sumergida	1243.10

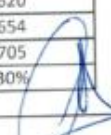
RESULTADOS		2
Peso específico de masa		2.619
Peso específico de masa saturada superficialmente seco		2.654
Peso específico aparente		2.702
Absorción (%)		1.32%

RESULTADOS		3
Peso específico de masa		2.620
Peso específico de masa saturada superficialmente seco		2.654
Peso específico aparente		2.705
Absorción (%)		1.30%

Observaciones:



Mario Silvestre Villanueva Rozano
TECNICO LABORATORISTA



Ing. Leonidas Villanueva Alca
CIP: 78839

URB. SAN ANDRES MZ "C" LT "6"
PILCO MARCA - HUÁNUCO
CELULAR: 920093390

RUC: 20529060832
RESOLUCION: N° 021482-2024/DSD -
INDECOPI
INVERSIONES-EHEC-SRL@hotmail.com

ANEXO 10



PROYECTO:	TESIS: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE PARA PAVIMENTO PERMEABLE EN CONDICIONES DE ALTA PRECIPITACION EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO"									
UBICACION:	REGIÓN HUÁNUCO									
TESISTA:	BACH. JOHN PIERRE GARCIA CABRERA									
DETALLE:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN									
FECHA:	MARZO DEL 2026									
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS										
Item N°	Fecha		EDAD (Días)	D1	D2	Dp (cm)	Area (cm2)	Carga (KN)	Resistencia a compresión (kg/cm2)	Resistencia a compresión promedio (kg/cm2)
	Vaciado	Rotura								
C-01	02/02/2026	09/02/2026	7	10.198	10.197	10.20	81.67	304.14	379.99	380.15
C-02	02/02/2026	09/02/2026	7	10.253	10.118	10.19	81.48	300.82	376.73	
C-03	02/02/2026	09/02/2026	7	10.242	10.220	10.23	82.21	309.15	383.72	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS										
Item N°	Fecha		EDAD (Días)	D1	D2	Dp (cm)	Area (cm2)	Carga (KN)	Resistencia a compresión (kg/cm2)	Resistencia a compresión promedio (kg/cm2)
	Vaciado	Rotura								
C-04	02/02/2026	16/02/2026	14	10.195	10.210	10.20	81.75	326.06	406.98	390.51
C-05	02/02/2026	16/02/2026	14	10.116	10.128	10.12	80.47	293.62	372.34	
C-06	02/02/2026	16/02/2026	14	10.192	10.181	10.19	81.50	313.24	392.20	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS										
Item N°	Fecha		EDAD (Días)	D1	D2	Dp (cm)	Area (cm2)	Carga (KN)	Resistencia a compresión (kg/cm2)	Resistencia a compresión promedio (kg/cm2)
	Vaciado	Rotura								
C-07	02/02/2026	02/03/2026	28	10.188	10.205	10.20	81.66	298.07	372.47	397.36
C-08	02/02/2026	02/03/2026	28	10.112	10.19	10.15	80.93	331.00	417.34	
C-09	02/02/2026	02/03/2026	28	10.098	10.170	10.13	80.66	317.98	402.28	
Observaciones:										


 Maria Silvana Villanueva Nazario
 TECNICO LABORATORISTA


 Ing. Delmas Villanueva Abal
 CIP: 78839

URB. SAN ANDRES MZ "C" LT "6"
 PILLCO MARCA - HUÁNUCO
 CELULAR: 920093390

RUC: 20529060832
 RESOLUCION: N° 021482-2024/DSD -
 INDECOPI
 INVERSIONES-EHEC-SRL@hotmail.com

ANEXO 11



PROYECTO:	TESIS: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE SOBREENAJE PARA PAVIMENTO PERMEABLE EN CONDICIONES DE ALTA PRECIPITACIÓN EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO"									
UBICACIÓN:	REGIÓN HUÁNUCO									
TESISTA:	BACH. JOHN PIERRE GARCIA CARRERA									
DETALLE:	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN									
FECHA:	MARZO DEL 2026									
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 7 DÍAS										
Item N°	Fecha		EDAD (Días)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Luz Libre (cm)	Área (cm²)	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (kg/cm²)	Resistencia a compresión promedio (kg/cm²)
	Vaciado	Rotura								
V-01	02/02/2026	09/02/2026	7	15.5	15.2	50.00	235.60	2215.7465	28.21409	26.50
V-02	02/02/2026	09/02/2026	7	15.3	15	50.00	229.50	2108.7568	27.56545	
V-03	02/02/2026	09/02/2026	7	15.2	15.1	50.00	229.52	1815.6870	23.73240	
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS										
Item N°	Fecha		EDAD (Días)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Luz Libre (cm)	Área (cm²)	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (kg/cm²)	Resistencia a compresión promedio (kg/cm²)
	Vaciado	Rotura								
V-04	02/02/2026	16/02/2026	14	15.5	15.100	50.00	234.05	4039.1618	51.77306	50.29
V-05	02/02/2026	16/02/2026	14	15.4	15.2	50.00	234.08	3896.8754	49.94287	
V-06	02/02/2026	16/02/2026	14	15.3	15	50.00	229.50	3759.3840	49.14227	
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS										
Item N°	Fecha		EDAD (Días)	Altura (cm)	Ancho (cm)	Luz Libre (cm)	Área (cm²)	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (kg/cm²)	Resistencia a compresión promedio (kg/cm²)
	Vaciado	Rotura								
V-07	02/02/2026	02/03/2026	28	15.2	15.050	50.00	228.76	4126.1034	54.11047	53.01
V-08	02/02/2026	02/03/2026	28	15.1	15.1	50.00	228.01	3980.5242	52.37302	
V-09	02/02/2026	02/03/2026	28	15.4	15.3	50.00	235.62	4126.1034	52.53506	
Observaciones:										


 Mario Silvestre Vilaverde Nazario
 TÉCNICO LABORATORISTA


 Ing. Leonidas Vilaverde Albal
 CIP: 78839

URB. SAN ANDRÉS MZ "C" LT "6"
 PILLCO MARCA - HUÁNUCO
 CELULAR: 9900893590

RUC: 20529060832
 RESOLUCIÓN: N° 021482-2024/DSD - INDECOPI
INVERSIONES-EHEC-SRL@hotmail.com

ANEXO 12

 INVERSIONES EHEC S.C.R.L. - PERU LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - ASFALTO - CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCION																	
PROYECTO:	TESIS: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE PARA PAVIMENTO PERMEABLE EN CONDICIONES DE ALTA PRECIPITACIÓN EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO"																
UBICACIÓN:	REGIÓN HUÁNUCO																
TESISTA:	BACH. JOHN PIERRE GARCIA CABRERA																
DETALLE:	ANILLO DE INFILTRACIÓN - PERMEABILIDAD DEL PAVIMENTO DRENANTE																
FECHA:	MARZO DEL 2026																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DATOS/N° DE PRUEBA</th> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>VALOR CONSTANTE</td> <td>4583666000</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>MASA DE AGUA INFILTRADA (Kg)</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>DIÁMETRO DEL ANILLO (mm)</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>tiempo de infiltración (s)</td> <td>14</td> </tr> </tbody> </table>			DATOS/N° DE PRUEBA		1	K	VALOR CONSTANTE	4583666000	M	MASA DE AGUA INFILTRADA (Kg)	1	D	DIÁMETRO DEL ANILLO (mm)	200	T	tiempo de infiltración (s)	14
DATOS/N° DE PRUEBA		1															
K	VALOR CONSTANTE	4583666000															
M	MASA DE AGUA INFILTRADA (Kg)	1															
D	DIÁMETRO DEL ANILLO (mm)	200															
T	tiempo de infiltración (s)	14															
$I = \frac{K \times M}{D^2 \times t}$																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">RESULTADOS</th> <th>VALOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td> <td>Infiltración en el pavimento (mm/h)</td> <td>8185.118</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>Infiltración en el pavimento (cm/seg)</td> <td>0.227</td> </tr> </tbody> </table>			RESULTADOS		VALOR	I	Infiltración en el pavimento (mm/h)	8185.118	I	Infiltración en el pavimento (cm/seg)	0.227						
RESULTADOS		VALOR															
I	Infiltración en el pavimento (mm/h)	8185.118															
I	Infiltración en el pavimento (cm/seg)	0.227															
Observaciones:																	


 Mario Silvestre Montenegro Nazario
 TECNICO LABORATORISTA


 Ing. Leonardo Villanueva Abal
 CIP: 78839

URB. SAN ANDRES MZ "C" LT "6"
 PILLCO MARCA - HUANUCO
 CELULAR: 920095590

RUC: 20529060832
 RESOLUCION: N° 021482-2024/DSD -
 INDECOPI
 INVERSIONES EHEC-SRL@hotmail.com

Conteo Vehicular

VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO

DISÑO DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE PARA PAVIMENTO PERMEABLE EN CONDICIONES DE ALTA PRECIPITACI3N EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO

506734

Tramse		E - 1		Utilizacion		YANACANCHIA		TOTAL		Utilizacion		YANACANCHIA		TOTAL		Utilizacion	
Estacion		E-01		Cod Estacion		Sentido		Dia		Dia		Dia		Dia		Dia	
DA	AUTO	STATION	PICK UP	PANEL	COMBI	RURAL	MACHO	BUS	CAMION	SEMITRAYER	TRAYERS	TRAYERS	TRAYERS	TRAYERS	TRAYERS	TOTAL	PORC.
		WAGON						2E	3E	4E	253	253	253	253	253		%
LUNES	11	0	52	0	5	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	29	13.00
MARTES	14	0	12	0	7	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	36	17.04
MIÉRCOLES	12	0	11	0	7	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	36	18.54
JUEVES	12	0	11	0	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	32	14.35
VIERNES	10	0	12	0	5	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	31	14.35
SABADO	9	0	11	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	12.56
DOMINGO	8	0	12	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	12.56
TOTAL	78	0	79	0	40	20	0	8	0	0	0	0	0	0	0	223	100.00
IMO	11	0	11	0	6	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	32	
%	34.36	0.09	34.38	0.09	18.75	9.58	3.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	
VEHICULOS PESADOS																	

TRAFICO VEHICULAR
EN EL SUEO

Tipos de Veículos	MOIS	Gerais
Motoc	11	34,4%
Suavões	0	0,0%
Suavões Wingers	0	0,0%
Camionetes Pick Up	11	34,4%
Camionetes Panel	0	0,0%
Camionetes Pneu	6	18,2%
Caminhões	3	9,1%
Motoc	3	9,1%
Devolução 25 / 35	0	0,0%
Camionete 25	0	0,0%
Camionete 35	0	0,0%
Camionete 45	0	0,0%
Suavões	0	0,0%
Suavões Wingers	0	0,0%
Total	33	100,0%

TRAFICO VEHICULAR
MED ANUAL Y CLASIFICACION VEHICULAR

Unidad	Tipo de Aplicación	IMO	Quem. %
	Auxilia	9	33.3%
	Barredas Wagon	0	0.0%
	Camionetas Pick Up	0	33.3%
	Camionetas Panel	0	0.0%
	Camionetas Pallet	0	16.5%
	Camión Rural	0	0.0%
	Micro	3	11.1%
	Overolavos JC y 1E	1	3.7%
	Camión 3E	0	0.0%
	Camión 3E	0	0.0%
	Camión 4E	0	0.0%
	Señal Highway	0	0.0%
	Trayecto	0	0.0%
	TOTAL IMO	37	100.0%

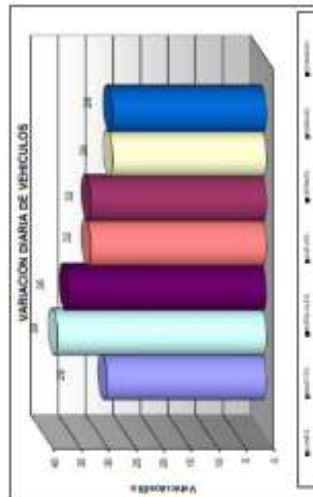
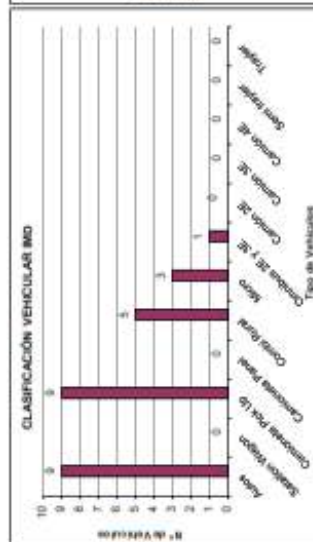
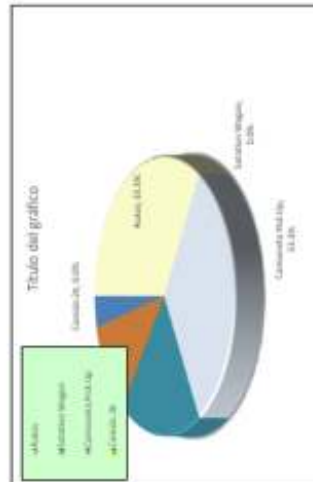
CALCOLO DEL MD
Resumen de Metalurgia

$$MD = \frac{V_2}{2}$$

$V_2 =$ Volumen Promedio Semestral

FC-Vol. Liquidez = 0.844603
 FC-Vol. Pasividad = 0.786073

$MD = 27$ Verificación por da
 0.8505 V = 26.9



ANEXO 14

Cálculo De Esal

CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES-ESAL

PERIODO DE DISEÑO	20 AÑOS
Tasa de Crecimiento por Región en %	$r_{p1} = 1.10$ $r_{p2} = 2.00$

Tasa de Crecimiento Anual del PIB Regional (REGIÓN PASCO)	(vehículos de pasajeros)
Tasa de Crecimiento Anual del PIB Regional (REGIÓN PASCO)	(vehículos de carga)

FUERZA DE PRESIÓN (Fp)	1
FACTOR DIRECCIONAL (Fd)	1
FACTOR CARRIL (Fc)	1



TRÁFICO ACTUAL POR TIPO DE VEHÍCULO		
Tipo de Vehículo	IMD	Distribución (%)
Automóvil	9	33.33
Camioneta	9	33.33
C.R.	5	18.52
Micro	3	11.11
Bus Grande	0	0.00
Camión 2E	1	3.70
Camión 3E	0	0.00
Camión 4E	0	0.00
Semi Traylor 2S1 /2S2	0	0.00
Semi Traylor 2S3	0	0.00
Semi Traylor 3S1 /3S2	0	0.00
Semi Traylor ≥3S3	0	0.00
Traylor 2T2	0	0.00
Traylor 2T3	0	0.00
Traylor 3T2	0	0.00
Traylor ≥3T3	0	0.00
IMD	27	100.00

CONFIGURACIÓN VEHICULAR	EJE DELANTERO	CONJUNTO DE EJES POSTERIORES		
		1RO	2DO	3RO
Bus Grande	7	16		
2E	7	11		
3E	7	18		
4E	7	23		
2S1 /2S2	7	11	18	
2S3	7	11	25	
3S1 /3S2	7	18	18	
≥3S3	7	18	25	
2T2	7	11	11	11
2T3	7	11	11	18
3T2	7	18	11	11
≥3T3	7	18	11	18

FACTORES DE EQUIVALENCIA O DAÑO					
	EJE	CONJUNTO DE EJES POSTERIORES			Fvp.
	DELANTERO	1	2	3	
Bus Grande	1.27	2.34			3.62
2E	1.27	3.33			4.61
3E	1.27	3.46			4.73
4E	1.27	3.60			4.96
2S1 /2S2	1.27	3.33	3.46		8.07
2S3	1.27	3.33	4.16		8.77
3S1 /3S2	1.27	3.46	3.46		8.19
≥3S3	1.27	3.46	4.16		8.90
2T2	1.27	3.33	3.33	3.33	11.28
2T3	1.27	3.33	3.33	3.46	11.40
3T2	1.27	3.46	3.33	3.33	11.40
≥3T3	1.27	3.46	3.33	3.46	11.52

DEMANDA PROYECTADA

Para la proyección de la demanda utilizar la siguiente fórmula:

$$T_n = T_0 (1 + r)^{(n-1)}$$

Donde:

$T_n =$	Tránsito proyectado al año en vehículo por día
$T_0 =$	Tránsito actual (año base) en vehículo por día
$n =$	año futuro de proyección
$r =$	tasa anual de crecimiento de tránsito

DEMANDA PROYECTADA		
Tipo de Vehículo	IMDpl	Distribución (%)
Automóvil	11	33.11
Camioneta	11	33.11
C.R.	6	18.39
Micro	4	11.04
Bus Grande	0	0.00
Camión 2E	1	4.35
Camión 3E	0	0.00
Camión 4E	0	0.00
Semi Traylor 2S1 /2S2	0	0.00
Semi Traylor 2S3	0	0.00
Semi Traylor 3S1 /3S2	0	0.00
Semi Traylor ≥3S3	0	0.00
Traylor 2T2	0	0.00
Traylor 2T3	0	0.00
Traylor 3T2	0	0.00
Traylor ≥3T3	0	0.00
IMD	33	100.00

FACTOR DE CRECIMIENTO ACUMULADO:

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

Fca V. Ligeros=	22.23
Fca V. Pesados=	24.30

EJES EQUIVALENTES POR CADA TIPO DE VEHÍCULO:

$$EE_{dia-carriil} = IMD_{PI} * F_D * F_C * F_{VPI} * F_{PI}$$

EJES EQUIVALENTES POR CADA TIPO DE VEHÍCULO		
Tipo de Vehículo	EE _{dia-carriil}	Distribución (%)
Bus Grande	0	0.00
Camión 2E	7	100.00
Camión 3E	0	0.00
Camión 4E	0	0.00
Semi Traylor 2S1 /2S2	0	0.00
Semi Traylor 2S3	0	0.00
Semi Traylor 3S1 /3S2	0	0.00
Semi Traylor ≥3S3	0	0.00
Traylor 2T2	0	0.00
Traylor 2T3	0	0.00
Traylor 3T2	0	0.00
Traylor ≥3T3	0	0.00
IMD	7	100.00



NUMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES DE

$$Nrep \text{ de } EE_{B.2tn} = \sum [(EE_{dia-carriil} * Fca + 365)]$$

$$Nrep \text{ de } EE_{B.2tn} = 59530 \text{ EE}$$

ANEXO 15

Diseño De Pavimento

PROYECTO:	"DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUBDRENAJE PARA PAVIMENTO PERMEABLE EN CONDICIONES DE ALTA PRECIPITACIÓN EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO"
ORGANISMO PROPONENTE:	BACH. JOHN PIERRE GARCIA CABRERA

MÉTODO AASTHO -93

Es uno de los métodos mas utilizados y de mayor utilización a nivel internacional para el diseño de pavimentos rígidos.

FORMULACIÓN DE DISEÑO

La ecuación básica de diseño a la que llegó AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos, desde un desarrollo analítico, se encuentra plasmada también en monogramas de cálculo, éstos esencialmente basados en los resultados obtenidos de la prueba experimental de la carretera AASHTO. La ecuación de diseño para pavimentos rígidos modificada para la versión actual es la que a continuación se presenta:

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}}$$

$$+ (4.22 - 0.32 \times Pt) \times \log_{10}\left[\frac{215.63 \times S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times (D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}})} \right]$$

Donde:

D	= Espesor de la losa del pavimento en (in)
W18	= Tráfico (Número de ESAL's)
Zr	= Desviación Estándar Normal
So	= Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
Po	= Serviciabilidad Inicial
Pt	= Serviciabilidad Final
S'c	= Módulo de Rotura del concreto en (psi).
Cd	= Coeficiente de Drenaje
J	= Coeficiente de Transferencia de Carga
Ec	= Módulo de Elasticidad de concreto
K	= Módulo de Reacción de la Sub Rasante en (psi).

VARIABLES DEL DISEÑO

ESPESOR (D).

El espesor de losa de concreto, es la variable "D" que pretendemos determinar al realizar un diseño de pavimento rígido. El resultado del espesor se ve afectado por todas las demás variables que interviene en los cálculos. Es importante especificar lo que se diseña, ya que a partir de espesores regulares una pequeña variación puede significar una variación importante en la vida útil.

1.- ESTUDIO DE TRANSITO

1.1.- Transito (demanda)

Probablemente, la variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 ton de peso, con neumáticos con presión de 80 lb./pulg2.

Cálculo de tasas de crecimiento y la proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

$$T_n = T_o (1 + i)^{n-1}$$

Donde:

T_n = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día.

T_o = Tránsito actual (año base o) en veh/día.

n = Años del período de diseño.

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito que se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico(*) normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento.

1.2.- Determinación del tránsito existente.

El volumen existente en el tramo, considera el promedio diario anual del total de vehículos (ligeros y pesados) en ambos sentidos.

Para la obtención de la demanda de tránsito que circula en cada sub tramo en estudio, se requerirá como mínimo la siguiente información:

a. El tránsito promedio semanal (TPDS) mediante conteos de tránsito en cada sub tramo (incluyendo un sábado o un domingo) por un período consecutivo de 7 días (5 día de semana+Sábado+Domingo), como mínimo, de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo. Así mismo en caso no hubiera información oficial, sobre pesos por eje, aplicable a la zona, se efectuara un censo de carga Vehicular durante 2 días consecutivos.

b. Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados.

c. Con los datos obtenidos, se definirá el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño del pavimento.

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES ESAL'S(W18)

ESAL's(W18) =	59,530.00
ESAL's(W18) =	5.95E+04

2. CONFIABILIDAD:

Se denomina confiabilidad (R%) a la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación. También se puede entender a la confiabilidad como un factor de seguridad, de ahí que su uso se debe al mejor de los criterios.

TIPO DE PAVIMENTO	CONFIABILIDAD.
Autopistas	90%
Carreteras	75%
Rurales	65%
Zonas industriales	60%
Urbanas principales	55%
Urbanas secundarias	50%

DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Zr)	
Confiabilidad R (%)	Desviac. Están. (Zr)
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

R (%) = 50.00 %

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR(Zr).

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

Zr = 0.000

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO (So):

AASHTO propuso los siguientes valores para seleccionar la Variabilidad o Error Estándar Combinado So, cuyo valor recomendado es:

Para pavimentos rígidos	0.30 – 0.40
En construcción nueva	0.35
En sobre capas	0.4

So = 0.300

4. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

La serviciabilidad se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos y camiones) que circulan en la vía. La medida primaria de la serviciabilidad es el Índice de Serviciabilidad Presente. El procedimiento de diseño AASHTO predice el porcentaje de pérdida de serviciabilidad (Δ PSI) para varios niveles de tráfico y cargas de ejes.

Como el índice de serviciabilidad final de un pavimento es el valor más bajo de deterioro a que puede llegar el mismo, se sugiere que para carreteras de primer orden (de mayor tránsito) este valor sea de 2.5 y para vías menos importantes sea de 2.0; para el valor del índice de serviciabilidad inicial la AASTHO llegó a un valor de 4.5 para pavimentos de concreto y 4.2 para pavimentos de asfalto.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:

Po =	4.5
Pt =	2.0

$$\Delta PSI = Po - Pt$$

$$\Delta PSI = 2.50$$

5. MÓDULO DE RUPTURA (S'c)

Es una propiedad del concreto que influye notablemente en el diseño de pavimentos rígidos de concreto. Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión, es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'c) ó módulo de ruptura normalmente especificada a los 28 días

Concreto a Utilizar

$$F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S'c = 32(F'c)^{1/4}$$

-179.1

TIPO DE PAVIMENTO	S'c RECOMENDADO
	Psi
Autopistas	682.70
Carretera	682.70
Zonas Industriales	640.10
Urbanos principales	640.10
Urbanos Secundarios	597.40

$$S'c = 598.665 \text{ Psi}$$

6. DRENAJE (Cd)

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor a 1%	1% a 5%	5% a 25%	Mayor a 25%
Excelente	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Pobre	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy pobre	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Para el caso los materiales a ser usados tiene una calidad regular de drenaje y esta expuesto en un 30% durante un año normal de precipitaciones.

$$Cd = 1.2$$

7. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J).

Es la capacidad que tiene la losa de transmitir fuerzas cortantes a las losas adyacentes, lo que repercute en minimizar las deformaciones y los Este concepto depende de los siguientes factores:

Cantidad de Tráfico.

Utilización de pasajuntas.

Soporte lateral de las Losas.

La AASTHO recomienda un valor de 3.2 para pavimentos rígidos

$$J = 3.2$$

8. MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO (Ec).

Se denomina Módulo de elasticidad del concreto a la tracción, a la capacidad que obedece la ley de Hooke, es decir, la relación de la tensión unitaria a la deformación unitaria. Se determina por la Norma ASTM C469. Sin embargo en caso de no disponer de los ensayos experimentales para su cálculo existen varios criterios con los que pueda estimarse ya sea a partir del Módulo de Ruptura, o de la resistencia a la compresión a la que será diseñada la mezcla del concreto.

Las relaciones de mayor uso para su determinación son:

$F'c$ = Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²) = 350 Kg/cm²

$E_c = 5500 \times (f'c)^{1/2}$ (En MPa)

$E_c = 17000 \times (f'c)^{1/2}$ (En Kg/cm²)

$E_c = 17000 \times (350)^{1/2}$ $E_c =$ 318,040.88 Kg/cm²

$E_c =$ 4523603.54 Psi

9. MODULO DE REACCIÓN DE LA SUB RASANTE (K)

Se han propuestos algunas correlaciones de "K" a partir de datos de CBR de diseño de la Sub Rasante, siendo una de las más aceptadas por ASSHTO las expresiones siguientes:

$K = 2.55 + 52.5(\text{Log CBR})$ Mpa/m → CBR ≤ 10

$K = 46.0 + 9.08(\text{Log CBR})^{4.34}$ Mpa/m → CBR > 10

CBR sub rasante = 8.00 %

Según estudio realizado Laboratorio de Mecánica de suelos

$K =$ 49.96222432

10. ESPESOR DE LA LOSA DE CONCRETO

Según la formula General AASHTO:

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

$$+ (4.22 - 0.32 \times Pt) \times \log_{10}\left[215.63 \frac{S'c \times Cd \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times (D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}})}\right]$$

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente Igual a (Ecuación II):

D = 3.565 in

Log₁₀(W18) – Zr × So + 0.06 = 4.835 ... Ecuación I

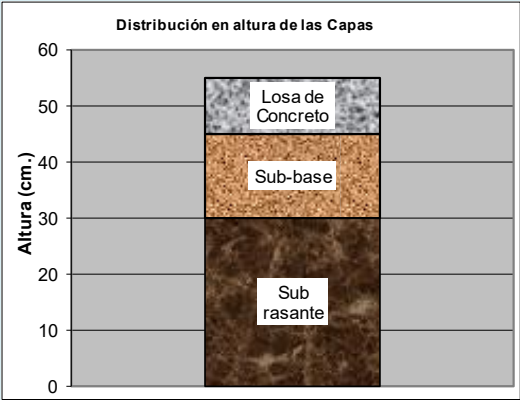
$$7.35 \times \text{Log}_{10}(D + 1) + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta\text{PSI}}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}}$$

$$+ (4.22 - 0.32 \times Pt) \times \text{Log}_{10}\left[215.63 \frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \times (D^{0.75} - \frac{18.42}{(\frac{E_c}{k})^{0.25}})}\right] = 4.835 \dots \text{Ecuación II}$$

Espesor de la Losa de Concreto

D = 9.06 Cm

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO		
Losa de C° Hidráulico	e= 4 Pulg. =	10
Sub-Base Granular	e= 6 Pulg. =	15



ANEXO 16

Datos De Precipitación

Estación:	Cerro De Pasco (Código: 000593)
Variable:	Precipitación Acumulada 1 Día (mm)
Operador:	Servicio Nacional Meteorología E Hidrología
Geográficas:	Latitud: -10.693333 / Longitud: -76.264167 / Altitud(msnm): 4260
Tipo:	Convencional / Climática
Político:	Dpto: Pasco / Prov: Pasco / Dist.: Chaupimarca
Administrativo:	AAA: Mantaro / ALA: Pasco
Geográfica:	Cuenca Mantaro
La Fuente:	

Los datos descargados corresponden a información primaria sin control de calidad, la misma que está suj

FECHA	VALOR MAX.ANUAL
1995	25.10
1998	30.50
1999	38.00
2000	22.60
2001	29.40
2002	26.80
2003	20.70
2004	33.20
2005	46.70
2006	25.40
2007	26.70
2008	29.40
2009	39.20
2010	27.80
2011	24.00
2012	24.00
2013	19.30
2014	21.50
2015	25.10
2016	18.00
2017	28.00
2018	51.00
2019	60.00
2022	47.20
2023	40.00
2024	37.00

ANEXO 17

ITEM	DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTO					
		UND.	CANT.	P.UNIT.		P.PARCIAL	
1.00	PAVIMENTO DRENANTE						
01	OBRAS PROVISIONALES, TRABAJOS PRELIMINARES						
01.01	OBRAS PROVISIONALES						
	Movilización y desmovilización de equipos, materiales y						
01.01.01	herramientas	glb	1.000	S/	780.00	S/	780.000
01.01.02	Limpieza de terreno	m2	304.000	S/	3.50	S/	1,064.000
01.01.03	Trazo y replanteo	m2	2271.000	S/	2.70	S/	6,131.700
	Eliminación del material demolido	m3	2452.400	S/	9.51	S/	23,322.324
02	ESTRUCTURAS						
02.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS						
	Excavación c/ maq. en						
02.01.01	terreno suelto	m3	2452.400	S/	19.64	S/	48,165.136
	Perfilado y nivelado fondo de zanja	m2	100.000	S/	13.50	S/	1,350.000
02.01.03	Afirmado de base h=0.20m	m2	2271.000	S/	11.64	S/	26,434.440
	Relleno compactado con material impermeable						
02.01.04	(Subrasante)	m3	550.000	S/	85.55	S/	47,052.500
	Relleno compactado con material permeable						
02.01.05	(Afirmado propuesto)	m3	330.000	S/	87.00	S/	28,710.000
02.02	CONCRETO SIMPLE						
	Concreto simple f'c=100kg/cm2, e=0.1m						
02.02.01	(Solado) (C1, AF:5)	m2	100.000	S/	29.10	S/	2,910.000
	Concreto simple f'c=350kg/cm2, e=0.23m (Pavimento drenante).						
02.02.02	(C:1, AF:3, AG:3)	m3	550.000	S/	410.00	S/	225,500.000
02.03	CONCRETO ARMADO						
02.03.01	Concreto f'c=210kg/cm2	m2	48.000	S/	350.00	S/	16,800.000
	Encofrado y desencofrado						
02.03.02	caravista	m2	438.000	S/	47.00	S/	20,586.000
	Acero de refuerzo						
02.03.03	f'y=4200kg/cm2	kg	5918.000	S/	8.00	S/	47,344.000
02.03.04	Curado concreto	m2	438.000	S/	1.67	S/	731.460

02.03.05	Impermeabilizado de zanja	m2	438.000	S/	21.00	S/	9,198.000
03	DRENAJE PLUVIAL						
03.01	Suministro e instalación de tubería corrugada HDPE perforado 8"	m	100.000	S/	50.00	S/	5,000.000
03.02	Suministro e instalación de geodrén circular 160mm x 1m	m2	125.000	S/	72.38	S/	9,047.500
			COSTO DIRECTO		S/	520,127.06	
			SUB TOTAL		S/	520,127.06	
			IGV 18%		S/	93,622.87	
			TOTAL		S/	613,749.93	
			Precio por 1 metro lineal				
					S/	6,137.50	

ANEXO 18

Evidencia Fotográfica



