



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**Título**

Evaluación de las características hidráulicas y físicas del pavimento rígido en la Avenida 9 de Octubre ubicada en la ciudad de Riobamba

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil**

**Autor:**

Rosero Esparza, Roberto Sebastián  
Cepeda De la Cruz, Magaly Elizabeth

**Tutor:**

Mgs. Pazmiño Chiluiza Hernán Vladimir

**Riobamba, Ecuador. 2024**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, **Magaly Elizabeth Cepeda De la Cruz**, con cédula de ciudadanía **0605177914**, y **Roberto Sebastián Rosero Esparza**, con cédula de ciudadanía **0604883876** autores del trabajo de investigación titulado “**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS Y FÍSICAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN LA AVENIDA 9 DE OCTUBRE UBICADA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA**”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas mí exclusiva responsabilidad. Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 21 de febrero de 2024.



Magaly Elizabeth Cepeda De la Cruz

C.I. 0605177914



Roberto Sebastián Rosero Esparza

C.I. 0604883876

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza, Mgs, catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS Y FÍSICAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN LA AVENIDA 9 DE OCTUBRE UBICADA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA**, bajo la autoría de Magaly Elizabeth Cepeda De la Cruz y Roberto Sebastián Rosero Esparza por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 21 días del mes de febrero de 2024.



Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza, Mgs  
C.I. 0603123464

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados miembros del tribunal de grado para la evaluación del trabajo de investigación “EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS Y FÍSICAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN LA AVENIDA 9 DE OCTUBRE UBICADA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA” por **Magaly Elizabeth Cepeda De la Cruz**, con cédula de identidad número 0605177914 y **Roberto Sebastián Rosero Esparza**, con cédula de identidad número 0604883876, bajo la tutoría de Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza, Mgs; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 28 de febrero de 2024.

Ing. Jorge Núñez, Mgs

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Firma

Ing. Ángel Paredes, Mgs

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Firma

Ing. Nelson Patiño, Mgs

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Firma



# CERTIFICACIÓN

Que, **CEPEDA DE LA CRUZ MAGALY ELIZABETH** con CC: **0605177914** y **ROSERO ESPARZA ROBERTO SEBASTIÁN** con CC: **0604883876**, estudiantes de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL** Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS Y FÍSICAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN LA AVENIDA 9 DE OCTUBRE UBICADA EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA**", cumple con el 10 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 19 de febrero de 2024



Mgs. Vladimir Pazmiño  
TUTOR

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser mi Padre y guía en esta etapa de mi vida, a mi madre Margoth De la Cruz por ser mi ejemplo de fuerza y valentía por sus valores y enseñanzas, a mi hermano Daniel por ser mi ángel en el cielo, a mi abuelita Blanca Aldaz por cada una de sus oraciones, a mi familia por apoyarme y acompañarme en todo momento, a la Universidad Nacional de Chimborazo por su calidad docente de manera especial al Ing. Vladimir Pazmiño, Ing. Alfonso Arellano, Ing. Cristina Polo e Ing. Mishell Bonilla por compartir su conocimiento y experiencia para el logro de este proyecto. A mis amigos por la oportunidad de compartir juntos en este camino, especialmente mi agradecimiento a Roberto Rosero por su sincera y valiosa amistad.

Con cariño

Magaly E. Cepeda D.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi hermano Daniel, por ser quien cuida mis pasos desde el cielo por ser luz en mi vida y la de mi familia, por ser mi fuerza y fortaleza para seguir adelante, por hacer de mí una mejor persona.

A mi madre por ser mi mayor soporte y guía, por su apoyo sin medida, por caminar junto a mí para cumplir esta meta estudiantil.

Magaly E. Cepeda D.

## **AGRADECIMIENTO**

Siempre agradecido con Dios, por permitirme culminar con éxitos mis estudios universitarios, a mi madre Lupe Esparza por ser mi gran mentora de vida y mi ejemplo a seguir, a mi hermana Gisel Rosero por ser mi más leal amiga, a mi padre Roberto Rosero por enseñarme a ser perseverante y esforzarme por mis objetivos, de manera muy especial a mi familia Esparza Mosquera que son lo más valioso en mi vida. A mi compañera Magaly Cepeda por su paciencia, solidaridad y sobre todo a su sincera amistad, al Ingeniero Vladimir Pazmiño por su valiosa tutela y acompañamiento, al Ingeniero Alfonso Arellano por sus enseñanzas y colaboración en el trabajo de investigación. A la Universidad Nacional de Chimborazo por la excelente formación profesional como Ingeniero Civil.

Roberto S. Rosero E.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a toda mi familia Esparza Mosquera, y de manera muy especial a mis tíos Raúl Esparza (†) y Francisco Esparza (†) quienes me enseñaron a enfrentar las dificultades de la vida con fortaleza y alegría, también, a mis padres de corazón Fernando Esparza y Luis Esparza quienes siempre me brindaron su amor incondicional y me enseñaron el valor de la responsabilidad, a mis tías Isabel Esparza y María Esparza por su empatía y sentido maternal conmigo, a mis hermanos de corazón Javier, Juan Fernando y José Luis por su valiosa amistad. Finalmente, a mi madre Lupe Esparza a mi padre Roberto Rosero y a mi hermana Gisel por ser mi motor de vida.

Roberto S. Rosero E.

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL AUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICACIÓN ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL; ÍNDICE DE TABLAS; ÍNDICE DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

ABSTRACT

1.	CAPITULO I. INTRODUCCIÓN .....	18
1.1	Introducción.....	18
1.2	Planteamiento del Problema .....	19
1.3	Justificación del Problema.....	20
1.4	Objetivos.....	21
	General .....	21
	Específicos .....	21
2.	CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	22
2.1	ANTECEDENTES .....	22
2.1.1	Av. 9 de Octubre .....	22
2.1.2	Pavimento rígido y sus ventajas .....	22
2.1.3	Pavimento rígido en el Ecuador .....	23
2.1.4	Permeabilidad en suelo urbano .....	23
2.1.5	Permeabilidad en pavimentos rígidos .....	23
2.1.6	Pavimento rígido y pavimento permeable en América .....	24
2.1.7	Capas granulares .....	25

2.1.8	Normativas MTOP para subbases clase 3 .....	26
2.1.9	Investigaciones relacionadas al tema de investigación .....	26
2.2	DEFINICIONES GENERALES .....	27
2.2.1	Métodos invasivos evolución .....	27
2.2.2	Hidroplaneo .....	28
2.3	PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO.....	28
2.3.1	Diferencia entre porcentaje de absorción, humedad y vacíos. ....	28
2.3.2	Coefficiente de escurrimiento.....	29
2.3.3	Velocidad de infiltración.....	29
2.3.4	Tiempo de Saturación.....	29
2.3.5	Superficie saturada seca .....	30
2.3.6	Permeabilidad.....	30
2.3.7	Escorrentía reducida.....	30
2.4	PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO .....	30
2.4.1	Macrotextura .....	30
2.4.2	Desgaste a la abrasión .....	31
2.4.3	Capacidad portante.....	32
2.4.4	Densidad de capas granulares .....	32
2.4.5	Resistencia.....	32
3.	CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	32
3.3	Tipo de investigación.....	32
3.4	Diseño de la investigación.....	32
3.5	Diagrama metodológico .....	33
3.6	Técnicas instrumentos y procedimientos de recolección de datos .....	33
3.6.1	Granulometría de agregados NTE INEN 696 .....	33
3.6.2	Desgaste del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm NTE INEN 860	

3.6.3	Densidad y absorción de agregado fino NTE INEN 856 .....	34
3.6.4	Densidad y absorción de agregado grueso NTE INEN 857 .....	34
3.6.5	Extracción de núcleos ASTM C42 .....	35
3.6.6	Resistencia a la compresión de núcleos NTE INEN 1573 .....	35
3.6.7	Contenido de humedad NTE INEN 862 .....	35
3.6.8	Porcentaje de vacíos .....	35
3.6.9	Tracción directa de núcleos ASTM C496 .....	36
3.6.10	Macrotextura del pavimento ASTM E965 .....	36
3.6.11	Tasa de infiltración en pavimento rígido ASTM D3385 .....	36
3.7	Definición de la muestra .....	39
3.7.1	Población .....	39
3.7.2	Muestra: .....	39
3.7.3	Tipo de muestreo: .....	39
3.7.4	Tamaño de la Muestra: .....	39
3.7.5	Criterios de Selección .....	40
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....	43
4.1	ENSAYOS SUBBASE CLASE 3 .....	43
4.1.1	Datos granulometrías .....	43
4.1.2	Resultados granulometría M-A .....	44
4.1.3	Resultados granulometría M-B .....	46
4.1.4	Promedio granulometrías .....	48
4.1.5	Resultados de abrasión .....	50
4.1.6	Densidades de agregados .....	51
4.2	ENSAYOS NÚCLEOS .....	52
4.2.1	Datos núcleos de pavimento rígido Av. 9 de Octubre .....	52
4.2.2	Resultados ensayo densidad aparente de núcleos .....	52
4.2.3	Resultado densidad real de los núcleos .....	53

4.2.4	Resultado humedad, absorción y vacíos .....	53
4.2.5	Resultados ensayo de compresión y tracción de cilindros .....	54
4.3	RESULTADO ENSAYO IN-SITU .....	57
4.3.1	Resultado ensayo círculo de arena .....	57
4.3.2	Resultados prueba de infiltración del pavimento .....	58
4.3.3	Cálculos prueba de infiltración .....	63
5.	DISCUSIÓN.....	76
6.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	78
6.1	CONCLUSIONES.....	78
6.2	RECOMENDACIONES .....	79
	BIBLIOGRAFÍA.....	80
	ANEXOS.....	85

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Estratos por kilómetro de superficie de rodadura. ....	40
<b>Tabla 2.</b>	Coordenadas planificadas para toma de muestras.....	41
<b>Tabla 3.</b>	Datos y resultados iniciales granulometría Subbase Clase 3. ....	43
<b>Tabla 4.</b>	Granulometría M-A de Subbase Clase 3.....	44
<b>Tabla 5.</b>	Granulometría M-B de Subbase Clase 3.....	46
<b>Tabla 6.</b>	Promedio granulometrías, Subbase Clase 3. ....	48
<b>Tabla 7.</b>	Resultados abrasión, gradación tipo A, Subbase Clase 3.....	50
<b>Tabla 8.</b>	Densidad del agregado fino, Subbase Clase 3. ....	51
<b>Tabla 9.</b>	Densidad del agregado grueso, Subbase Clase 3. ....	51
<b>Tabla 10.</b>	Resultados de la medición los núcleos de pavimento rígido.....	52
<b>Tabla 11.</b>	Densidad aparente sumergida de núcleos. ....	52
<b>Tabla 12.</b>	Densidad real de los núcleos. ....	53
<b>Tabla 13.</b>	Porcentajes de humedad, absorción y vacíos de núcleos. ....	53
<b>Tabla 14.</b>	Resultados ensayo de núcleos a compresión.....	54
<b>Tabla 15.</b>	Resultados ensayo de núcleos a tracción directa.....	56
<b>Tabla 16.</b>	Resultado círculo de arena. ....	57
<b>Tabla 17.</b>	Evaluación visual de la superficie de rodadura (ver anexo 17).....	58
<b>Tabla 18.</b>	Datos punto 1, ensayo de infiltración.....	58

<b>Tabla 19.</b> Datos punto 2, ensayo de infiltración.....	59
<b>Tabla 20.</b> Datos punto 3, ensayo de infiltración.....	60
<b>Tabla 21.</b> Datos punto 4, ensayo de infiltración.....	61
<b>Tabla 22.</b> Datos punto 5, ensayo de infiltración.....	62
<b>Tabla 23.</b> Resultados ensayo de infiltración punto 1. ....	63
<b>Tabla 24.</b> Resultados ensayo de infiltración, punto 2. ....	65
<b>Tabla 25.</b> Resultados ensayo de infiltración, punto 3. ....	67
<b>Tabla 26.</b> Resultados ensayo de infiltración, punto 4. ....	69
<b>Tabla 27.</b> Resultados ensayo de infiltración, punto 5. ....	71
<b>Tabla 28.</b> Resumen datos y observaciones ensayo de infiltración, resumen propiedades hidráulicas y físicas de los núcleos. ....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama metodológico. ....	33
<b>Figura 2.</b> Perfiles burletes alambrados 341. Esquema adaptado de GLOBAL RUBBER CORPORATION S.A.C. ....	37
<b>Figura 3.</b> Vista superior del caucho, se observa el alma metálica. ....	37
<b>Figura 4.</b> Vista lateral caucho. ....	37
<b>Figura 5.</b> Contorno inferior de cilindros con caucho. ....	38
<b>Figura 6.</b> Esquema infiltrómetro de doble anillo. ....	38
<b>Figura 7.</b> Vista lateral infiltrómetro, 15 kg por cada lado del marco portante.....	39
<b>Figura 8.</b> Estratos por kilómetro de la Av. 9 de octubre. ....	41
<b>Figura 9.</b> Puntos de extracción planificados en cada estrato.....	42
<b>Figura 10.</b> Curva granulométrica M-A, Subbase Clase 3. ....	45
<b>Figura 11.</b> Curva granulométrica M-B, Subbase Clase 3. ....	47
<b>Figura 12.</b> Curva granulométrica promedio. Subbase Clase 3.....	49
<b>Figura 13.</b> Núcleo 2 ensayo de compresión, falla tipo 4 (ver anexo 16). ....	54
<b>Figura 14.</b> Núcleo 3 ensayo de compresión, falla tipo 3 (ver anexo 16). ....	55
<b>Figura 15.</b> Núcleo 5 ensayo de compresión, falla tipo 3 (ver anexo 16). ....	55
<b>Figura 16.</b> Núcleo 1 ensayo tracción directa, rotura fuera del diámetro por presencia de irregularidad en la superficie del núcleo.....	56
<b>Figura 17.</b> Núcleo 4 ensayo tracción directa, rotura a lo largo del diámetro. ....	56
<b>Figura 18.</b> Curva de infiltración, punto 1.....	64
<b>Figura 19.</b> Curva de infiltración, punto 2.....	66

<b>Figura 20.</b> Curva de infiltración, punto 3.....	68
<b>Figura 21.</b> Curva de infiltración, punto 4.....	70
<b>Figura 22.</b> Curva de infiltración, punto 5.....	72
<b>Figura 23.</b> Gráfico comparación entre curvas de infiltración. ....	74

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Extracción de núcleos en la Av. 9 de Octubre. ....	85
<b>Anexo 2.</b> Extracción de subbase Av. 9 de Octubre.....	85
<b>Anexo 3.</b> Peso real de núcleos. ....	85
<b>Anexo 4.</b> Toma de dimensiones de núcleos.....	85
<b>Anexo 5.</b> Ensayo densidad aparente sumergida de núcleos.....	85
<b>Anexo 6.</b> Análisis granulométrico por tamizado subbase clase 3.....	85
<b>Anexo 7.</b> Gradación de material para ensayo de abrasión. ....	86
<b>Anexo 8.</b> Máquina de los ángeles, ensayo abrasión.....	86
<b>Anexo 9.</b> Material que pasa el tamiz 40 y retiene el tamiz 200. ....	86
<b>Anexo 10.</b> Copa de casa grande, ensayo límite líquido. ....	86
<b>Anexo 11.</b> Límite plástico para la subbase clase 3 (no posee).....	86
<b>Anexo 12.</b> Ensayo densidad de agregado grueso, subbase clase 3. ....	86
<b>Anexo 13.</b> Ensayo densidad de agregado fino, subbase clase 3. ....	87
<b>Anexo 14.</b> Macrotextura de la superficie de rodadura. ....	87
<b>Anexo 15.</b> Ensayo infiltrómetro de doble anillo. ....	87
<b>Anexo 16.</b> Tipo de fallas en especímenes de hormigón. Adaptado de NTE INEN 1573 (2011).....	87
<b>Anexo 17.</b> Evaluación visual pavimento rígido. ....	87

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**NEVI:** Norma Ecuatoriana Vial.

**TPDA:** Tráfico promedio diario anual.

**MTOP:** Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

**IEOS:** Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias.

**C:** Coeficiente de escurrimiento.

**NTE INEN:** Norma Técnica Ecuatoriana – Instituto Ecuatoriano de Normalización.

**ASTM:** American Society for Testing and Materials, traducido al español como la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

**SUCS:** Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials, traducido al español como Asociación Americana de Carreteras y Transporte Estatales.

**WSDOT:** The Washington State Department of Transportation traducido al español como el Departamento de Transporte del Estado de Washington.

**EMAAP-Q:** Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable Quito.

**SH:** Seca al horno.

**SSS:** Superficie satura seca.

**HS:** Altura de la mancha de arena.

## RESUMEN

La película de agua estancada en la superficie de rodadura o también llamada hidropelaje, constituye un peligro evidente para el tránsito vehicular desafiando los niveles de seguridad de los conductores. Siendo este parámetro importante para el diseño de las partes que componen al pavimento como por ejemplo los sistemas de drenaje, condición de la capa granular, resistencia a la compresión, macrotextura de la superficie, entre otros. Por tal motivo, se presentó la necesidad de evaluar las características físicas e hidráulicas del pavimento rígido en la Av. 9 de Octubre, debido a que el coeficiente de escurrimiento en la normativa proporcionada por la IEOS no ha sido actualizada desde 1992. La presente investigación demuestra que el coeficiente obtenido mediante ensayos in situ es mayor con respecto a la norma vigente. En cuanto a las características físicas se contempla un aumento en la resistencia a compresión y tensión los cuales se relacionan con el buen estado aparente de la capa de rodadura. Cabe mencionar que esta caracterización puede ser utilizada en posteriores investigaciones para el diseño de un pavimento permeable.

**Palabras clave:** Pavimento rígido, velocidad de infiltración, características, físicas, hidráulicas.

## ABSTRACT

The sheet of stagnant water in the road surface, also called hydroplaning, constitutes as an evident danger to vehicular traffic, daring the security levels of the drivers. This is why this parameter is important to the design pavement parts such as drainage systems, condition of the granular layer, compression resistance, surface macrotexture, among others. For this reason, it is necessary to evaluate physic and hydraulic characteristics of rigid pavement on 9 de Octubre Avenue, due to the runoff coefficient in the regulations provided by the IEOS has not been updated since 1992. The present investigation shows that the coefficient obtained through in situ tests is higher respect to the current standard. Regarding the physical characteristics, an increase in compressive and tensile resistance is planned, which is linked to the rolling layer's good apparent condition. It is worth noting that this categorization can be applied in future study to build a permeable pavement.

**Keywords:** Rigid pavement, infiltration speed, runoff, physical, hydraulic.



Revised by  
Mario N. Salazar

# **1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Introducción**

Existen en el mundo diferentes tipos de caminos que son componentes del desarrollo de las poblaciones, y están contruidos con pavimentos de diferentes tipologías que se caracterizan primordialmente de superficies de rodadura impermeable.

En Ecuador es común la construcción de pavimentos flexibles, rígidos y articulados, siendo la definición de pavimento según la NEVI-12 como la combinación de capas de subbase, base y de superficie de rodadura colocadas sobre una subrasante, para soportar cargas de tránsito y distribuir los esfuerzos en la plataforma. Dado que en el país el método más usado para la construcción de vías es el pavimento flexible, el pavimento rígido es una alternativa en cuestiones de alta capacidad de carga, seguridad, apariencia, poco mantenimiento, serviciabilidad, entre otros (Celi 2021).

De acuerdo con el diseño de este tipo de pavimento, una vía con características urbanas requiere de la construcción de drenajes superficiales y o sumideros conectados al alcantarillado, a fin de hacer la evacuación de las aguas superficiales siempre y cuando se dejen bien definidas las pendientes transversales y longitudinales ya que por ningún motivo se deben presentar estancamientos de agua sobre el pavimento (Mora y Argüelles 2015). Sin embargo, es muy común observar en invierno la sobresaturación de la capa subrasante de modo que al tener un tráfico pesado empeora la situación provocando inconvenientes (Ruiz 2014).

En relación con este tema según (Llerena y Ticlla 2020) la ocupación del suelo en el medio urbano se caracteriza por el aumento del área impermeable, ocasionando el aumento del escurrimiento superficial (crecidas), la degradación de la calidad de las aguas urbanas y la disminución de la recarga de las aguas subterráneas. En consecuencia, a este fenómeno la capa de rodadura se ve afectada por encharcamientos que generan baches e incomodan al usuario.

El objetivo principal de este trabajo es investigar las características físicas e hidráulicas relacionadas a la permeabilidad del pavimento de la Av. 9 de Octubre ubicada en la ciudad de Riobamba la cual conforma una de las principales vías de acceso, cuenta con aproximadamente 5 kilómetros de longitud de pavimento rígido por donde circulan alrededor de 22.000 vehículos TPDA según el MTOP; por lo cual, se encuentra expuesta a factores

como los descritos en los párrafos anteriores incluyendo a las condiciones climáticas como las intensas lluvias que ocurren a lo largo de la capa de rodadura.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

El pavimento rígido está conformado por varias capas en su estructura, por normativa vigente la superficie de rodadura elaborada con el uso de hormigón hidráulico presenta una característica de impermeabilidad que facilita el escurrimiento de precipitaciones pluviales generando flujos que se conducen hacia los elementos de drenaje vial.

Uno de los elementos esenciales correspondientes a los sistemas de drenaje viales son las cunetas, alcantarillas y sumideros, necesarios para evitar el estancamiento de agua en las calzadas y contrarrestar inundaciones, razón por la cual el diseño de las mismas debe cubrir el caudal máximo que fluye por la superficie de rodadura durante eventos de lluvia, en donde interviene el coeficiente de escurrimiento como una de las principales variables hidráulicas.

En el contexto vial, el coeficiente de escurrimiento determina la cantidad de agua que se esperaría que fluya durante las avenidas, siendo este la relación que existe entre cantidad de fluido que se desplaza sobre una superficie con el total de precipitación hasta llegar a desembocar en los sistemas de drenaje.

Esta característica hidráulica presente en el pavimento rígido, está relacionada a propiedades físicas, como la macrotextura en la superficie y el desgaste de los materiales que componen las capas de rodado, que a su vez describe la rugosidad y textura superficial de la capa de rodadura, esta se puede denotar en términos de profundidad de ranuras presentes en la superficie, pueden ser de forma de huella de neumático o transversales, y básicamente sirven para proporcionar a los neumáticos una resistencia adecuada al deslizamiento sobretodo en condiciones de humedad y lluvia.

En Ecuador existe las “Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes”, propuesta por La Subsecretaría de Saneamiento Ambiental y Obras Sanitarias y el Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), que no ha sido actualizada desde el año de 1992. En la norma se puede encontrar tabulados los coeficientes de escurrimiento para los diferentes tipos de superficies de pavimentos, notando que el rango en general oscila entre 0.35 – 0.90.

Analizando el contexto anterior, sabemos que en nuestro país no existe una actualización constate de la normativa, por lo tanto es complejo asegurar que los coeficientes pueden

representar las condiciones reales de escurrimiento del pavimento rígido, pues si nos acercamos a la realidad, los patrones de clima según región, lluvias y calidad de materiales son distintos, además los factores propios o locales de una vía en específico podrían darle cierta diferencia con el coeficiente que propone la norma ecuatoriana.

El problema de esta investigación está en la necesidad de evaluar el desempeño de los pavimentos existentes, además entender como las características mencionadas pueden afectar al flujo de agua de lluvia que corre por las calzadas de pavimentos rígidos y por qué afectan la seguridad y la comodidad de quienes las usan.

Por tales motivos nos hemos planteado el siguiente interrogante ¿Cómo afectan las características físicas e hidráulicas evaluadas en campo y laboratorio en los valores del coeficiente de escurrimiento medido en pavimentos rígidos existentes?

### **1.3 Justificación del Problema**

Las vías son construidas con pendientes transversales que permiten el escurrimiento del agua de precipitación a las cunetas que conducen el fluido hacia quebradas o colectores que cruzan debajo de las calzadas para posteriormente ser descargadas. El proceso mencionado es afectado por los escombros, basura o por obras de arte que obstaculizan las cunetas, lo cual durante las lluvias hace que el agua salga de su cauce y se encharque a lo largo de las vías, ocasionando derrapes de los vehículos afectando el nivel de seguridad de conductores y peatones, además los empozamientos producen la destrucción de la capa de rodadura, evidenciándose a través de fallas en el pavimento cada vez más severas, muchas veces provocadas por malos diseños en el sistema de drenaje vial.

Cuando se realiza diseños del sistema de drenaje de una vía, existen aspectos y características importantes que deben ser consideradas en el mismo, para dimensionar adecuadamente los componentes de drenaje requeridos, es importante tener en cuenta tanto la macrotextura como el coeficiente de escurrimiento, es decir, que esclarecer la real naturaleza de las características físicas e hidráulicas mencionadas, permitirán a los diseñadores de vías locales, dimensionar de una manera más acertada el drenaje vial (cunetas, rejillas, sumideros, entre otros).

Responder a la interrogante de investigación, permitirá aclarar el verdadero comportamiento de ciertas propiedades físicas e hidráulicas a nivel local del pavimento rígido existente en la ciudad, también la investigación será un aporte fundamental para clarificar la

conducta del coeficiente de escurrimiento de vías con similares características a la Av. 9 de Octubre, en conjunto el hallazgo habilitará el conocimiento, esto significa que se puede saber cómo se ven afectadas características no solo hidráulicas, sino también cuando las características físicas de la capa competentes del pavimento rígido influyen en el comportamiento hidráulico valorando estas mediante ensayos invasivos como la macrotextura y medidas no destructivas como el desgaste de la capa de rodadura.

#### **1.4 Objetivos**

##### **General**

Determinar las principales condiciones físicas e hidráulicas de un tramo de prueba de pavimento existente en la Av. 9 de Octubre utilizando la extracción de núcleos y métodos de infiltración.

##### **Específicos**

- Analizar las características físicas del pavimento.
- Examinar las propiedades hidráulicas de la capa de rodadura.

## **2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 ANTECEDENTES**

#### **2.1.1 Av. 9 de Octubre**

Según El MTOP (2014) se ejecutó la rehabilitación de la Circunvalación de Riobamba de 22 kilómetros de longitud comprendida entre el By Pass, la Av. Maldonado y la Av. 9 de Octubre; con el objetivo de mejorar la circulación de aproximadamente 22.000 vehículos, que según datos del TPDA circulan por estas zonas de mayor congestión.

En el caso de la Av. 9 de Octubre se sabe que su longitud total es de 5.35 kilómetros, toda su composición es de pavimento rígido y cuenta con dos carriles de circulación una por cada sentido, adicionalmente 8.50 m de calzada y 2.0 m de parterre central con 23 cm espesor y la sección transversal del tramo es de 2.50m (Soto y Martínez 2015).

#### **2.1.2 Pavimento rígido y sus ventajas**

Por conocimientos generales se sabe que la vida útil del pavimento rígido está relacionado al diseño, mantenimiento y alta capacidad de resistencia al mantenerse expuesto a condiciones climáticas extremas. Sin embargo, el tipo de mantenimiento que se brinde al pavimento (rutinario, preventivo, correctivo) puede tener costos altamente representativos en comparación con el pavimento flexible.

El pavimento de hormigón es muy utilizado en todo el mundo debido a sus diversas ventajas, como la alta rigidez y capacidad de carga, resistencia superior a la deformación, buenas propiedades de reflexión de la luz y baja adsorción de radiación solar, el pavimento de concreto es una opción ideal para caminos urbanos con mucho tráfico (Leng et al. 2023).

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina subbase. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir un poco más los esfuerzos a la tensión, el comportamiento es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante (Paucar 2022).

### **2.1.3 Pavimento rígido en el Ecuador**

En Ecuador se carece de normas de última generación para el diseño de estructuras de pavimento por lo que se adoptan las normativas internacionales como AASHTO 93, AASHTO 2008, PCA84, y se adapta el Manual de Construcción de Pavimentos Rígidos y las Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos y Puentes, en los cuales se detallan; especificaciones técnicas que deben cumplir tanto los materiales que serán utilizados para el diseño de las mezclas, así como material de préstamo, rubros y formas de pago (Auqui y Ramírez 2019).

### **2.1.4 Permeabilidad en suelo urbano**

En la investigación realizada por (Cadena 2020) menciona que los efectos y cambios asociados en el uso del suelo, específicamente los aumentos de desechos en las superficies impermeables, ha venido ayudando durante mucho tiempo a la investigación hidrológica urbana. En otras palabras, la contaminación es inevitable al crecimiento de las ciudades, sumándole la constante deforestación para dar espacio a nuevos proyectos urbanísticos (Guzmán 2016). Sin embargo, los estudios y cálculos que consideran las superficies impermeables por sí solas no abarcan todos los factores que influyen en la respuesta hidrológica urbana.

Concordando con (Zalechak, Basualdo y Ruberto 2017), el cual indica que dicho aumento de la densidad poblacional está directamente relacionado al aumento de la impermeabilidad y ello trae como consecuencia el aumento del escurrimiento superficial, situación que deriva en la necesidad de ampliar la capacidad de evacuación de los sistemas de micro y macrodrenaje.

Tal es el caso de Huánuco situado en la región sierra de Perú, en donde la expansión demográfica está incrementándose considerablemente y con ello los grandes procesos de urbanización, al mismo tiempo que, se observan fuertes precipitaciones en épocas de invierno, a esto sumado la impermeabilización continua en el pavimento y la infraestructura obsoleta para evacuar las aguas superficiales, provocan el aumento de riesgos por inundación (Japa 2020).

### **2.1.5 Permeabilidad en pavimentos rígidos**

Los pavimentos permeables proporcionan soluciones de drenaje sostenibles para urbanizaciones. La infiltración de agua de lluvia en la superficie del pavimento previene

inundaciones y hace frente a una intensidad de lluvia diez veces mayor que los sistemas tradicionales de drenaje por tuberías y canales (Coupe et al. 2013).

Los pavimentos permeables son un tipo especial de pavimento que trabaja como un sistema de drenaje sostenible, debido a que su diseño permite la infiltración del agua acumulada en la superficie por medio de la subbase filtrante además de almacenarla temporalmente en la misma, para su posterior disposición o infiltración en el terreno (Guerra y Guerra 2020).

Los charcos desaparecen de inmediato ya que el material puede contener agua en su interior mientras esta se infiltra al subsuelo, lo cual permite reducir o incluso eliminar los drenajes pluviales. También, permiten la recarga de los mantos acuíferos mediante la infiltración del agua, además del control de la contaminación de aguas pluviales y la reducción de deslizamiento sobre la superficie de los caminos y carreteras. Adicionalmente, ayudan a reducir el deslumbramiento en gran medida en las superficies del camino, sobre todo cuando está mojado de noche y sobretodo reducen el ruido de la interacción entre el neumático y el pavimento (Guzmán 2016).

### **2.1.6 Pavimento rígido y pavimento permeable en América**

Como su nombre indica el pavimento rígido se caracteriza por tener una estructura sólida e impermeable, compuesta por losas de hormigón y una base granular los cuales están relacionados a su alta capacidad de carga, sin embargo, debido a su impermeabilidad requieren de sistemas de drenajes de alta calidad para evitar el escurrimiento proveniente de las precipitaciones.

Por el contrario, los pavimentos permeables surgen como una alternativa al reemplazo total o parcial de los sistemas de drenaje convencionales, su característica principal es que el agua infiltre a través de su estructura, sus compuestos son de material granular de diferente porosidad y tamaño, teniendo como ventajas la recarga natural de acuíferos, la reducción de escorrentía superficial y deslizamientos sobre la calzada, así mismo la mitigación de problemas ambientales como efectos de isla de calor. Si bien son asociados a bajos índices de tráfico, existen en el continente investigaciones y ejemplos de pavimentos permeables trabajando en conjunto con sistemas de drenaje:

- En Florida Estados Unidos, se implementó pavimento permeable en un tramo de la vía I-95 para tráfico pesado; por su parte en el Aeropuerto Internacional en

Denver Colorado se instalaron pavimentos permeables en las zonas de estacionamiento de los aviones; otro ejemplo es la Avenida Brasil ubicada en Santiago de Chile que tiene una gran parte de pavimento permeable en conjunto con su sistema de drenaje para gestionar agua lluvia y nieve.

- Respecto a investigaciones realizadas, podemos encontrar que el Centro de Investigación y Tecnología del Hormigón (CRH) de Chile, que evaluó el comportamiento del tráfico pesado con pavimento permeable obteniendo resultados alentadores en cuanto a su resistencia y durabilidad; otra universidad en el continente que desarrolla investigaciones del tema es la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), que resalta que dicho material surge como una alternativa futura a los problemas de inundaciones cada vez más frecuentes en las ciudades.

Además, cabe mencionar que en Ecuador existen trabajos de investigación sobre diseños de dicho pavimento pero usualmente son adaptaciones de investigaciones que no son realizadas en el país, es donde surge la necesidad de tener bases de datos propias de la región, para que dichas variables y resultados puedan ser de utilidad para el diseño de drenajes y pavimentos permeables, incluyendo así un estudio de características físicas e hidráulicas de pavimentos locales existentes que puede impulsar futuras investigaciones en otros campos.

### **2.1.7 Capas granulares**

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad (Mendoza y Ospina 2018).

Se precisan tres tipos de subbases, con diferentes especificaciones granulométricas. Los materiales clase 1 están constituidos por agregados obtenidos por trituración de roca o gravas y graduados uniformemente y por lo menos el 30% del agregado deberá obtenerse por proceso de trituración. Las subbases clase 2 están constituidas por agregados obtenidos mediante trituración o cribado en yacimientos de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas y graduados uniformemente. La subbase granular clase 3 estará constituida por agregados naturales (Zambrano et al. 2020).

### **2.1.8 Normativas MTOP para subbases clase 3**

La subbase clase 3 es una capa importante para garantizar la durabilidad de las estructuras de pavimentos rígidos. En Ecuador, se utiliza en una gran variedad de proyectos viales, incluyendo carreteras, calles y estacionamientos. El material que se utiliza para la construcción de la subbase tipo 3 debe cumplir con las características definidas en el Manual de Obras del MTOP. Estas características garantizan que el material tenga las propiedades mecánicas adecuadas para soportar la carga de la capa de rodadura.

La subbase tipo 3 es una capa granular que se construye sobre la subrasante para mejorar sus propiedades mecánicas y proporcionar un soporte adecuado para la capa de rodadura. En Ecuador, las características de esta capa están definidas en las Especificaciones Generales del MTOP. Entre las principales características se describe:

**Granulometría:** El material debe estar compuesto por agregados gruesos, con un porcentaje de finos inferior al 20%. El tamaño máximo de los agregados debe ser de 76.2 mm. Esta granulometría permite que el material tenga una buena capacidad de drenaje, resista la carga de la capa de rodadura, evita la capilaridad, reduce efectos de congelamiento y disminuya los cortes.

**Abrasión:** El coeficiente de desgaste de los Ángeles debe ser inferior a 50 %. Este valor indica que el material tiene una buena resistencia a la abrasión, lo que evita que se deforme con el tiempo.

**Plasticidad:** La fracción que pasa el tamiz N°40 debe ser no plástica. Esta condición asegura que el material tenga una buena capacidad de drenaje y evite la formación de baches.

### **2.1.9 Investigaciones relacionadas al tema de investigación**

Existen estudios en el país como la investigación: “Comparación técnica entre los ensayos de laboratorio de módulo young y CBR para base y subbase. Caso de estudio: mina materiales pétreos r/r (Cantera Ramirez)” propuesta por (Tafur 2020), el cual presenta los estudios realizado a una subbase clase 3, en resumen, presenta su clasificación de suelo A-1-b según AASHTO y SM para la normativa SUCS, concluyendo que es una arena limosa con grava. También un dato que nos proporciona dicha investigación en la Tabla 4.15 son las gravedades específicas y densidades de los agregados gruesos.

Cabe resaltar la investigación de (Soto y Martínez 2015) “Investigación del método constructivo de pavimento rígido en la avenida circunvalación de la ciudad de Riobamba,

resultados obtenidos y su aplicación en otros proyectos”, que tiene relación con la caracterización física y mecánica de los especímenes obtenidos en la Av. 9 de Octubre; en dicha investigación, se aprecia la elaboración de cilindros de hormigón solicitados por fiscalización la cual realizó el estudio correspondiente teniendo como resultado un valor de 36.85 Mpa a la resistencia a la compresión y 3,98 Mpa de resistencia a tracción directa promedio de los cilindros al inicio de la construcción de la avenida. En dicho documento también se redacta las especificaciones del texturizado que se realizó inicialmente en la superficie de 1,5 mm.

Con relación al coeficiente de escorrentía el Distrito Metropolitano de Quito cuenta con las Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado propuesta por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable EMAAP-Q en el año 2009, la cual se basa en una actualización, complementación y adecuación de la normativa expuesta por el EX IEOS con fin de lograr una gestión eficiente de los servicios básicos en la capital.

El coeficiente que presenta la EMAAP-Q, se encuentra relacionado al entorno: rural o urbano además del período de retorno y las características de la superficie, tal es el caso del concreto cuyo rango va de 0.75 – 0.83 en un período de retorno entre 2 – 10 años. Cabe destacar que el período de retorno es el número de veces que un evento (lluvias) puede ser igualado o excedido, el mismo que se determina de acuerdo con el tipo de obra e importancia del área de estudio. Esta variable es relevante para el cálculo de la intensidad de lluvia y así obtener el caudal pluvial con el cual se realiza el diseño del drenaje pluvial.

En cuanto al trabajo de investigación de (Castillo y Padilla 2014), redacta que la topografía de las calles Riobamba tiene pendientes poco pronunciadas; es decir que un 90% de calles tiene pendientes longitudinales que varían entre el 1% y el 3%, el solo 10% restante tiene pendientes mayores al 3% según datos de la oficina de topografía del Gobierno Autónomo Descentralizado de Riobamba.

## **2.2 DEFINICIONES GENERALES**

### **2.2.1 Métodos invasivos evolución**

La rigidez y el espesor de las losas de hormigón de cemento Portland (PCC) de estructuras de pavimento rígido son dos parámetros importantes en la construcción. En la mayoría de los casos, la rigidez del pavimento debe establecerse antes de diseñar, monitorear y evaluar los pavimentos de las carreteras. Para determinar estos parámetros generalmente se llevan a cabo

pruebas convencionales, como extracción de testigos en campo y resistencia a la compresión en laboratorio (Rosyidi et al. 2021).

### **2.2.2 Hidroplaneo**

Una situación incómoda que puede generarse debido a deficiencias en el diseño hidráulico o a las condiciones topográficas de la vía en calles construidas con el concreto convencional son las películas de agua estancada en la superficie del pavimento, generando así la pérdida de adherencia entre la llanta del vehículo con la superficie del pavimento produciendo una inestabilidad de contacto entre estos, fenómeno conocido como hidroplaneo; además los períodos intensos de lluvias, pueden hacer colapsar los sistemas de drenaje, por lo que se necesita que disminuya el caudal para no saturar dicho sistema (Falcón y Santos 2016).

El hidroplaneo se produce debido a la incapacidad del pavimento para evacuar con rapidez el agua, ya sea por un diseño inadecuado de la pendiente de la carretera, un drenaje deficiente o una acumulación rápida de agua durante una tormenta. Además, la falta de agarre entre los neumáticos y la superficie pavimentada puede dar lugar a situaciones peligrosas, como deslizamientos o pérdida de control del vehículo, lo cual provoca altos índices de accidentes de tránsito.

Como profesional en pavimentos, es crucial diseñar carreteras con sistemas de drenaje eficientes y superficies texturizadas que minimicen el riesgo de hidroplaneo, garantizando así la seguridad de los usuarios de la carretera, incluso en condiciones climáticas adversas.

## **2.3 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO.**

Las propiedades hidráulicas de los pavimentos rígidos juegan un papel vital en su desempeño y durabilidad. Estas características están estrechamente relacionadas con la capacidad del pavimento para drenar eficazmente el agua de lluvia y mantener la integridad estructural en condiciones adversas. Además, la alta resistencia al agua del hormigón utilizado en pavimento rígido reduce la infiltración de agua en las capas inferiores. Esta propiedad es crucial para proteger el subsuelo de la saturación y la erosión.

### **2.3.1 Diferencia entre porcentaje de absorción, humedad y vacíos.**

En el contexto de pavimentos rígidos el porcentaje de absorción se refiere netamente a la cantidad de agua que el material puede absorber respecto a su propio peso. Al contrario, del porcentaje de humedad que se refiere en si ya al contenido de agua presente en el hormigón

en este caso, además el exceso de humedad puede afectar a la compactación y a la resistencia de los materiales y el suelo.

Finalmente, el porcentaje de vacíos es para hablar de la porosidad del material, es decir los espacios porosos o huecos presentes en el pavimento, es importante aclarar que la distribución de los vacíos afecta la capacidad de drenaje del mismo.

### **2.3.2 Coeficiente de escurrimiento**

Para evaluar la eficiencia del pavimento (capacidad de reducir el caudal pico y favorecer la infiltración) se emplea el coeficiente de escurrimiento (C), definido como la razón entre los volúmenes escurrido y precipitado (Zegarra et al. 2015).

El coeficiente de escurrimiento es una propiedad hidráulica del pavimento, se lo expresa en porcentaje, se suele utilizar el método del infiltrómetro de doble anillo para obtenerlo.

### **2.3.3 Velocidad de infiltración**

También una propiedad hidráulica es la velocidad de infiltración para llegar a la saturación comúnmente expresada en milímetros sobre hora (mm/h), se suele medir la velocidad con la que el agua se infiltra en el pavimento hasta que llegue a su estado de saturación, el ensayo es similar al del escurrimiento, es decir, por pruebas de infiltración.

La importancia de conocer el coeficiente de escurrimiento radica en que el agua infiltrada dentro del pavimento puede producir daños a la superficie de rodadura cuando sus capas son aptas para drenar el líquido y evitar el fenómeno de capilaridad, y a su vez a las capas del suelo que soporta la estructura. Por lo tanto, es importante cuantificar la cantidad de agua que ingresa a un pavimento, para poder estimar los daños en circulación con mayor precisión, y además contribuir al diseño del subdrenaje de los pavimentos (Contreras 2020).

### **2.3.4 Tiempo de Saturación**

El agua con el tiempo afecta en general a todos los tipos de pavimentos, algunos tienen un mejor desempeño cuando se sujetan a periodos más prolongados de humedad.

Obtenida a partir de los ensayos de infiltración mencionada en el ítem anterior, es básicamente el tiempo que el pavimento necesita para alcanzar el estado de saturación, generalmente medido en horas.

### **2.3.5 Superficie saturada seca**

Debido a una barrera impermeable, el agua en capas inferiores o subsuelo no se puede drenar cuando la superficie se satura y se seca. Esto conduce a una acumulación de presión hidrostática debajo del pavimento. Esta situación puede repercutir negativamente en la capacidad de sustentación del pavimento al reducir su resistencia y provocar deformaciones.

Es vital diseñar un sistema de drenaje adecuado mientras se construye el pavimento para evitar problemas relacionados con la saturación del suelo seco. Los efectos de la acumulación de agua en el subsuelo se pueden reducir y la estabilidad del pavimento se puede mantener a lo largo del tiempo mediante el uso de materiales con propiedades de drenaje efectivas y la inclusión de capas de drenaje en el diseño.

### **2.3.6 Permeabilidad**

La resistencia al paso del agua a través del pavimento es crucial para proteger las capas inferiores y la subrasante de la saturación y la erosión. Un pavimento rígido con un cierto grado de deterioro varía su permeabilidad inicial respecto de una condición nueva. Adicionalmente, cuando las juntas se hallan en buen estado se convierte en puntos permeables. De la misma forma, la capacidad de un pavimento rígido para drenar eficientemente el agua de lluvia es esencial para evitar la formación de charcos y el hidroplaneo, lo que garantiza una conducción segura y cómoda en condiciones húmedas.

### **2.3.7 Escorrentía reducida**

La textura de la superficie y el grado de rugosidad del pavimento pueden tener un impacto en la tasa y el volumen de la escorrentía, lo que puede ser crucial en áreas propensas a inundaciones para salvaguardar el entorno circundante, en especial en zonas planas del camino.

## **2.4 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO**

### **2.4.1 Macrotextura**

Una propiedad física importante de los pavimentos es la macrotextura, que por lo general se refiere a la rugosidad superficial, para poder medirla es necesario un equipo especializado como un perfilómetro láser que escanea la superficie y registra las irregularidades como una profundidad expresada en milímetros.

Representan irregularidades superficiales de un firme de carretera con dimensiones horizontales que oscilan entre 0,5 y 50 mm y dimensiones verticales entre 0,2 y 10 mm. La macrotextura está relacionada con el tamaño de árido, el diseño de la mezcla y la puesta en obra (compactación), así como con los tratamientos superficiales aplicados (si los hay) (Ipiates 2019).

La presencia de una macrotextura en la superficie del pavimento facilita el drenaje del agua debajo de los neumáticos del vehículo, reduciendo así el riesgo de hidropneumático. Sin embargo, una mayor textura macro conduce a un mayor costo de combustible debido a una mayor resistencia a la rodadura (Leng et al. 2023).

La macrotextura se encuentra relacionada con la resistencia de derrape en la cual influye el factor de fricción. El método más común para medir la macrotextura es el Sand Patch Test o más conocido como el Círculo de Arena, el cual se detalla en la norma ASTM E965-96; el objetivo del ensayo es medir el diámetro del círculo resultante una vez esparcida la arena en el pavimento, con lo cual se determina la profundidad promedio del asfalto que se relaciona con el factor de fricción. Según The Washington State Department of Transportation (WSDOT) se requiere, para vías transitadas por un gran número de vehículos, una profundidad promedio de 1,5 mm (Cabrera y Stammitti 2014).

#### **2.4.2 Desgaste a la abrasión**

El desgaste a la abrasión es la pérdida gradual de material mineral que compone la superficie y sus capas integrantes debido a la fricción generada por el tráfico vehicular y factores ambientales como la erosión, las precipitaciones, el viento y los cambios de temperatura. Este fenómeno puede llevar a una disminución de la calidad y la durabilidad del pavimento con el tiempo.

Esta propiedad física del pavimento se suele determinar en laboratorio, mediante pruebas de proceso de abrasión controlado, se mide como un porcentaje de desgaste con respecto a la masa inicial de la muestra.

La resistencia del pavimento a los efectos del tráfico, el clima y otros factores externos que pueden resultar en desperdicio se conoce como abrasión. Un pavimento elaborado con agregados resistentes a la abrasión es más duradero y mantiene su calidad en el tiempo.

Los rangos en pavimentos rígidos pueden cambiar según el tipo de tráfico, las características geográficas de la ubicación y otros factores únicos relacionados con el

proyecto. A continuación, se proporciona algunos ejemplos de rangos de abrasión típicos para pavimentos rígidos:

Un desgaste superficial leve puede provocarse a lo largo de 10 a 15 años en áreas de tráfico moderado y no requiere mantenimientos significativos; los desgastes moderados pueden requerir mantenimientos rutinarios o rehabilitaciones de 8 a 12 años; por lo contrario, carreteras de alta resistencia a la abrasión están diseñadas para tráfico pesado y pueden mantener su calidad de 15 a 20 años o incluso más antes de una rehabilitación.

### **2.4.3 Capacidad portante**

La portabilidad del pavimento rígido se refiere a su capacidad para soportar cargas de tráfico sin sufrir deformaciones excesivas. Esto depende de la resistencia de las capas que la componen, la resistencia del concreto y las características del suelo adyacente.

### **2.4.4 Densidad de capas granulares**

La densidad y la capacidad granular están relacionadas con qué tan apretados están los materiales que componen el pavimento. Una buena densidad asegura una menor deformidad, lo que contribuye a un mayor nivel de servicio (Chapoñan y Quispe 2017).

### **2.4.5 Resistencia**

La resistencia mecánica del pavimento rígido es fundamental para soportar el peso del tráfico de automóviles sin sufrir daños apreciables. El pavimento de alta resistencia ofrece mayor durabilidad y reduce la necesidad de costosas reparaciones.

## **3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.3 Tipo de investigación**

El tipo de investigación aplicada en el presente trabajo es “cuantitativa”, debido que se caracterizó a la capa de rodadura de hormigón y a la subbase que la antecede mediante ensayos in situ y en laboratorio.

### **3.4 Diseño de la investigación**

Diseño descriptivo que consiste en la recopilación de datos que describen los acontecimientos y luego organiza, tabula, representa y describe la recopilación de datos haciendo uso de gráficos para su mayor comprensión (Abreu 2012); permitiendo así detallar tal cual se presentan las características físicas, hidráulicas y mecánicas del pavimento rígido

de la Av. 9 de Octubre, siendo estos datos obtenidos útiles para posteriores trabajos de investigación.

### 3.5 Diagrama metodológico

El presente diagrama muestra la secuencia de pasos para cumplir con los objetivos planteados.

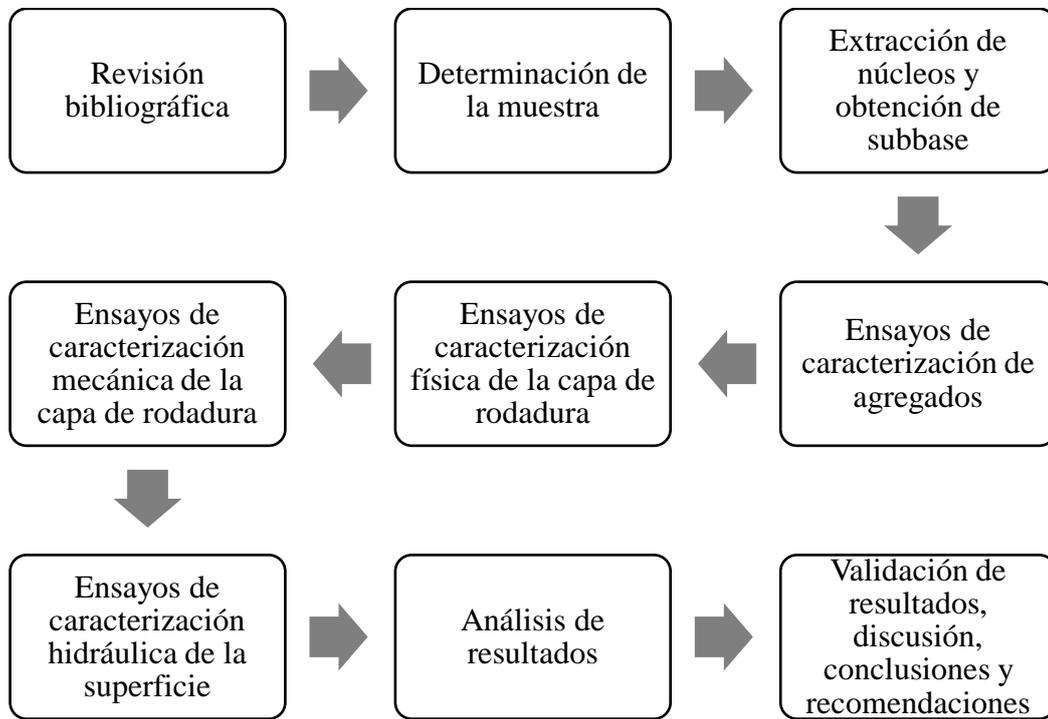


Figura 1. Diagrama metodológico.

### 3.6 Técnicas instrumentos y procedimientos de recolección de datos

#### 3.6.1 Granulometría de agregados NTE INEN 696

Este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la graduación de materiales con el propósito de utilizarlos como áridos para hormigón o utilizarlos como áridos para otros propósitos. Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas con los requisitos de las especificaciones aplicables y proporcionar la información necesaria para el control de la producción de diversos productos de áridos y mezclas que contengan áridos. La información también puede ser útil en el desarrollo de relaciones para estimar la porosidad y el arreglo de las partículas (INEN, Áridos - Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso 2011).

### **3.6.2 Desgaste del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm NTE INEN 860**

Esta norma establece el método de ensayo para determinar el valor de la degradación del árido grueso de tamaño inferior a 37,5 mm (gravas, piedras naturales, materiales obtenidos por trituración), mediante la pérdida de masa por desgaste e impacto utilizando la máquina de Los Ángeles (INEN, Áridos - Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles 2011).

### **3.6.3 Densidad y absorción de agregado fino NTE INEN 856**

Este método de ensayo se aplica para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido fino (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido. Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad es expresada como: seca al horno (SH), saturada superficialmente seca (SSS) o como densidad aparente. De la misma manera, la densidad relativa (gravedad específica), una cantidad adimensional, es expresada como SH, SSS o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad SH y la densidad relativa SH se determinan luego de secar el árido. La densidad SSS, densidad relativa SSS y la absorción se determinan luego de saturar el árido en agua por un periodo definido (INEN, Áridos - Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino 2010).

### **3.6.4 Densidad y absorción de agregado grueso NTE INEN 857**

Este método de ensayo se aplica para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido grueso (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido. Dependiendo del procedimiento utilizado, la densidad es expresada como: seca al horno (SH), saturada superficialmente seca (SSS) o como densidad aparente. De la misma manera, la densidad relativa (gravedad específica), una cantidad adimensional, es expresada como SH, SSS o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad SH y la densidad relativa SH se determinan luego de secar el árido. La densidad SSS, densidad relativa SSS y la absorción se determinan luego de saturar el árido en agua por un periodo definido (INEN, Áridos - Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso 2010).

Para la determinación del porcentaje de absorción en núcleos extraídos, se hizo uso de la normativa indicada.

### 3.6.5 Extracción de núcleos ASTM C42

La extracción de núcleos de hormigón se basa en la norma ASTM C 42, misma que en su aplicación dicta que los diámetros de los especímenes a extraer deben ser de 94mm (4" in) de diámetro o en ciertos casos muestras con diámetros pequeños de 50mm (Saá 2019). Una vez extraído el núcleo se debe secarlo superficialmente y colocarlo en una funda para mantener su humedad hasta el día del ensayo; tomar en cuenta que es necesario cortar las caras de los núcleos para su posterior estudio ASTM C42 (2003).

### 3.6.6 Resistencia a la compresión de núcleos NTE INEN 1573

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico moldeados o núcleos perforados que tengan una densidad mayor que 800 kg/m<sup>3</sup>. Cabe mencionar que en la misma norma se menciona el cálculo para determinar la densidad y el volumen sumergido (INEN, Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico 2011).

### 3.6.7 Contenido de humedad NTE INEN 862

Esta norma establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de humedad evaporable por secado en una muestra de áridos, tanto correspondiente a la humedad superficial, como la humedad contenida en los poros del árido. En caso de las partículas grandes o mayores de 50 mm, queda a consideración del usuario el tiempo de secado que proporcionen la precisión necesaria tal es el caso de los núcleos de hormigón extraídos (INEN, Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad 2011).

### 3.6.8 Porcentaje de vacíos

En el caso de este cálculo, se utilizó conocimientos previos de tal manera que, el volumen de vacíos es equivalente a la cantidad de agua que se encuentra en los poros de cada muestra. Para mayor entendimiento se muestra el siguiente cálculo típico:

1. Teóricamente sabemos que el porcentaje de vacíos es igual a la siguiente expresión:

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{\text{Volumen de vacíos}}{\text{Volumen total del núcleo}} \times 100$$

2. Calculamos la cantidad de agua absorbida por la muestra:

$$\text{Masa de Agua (g)} = \text{SSS} - \text{Md}$$

Md: Masa del núcleo seca al horno

SSS: Masa del núcleo superficialmente saturado seco (Peso húmedo).

3. El volumen de agua presente en el núcleo es equivalente al volumen de vacíos de la muestra, entonces dividimos la masa del agua para su densidad teórica de 0,998 g/cm<sup>3</sup>, para obtener el volumen de vacíos del núcleo:

$$\text{Volumen de Vacíos (cm}^3\text{)} = \frac{\text{Masa del agua (g)}}{0,998 \text{ g/cm}^3}$$

4. Ya con el volumen de vacíos, podemos utilizar la fórmula de “Volumen de Vacíos (cm<sup>3</sup>)”; adicionalmente hay que tener en cuenta que se debe utilizar el volumen aparente sumergido que sería el equivalente al “Volumen total del núcleo” es decir, incluyendo los poros.

### **3.6.9 Tracción directa de núcleos ASTM C496**

Este método cubre la determinación del esfuerzo de tensión por partidura en especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos taladrados. El mismo consiste en la aplicación de una fuerza compresiva diametral a lo largo del espécimen cilíndrico (ASTM, Esfuerzo de tensión por partidura en especímenes cilíndricos de concreto 1996)

### **3.6.10 Macrotextura del pavimento ASTM E965**

Este método de prueba describe un procedimiento para determinar la profundidad promedio de la macrotextura de una superficie pavimentada por medio de la aplicación cuidadosa de un volumen conocido de material en la superficie y la posterior medición del área total cubierta. La técnica está diseñada para proveer un valor promedio de profundidad sólo de la macrotextura pavimentada y es considerada insensible a las características de la microtextura (ASTM, Método de prueba estándar para medir la profundidad de macrotextura del pavimento usando una técnica volumétrica 1996)

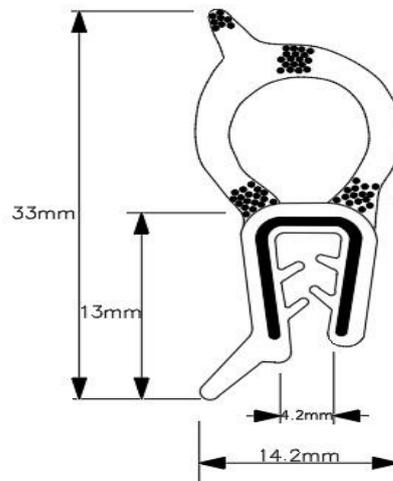
### **3.6.11 Tasa de infiltración en pavimento rígido ASTM D3385**

El método del infiltrómetro de doble anillo consiste en conducir dos cilindros abiertos, uno dentro del otro, en el suelo, llenando parcialmente los anillos con agua u otro líquido, y luego manteniendo el líquido a un nivel constante. El volumen de líquido agregado al anillo interno, para mantener constante el nivel de líquido, es la medida del volumen de líquido que infiltra

el suelo (ASTM, Tasa de infiltración de suelos en el campo utilizando un infiltrómetro de doble anillo 2003).

De la misma manera se realiza el ensayo en un pavimento rígido, sin embargo, se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones para la colocación de este en la superficie:

- Las dimensiones de los dos cilindros concéntricos serán: Diámetro cilindro interior de 250 mm, diámetro cilindro exterior de 450 mm, ambos con una altura de 600 mm.
- Los cilindros están elaborados de acero galvanizado de 1.5 mm de espesor con un peso total de 22.5 kg.
- En el contorno inferior de ambos cilindros se colocará un caucho (burlete) con alma metálica de uso común para sellar contenedores. Se utilizó este caucho por la facilidad que genera al encajar con el filo del toll.



**Figura 2.** Perfiles burletes alambrados 341. Esquema adaptado de GLOBAL RUBBER CORPORATION S.A.C.



**Figura 3.** Vista superior del caucho, se observa el alma metálica.

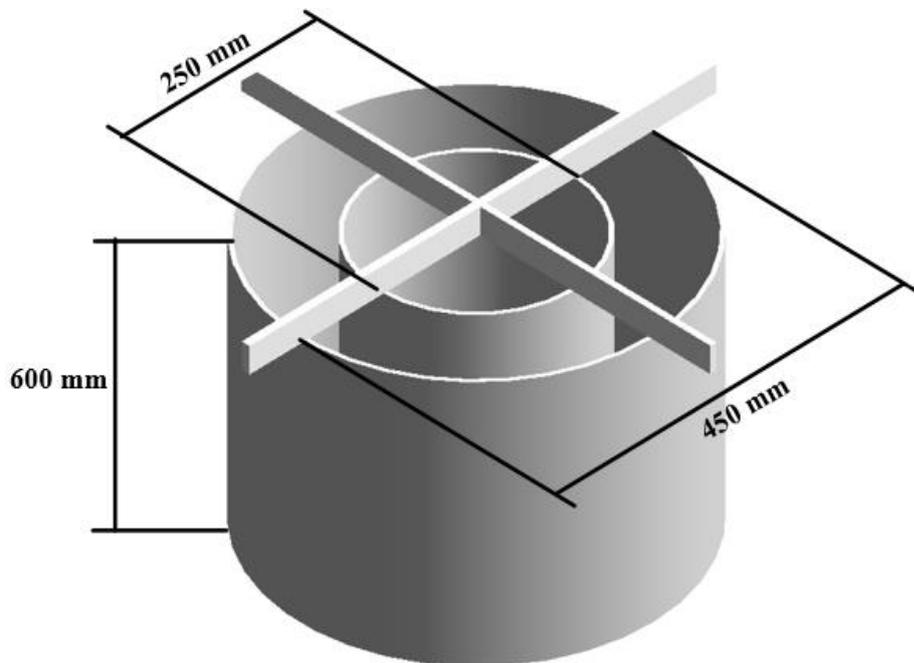


**Figura 4.** Vista lateral caucho.

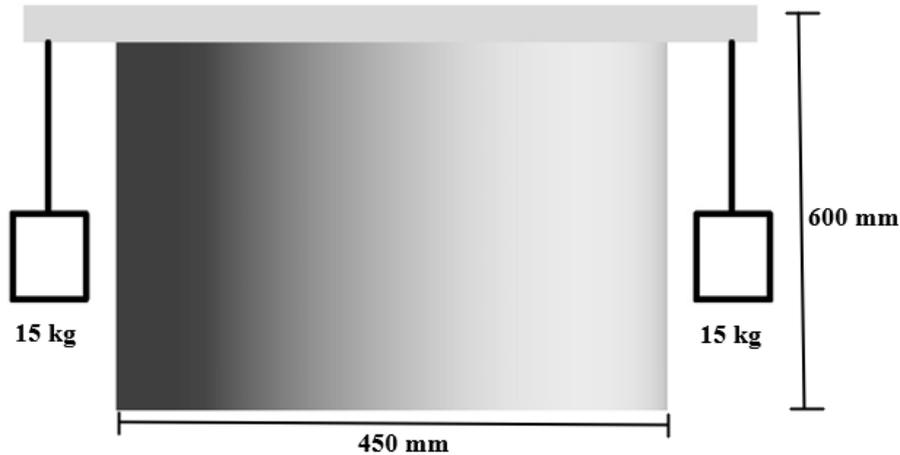


**Figura 5.** Contorno inferior de cilindros con caucho.

- Una vez colocado el caucho en los cilindros, se asientan los mismos en el pavimento y en las 4 esquinas del marco portante se colgará un peso de 15 kg por lado, es decir, un total de 60 kg con la finalidad de evitar filtración de agua por los contornos de los cilindros.



**Figura 6.** Esquema infiltrómetro de doble anillo.



**Figura 7.** Vista lateral infiltrómetro, 15 kg por cada lado del marco portante.

- Para mayor seguridad, se hará uso de un adhesivo sellador de uso múltiple para evitar el paso de agua entre el pavimento rígido - caucho y así mismo en la unión entre el inicio y el final del caucho. Mediante una pistola metálica para cartucho de silicón, se distribuirá la silicona por los contornos inferiores de los cilindros. Además, es importante mencionar que la superficie se encuentre totalmente seca para que la silicona se adhiera sin inconvenientes.

### **3.7 Definición de la muestra**

#### **3.7.1 Población**

Pavimento rígido de la Avenida 9 de Octubre ubicada en la ciudad de Riobamba

#### **3.7.2 Muestra:**

En 5.35 km de la Av. 9 de Octubre, 5 especímenes cilíndricos de hormigón de 3.75 in (95 mm) de diámetro aproximadamente de acuerdo a la normativa ASTM C42 (2003). Una muestra por cada kilómetro de calzada (estrato), teniendo en cuenta la seguridad, importancia y facilidad de la toma de cilindros en sitio.

#### **3.7.3 Tipo de muestreo:**

Probabilístico Estratificado

#### **3.7.4 Tamaño de la Muestra:**

Para la avenida 9 de Octubre de 5 km de longitud es necesario al menos 1 muestra por cada kilómetro de calzada, para poder realizar los ensayos respectivos, señalados en la metodología de investigación.

### 3.7.5 Criterios de Selección

#### Uniformidad de la vía:

Mediante observación directa a la superficie de rodadura, se puede mencionar que el pavimento rígido no presenta afectaciones altamente representativas, sin embargo, en épocas de alta precipitación, la intersección de la Av. 9 de Octubre y Av. La Prensa sufre inundaciones debido a factores como la acumulación de basura e ineficiencia de los sumideros, por tal motivo es un punto de análisis del presente trabajo de investigación. Por el restante de la longitud de la avenida, cualquier punto puede considerarse para ser investigado.

#### Ubicación estratégica:

Para la extracción de muestras se consideran las intersecciones con alto flujo vehicular TPDA, además de las características superficiales de la capa de rodadura, es decir, que no presenten fisuras ni grietas, inclusive que la extracción se realice en una zona donde no se encuentren varillas.

**Tabla 1.** Estratos por kilómetro de superficie de rodadura.

TRAMOS	COORDENADAS UTM			
	INICIO		FIN	
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
0-1	763030.00	9813028.00	763456.00	9813094.00
1-2	762163.00	9813501.00	763030.00	9813028.00
2-3	761275.00	9813589.00	762163.00	9813501.00
3-4	760612.00	9814325.00	761275.00	9813589.00
4-5	759967.00	9815084.00	760612.00	9814325.00
5-6	759393.00	9815867.00	759967.00	9815084.00



**Figura 8.** Estratos por kilómetro de la Av. 9 de octubre.

**Tabla 2.** Coordenadas planificadas para toma de muestras.

PUNTOS	COORDENADAS UTM	
	ESTE	NORTE
1	762652.00	9813229.00
2	762046.00	9813499.00
3	761099.00	9813740.00
4	760542.00	9814392.00
5	759928.00	9815104.00



**Figura 9.** Puntos de extracción planificados en cada estrato.

## 4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS

### 4.1 ENSAYOS SUBBASE CLASE 3

#### 4.1.1 Datos granulometrías

**Tabla 3.** Datos y resultados iniciales granulometría Subbase Clase 3.

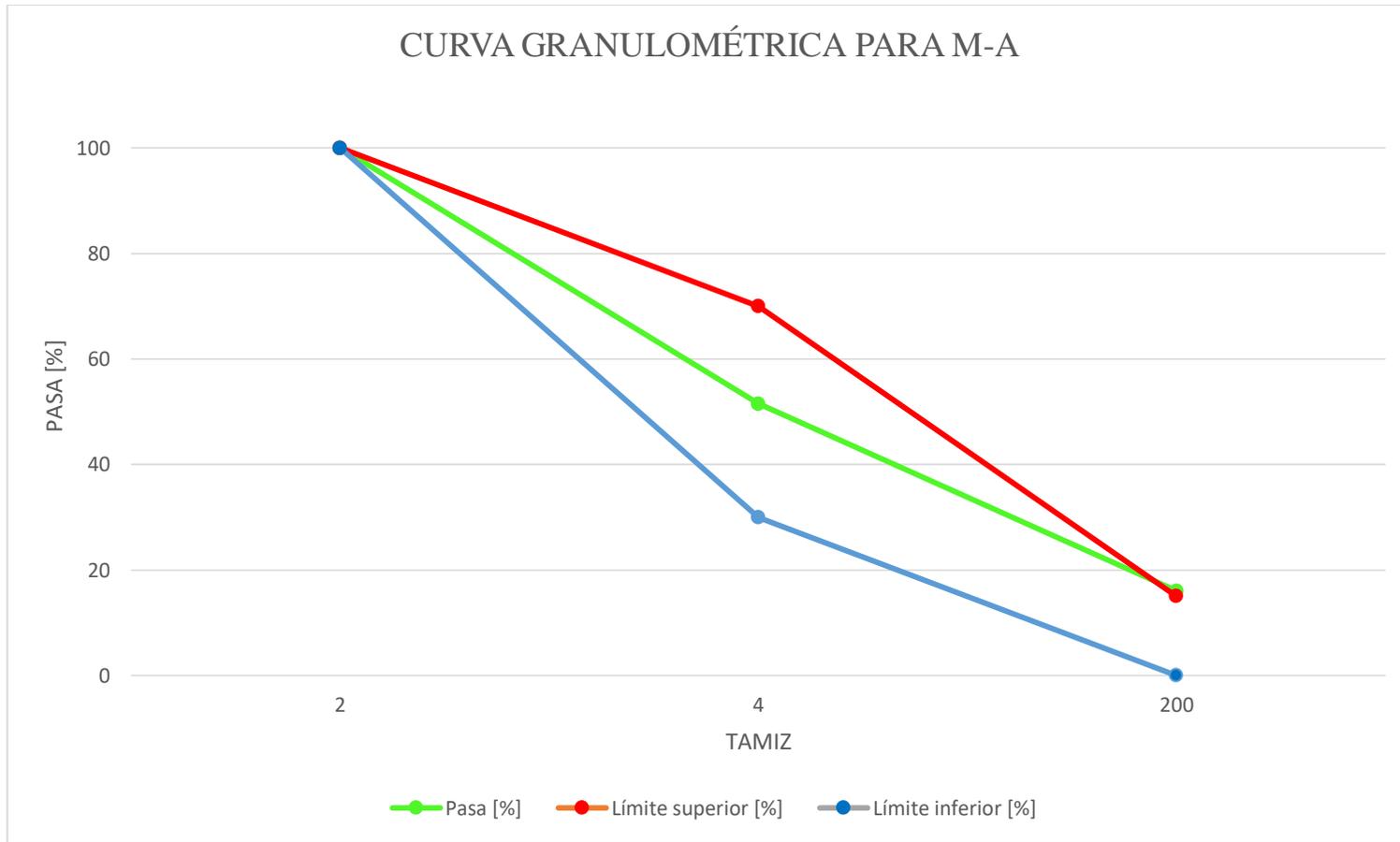
Ensayo	Tipo de Material	Procedencia del Material	Masa Inicial Seca (g)	Masa Final (g)	Porcentaje de Error (%)	% Error <3% No se repite el Ensayo	Tamaño Máximo (in)	Tamaño Nominal Máximo (in)
Granulometría M-A	Subbase	Av. 9 de Octubre	1000	996,00	0,40	CUMPLE	2	1 1/2
Granulometría M-B	Subbase	Av. 9 de Octubre	1000	1000,00	0,00	CUMPLE	2	1 1/2

La tabla 3 muestra los parámetros necesarios para el cumplimiento del ensayo granulométrico, siendo verificado un error menor al 3% para evitar repetir el ensayo, además un tamaño máximo de 2” concordante para las dos granulometrías.

#### 4.1.2 Resultados granulometría M-A

**Tabla 4.** Granulometría M-A de Subbase Clase 3.

Abertura en (mm)	Tamiz ASTM	Peso Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasa (%)	Material Obtenido	Límite superior (%)	Límite inferior (%)	Arenas (%)	Gravas (%)	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
50,00	2	0	0,00	0	100,00		100	100			<b>SUBBASE CLASE 3</b>
37,50	1 1/2	94	9,44	9,44	90,56	Grava Gruesa					Procedencia del material: Av. 9 de Octubre
25,00	1	180	18,07	27,51	72,49						Profundidad de la muestra: 30 cm
19,00	3/4	54,000	5,42	32,93	67,07						Peso de la muestra: 1000 g
12,5	1/2	60,000	6,02	38,96	61,04						Tamaño máximo nominal: 1 1/2 "
9,5	3/8	22,000	2,21	41,16	58,84	Grava Fina			35,44%	48,49%	<b>Estado de Consistencia</b>
6,3	1/4	46,000	4,62	45,78	54,22						LL NP
4,75	4	27,000	2,71	48,49	51,51	Arena Gruesa	70	30			LP NP
2	10	82,000	8,23	56,73	43,27						IP NP
0,425	40	135,000	13,55	70,28	29,72						<b>Clasificación SUCS</b> SM = Arena limosa
0,15	100	87,000	8,73	79,02	20,98	Arena Fina					A-1-b =
0,075	200	49,000	4,92	83,94	16,06		15	0			<b>Clasificación AASHTO</b> Fragmentos de piedra grava y arena
	<b>Bandeja</b>	160	16,06	100,00	0						
	<b>Total</b>	996,00	100								

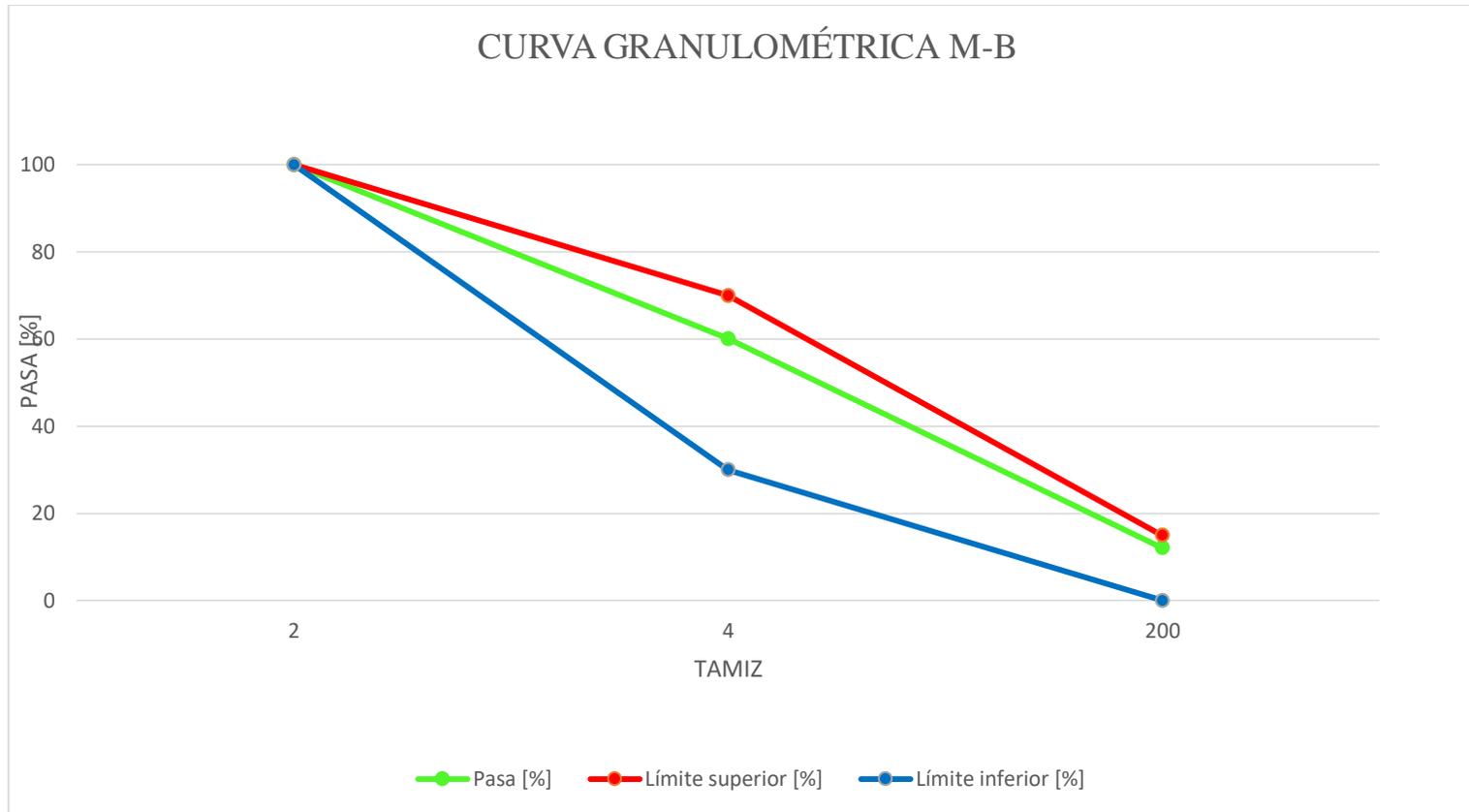


**Figura 10.** Curva granulométrica M-A, Subbase Clase 3.

### 4.1.3 Resultados granulometría M-B

**Tabla 5.** Granulometría M-B de Subbase Clase 3.

Abertura en (mm)	Tamiz ASTM	Peso Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasa (%)	Material Obtenido	Límite superior (%)	Límite inferior (%)	Arenas (%)	Gravas (%)	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
50,00	2	0,00	0,00	0	100,00		100	100			<b>SUBBASE CLASE 3</b>
37,50	1 1/2	147,00	14,70	14,70	85,30	Grava Gruesa					Procedencia del material: Av. 9 de Octubre
25,00	1	0,00	0,00	14,70	85,30						Profundidad de la muestra: 30 cm
19,00	3/4	58,00	5,80	20,50	79,50						Peso de la muestra: 1000 g
12,5	1/2	49,00	4,90	25,40	74,60						Tamaño máximo nominal: 1 1/2 "
9,5	3/8	51,00	5,10	30,50	69,50	Grava Fina			48,00%	39,90%	<b>Estado de Consistencia</b>
6,3	1/4	61,00	6,10	36,60	63,40						LL NP
4,75	4	33,00	3,30	39,90	60,10		70	30			LP NP
2	10	118,00	11,80	51,70	48,30	Arena Gruesa					IP NP
0,425	40	181,00	18,10	69,80	30,20						<b>Clasificación SUCS</b> SM = Arena limosa
0,15	100	117,00	11,70	81,50	18,50	Arena Fina					A-1-b =
0,075	200	64,00	6,40	87,90	12,10		15	0			<b>Clasificación AASHTO</b> Fragmentos de piedra grava y arena
	<b>Bandeja</b>	121	12,10	100,00	0						
	<b>Total</b>	1000,00	100								

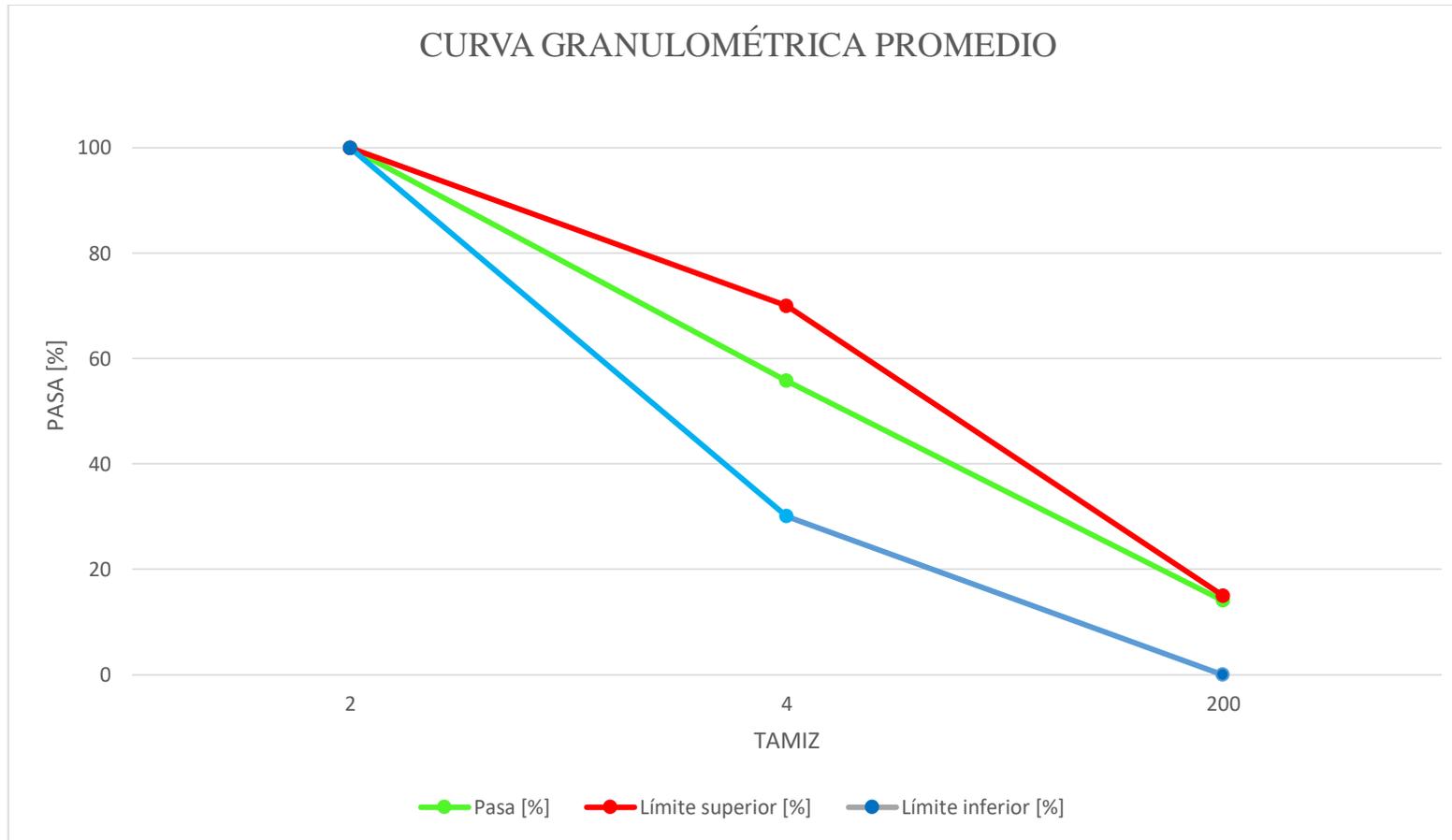


**Figura 11.** Curva granulométrica M-B, Subbase Clase 3.

#### 4.1.4 Promedio granulometrías

**Tabla 6.** Promedio granulometrías, Subbase Clase 3.

Abertura en (mm)	Tamiz ASTM	Pasa 1 (%)	Pasa 2 (%)	PROMEDIO PASA (%)	Material Obtenido	Límite superior (%)	Límite inferior (%)	PROMEDIO ARENA (%)	PROMEDIO GRAVA (%)	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
50,00	2	100	100	100		100	100			<b>SUBBASE CLASE 3</b>
37,50	1 1/2	90,56	95,30	92,93	Grava Gruesa					Profundidad de la muestra: 30 cm
25,00	1	72,49	85,29	78,89						Peso de la muestra: 1000 g
19,00	3/4	67,07	79,48	73,27						Tamaño máximo nominal: 1 1/2 "
12,5	1/2	61,04	74,57	67,81						<b>Estado de Consistencia</b>
9,5	3/8	58,84	69,47	64,15	Grava Fina					LL NP
6,3	1/4	54,22	63,36	58,79				48,30%	37,01%	LP NP
4,75	4	51,51	60,06	55,78	Arena Gruesa	70	30			IP NP
2	10	43,27	48,25	45,76						<b>Clasificación SUCS</b>
0,425	40	29,72	30,23	29,97						SM = Arena Limosa
0,15	100	20,98	18,52	19,75	Arena Fina					A-1-b =
0,075	200	16,06	12,11	14,09		15	0			<b>Clasificación AASHTO</b> Fragmentos de piedra grava y arena



**Figura 12.** Curva granulométrica promedio. Subbase Clase 3.

Analizando las tablas 4 y 5, de acuerdo con la SUCS es una arena limosa y en el caso de la clasificación AASHTO es un suelo tipo A-1-b, es decir, fragmentos de piedra grava y arena; la misma muestra no posee límites de Atterberg. Adicionalmente, la tabla 6 representa un promedio de ambas granulometrías obteniendo el mismo resultado de clasificación de suelo, siendo así una arena limosa mezclada con grava con exceso de partículas gruesas.

#### 4.1.5 Resultados de abrasión

**Tabla 7.** Resultados abrasión, gradación tipo A, Subbase Clase 3.

Nro	Tipo de Material	Procedencia del Material	Grado de la muestra	Número de vueltas	Número de esferas	Masa de carga (g)	Muestra Inicial de ensayo (g)	Muestra retenida en el tamiz No12 (g)	Degradación (%)
1	Subbase Clase 3		A	500	12	5000±25	5092	3259	36,00
2	Subbase Clase 3	Av. 9 de Octubre	A	500	12	5000±25	5062	3284	35,12
3	Subbase Clase 3		A	500	12	5000±25	5088	3314	34,87
<b>PROMEDIO</b>									<b>35,33</b>

La tabla 7 representa el porcentaje de desgaste a la abrasión, para la cual se realizó tres ensayos con el fin de obtener el promedio, siendo este del 35,33%, que para las normas INEN 860 y 861 (AASHTO T-96), con 500 vueltas de la máquina de Los Ángeles, este desgaste debe ser menor al 50% en el caso de subbases Clase 3, verificando el tipo de subbase que fue colocada en la avenida estudiada.

#### 4.1.6 Densidades de agregados

##### Resultados densidad agregado fino

**Tabla 8.** Densidad del agregado fino, Subbase Clase 3.

<b>DENSIDAD DE AGREGADO FINO</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	
Masa seca	A	497,6	g	
Masa Picnómetro + agua	B	1227,3	g	
Masa Picnómetro + agua+agregado	C	1503,9	g	
Masa en estado SSS	S	500	g	
Masa seca (ensayo de absorción)	Sabs	488	g	
<b>RESULTADOS</b>				
<b>Densidades Relativas</b>				
Gravedad específica seca al horno	<b>SG<sub>SH</sub></b>	2,227	-	
Gravedad específica saturada superficialmente seca	<b>SG<sub>SSS</sub></b>	2,238	-	
Gravedad específica aparente	<b>SG<sub>A</sub></b>	2,252	-	
<b>Densidad</b>				
Densidad seca al horno	<b>d<sub>SH</sub></b>	2221,826	(kg/m <sup>3</sup> )	
Densidad saturada superficialmente seca	<b>d<sub>SSS</sub></b>	2232,543	(kg/m <sup>3</sup> )	
Densidad aparente	<b>d<sub>A</sub></b>	2245,955	(kg/m <sup>3</sup> )	
<b>Absorción</b>				
Porcentaje de absorción del material	<b>Abs</b>	2,459	%	

##### Resultados agregado grueso

**Tabla 9.** Densidad del agregado grueso, Subbase Clase 3.

<b>DENSIDAD DE AGREGADO GRUESO</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	
Masa seca	A	1983	g	
Masa en estado SSS	B	2064	g	
Masa aparente en agua de la muestra saturada	C	1160,5	g	
<b>RESULTADOS</b>				
<b>Densidades Relativas</b>				
Gravedad específica seca al horno	<b>SG<sub>SH</sub></b>	2,195	-	
Gravedad específica saturada superficialmente seca	<b>SG<sub>SSS</sub></b>	2,284	-	
Gravedad específica aparente	<b>SG<sub>A</sub></b>	2,411	-	
<b>Densidad</b>				
Densidad seca al horno	<b>d<sub>SH</sub></b>	2189,311	(kg/m <sup>3</sup> )	
Densidad saturada superficialmente seca	<b>d<sub>SSS</sub></b>	2278,738	(kg/m <sup>3</sup> )	
Densidad aparente	<b>d<sub>A</sub></b>	2404,915	(kg/m <sup>3</sup> )	
<b>Absorción</b>				
Porcentaje de absorción del material	<b>Abs</b>	4,085	%	

## 4.2 ENSAYOS NÚCLEOS

### 4.2.1 Datos núcleos de pavimento rígido Av. 9 de Octubre.

**Tabla 10.** Resultados de la medición los núcleos de pavimento rígido.

Probeta	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro promedio (mm)	Longitud 1 (mm)	Longitud 2 (mm)	Longitud 3 (mm)	Longitud promedio (mm)	Longitud promedio (cm)
Núcleo 1	94,65	94,15	94,72	94,51	100,54	100	100,18	100,24	10,02
Núcleo 2	95,04	95,2	94,4	94,88	168,21	167,93	168,88	168,34	16,83
Núcleo 3	95,12	95,1	94,97	95,06	113,18	114,09	115,04	114,10	11,41
Núcleo 4	94,71	94,93	94,78	94,81	162,35	162,83	162,58	162,59	16,26
Núcleo 5	95,29	95,08	95	95,12	172,12	172,2	172,32	172,21	17,22

### 4.2.2 Resultados ensayo densidad aparente de núcleos

**Tabla 11.** Densidad aparente sumergida de núcleos.

Probeta	Masa (kg)	Masa aparente sumergida (kg)	Densidad del agua (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Núcleo 1	1,647	0,88987	997,5	759,0	2,170
Núcleo 2	2,679	1,4678	997,5	1214,2	2,206
Núcleo 3	2,756	1,5047	997,5	1254,4	2,197
Núcleo 4	2,843	1,5527	997,5	1293,5	2,198
Núcleo 5	2,794	1,5131	997,5	1284,1	2,176
<b>Promedio</b>					2,189

La tabla 11 muestra el volumen sumergido obtenido por cada núcleo del ensayo de la “canastilla” para posteriormente obtener el resultado de la gravedad específica de las muestras, teniendo un promedio de 2,189 g/cm<sup>3</sup>, además que el dato de masa aparente nos servirá para calcular posteriormente el porcentaje de absorción y de vacíos.

### 4.2.3 Resultado densidad real de los núcleos

**Tabla 12.** Densidad real de los núcleos.

DENSIDAD REAL NÚCLEOS							
Probeta	Longitud promedio (mm)	Longitud promedio (cm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Núcleo 1	100,24	10,02	7014,79	70,15	703,16	1647	2,34
Núcleo 2	162,59	16,26	7059,40	70,59	1147,76	2679	2,33
Núcleo 3	168,34	16,83	7070,32	70,70	1190,22	2756	2,32
Núcleo 4	114,10	11,41	7097,67	70,98	809,87	2843	3,51
Núcleo 5	172,21	17,22	7106,63	71,07	1223,86	2794	2,28
<b>PROMEDIO</b>							<b>2,56</b>

La densidad obtenida promedio por los núcleos es de 2,56 g/cm<sup>3</sup>, calculada con la masa original de los núcleos extraídos en campo.

### 4.2.4 Resultado humedad, absorción y vacíos

**Tabla 13.** Porcentajes de humedad, absorción y vacíos de núcleos.

Probeta	Procedencia de los núcleos	Masa Mo (g)	Masa Md (g)	Masa SSS (g)	Humedad %	Absorción %	Vacíos %
Núcleo 1		1647	1589	1658	3,65	4,34	9,11
Núcleo 2		2679	2545	2691	5,27	5,74	12,05
Núcleo 3	Av. 9 de octubre	2756	2671	2765	3,18	3,52	7,51
Núcleo 4		2843	2737	2859	3,87	4,46	9,45
Núcleo 5		2794	2660	2808	5,04	5,56	11,55
<b>PROMEDIO</b>					<b>4,20</b>	<b>4,72</b>	<b>9,93</b>

Los porcentajes presentes en la tabla 13 muestran que la cantidad de agua presente en el material es de 4,20% según el porcentaje de humedad, para la cantidad de agua que es capaz de absorber el material es de 4,72% es decir el porcentaje de absorción, y finalmente la porosidad dentro de los núcleos es de un 9,93% como nos muestra el resultado de porcentaje de vacíos.

#### 4.2.5 Resultados ensayo de compresión y tracción de cilindros

**Tabla 14.** Resultados ensayo de núcleos a compresión.

COMPRESIÓN DE NÚCLEOS														
Probeta	Fecha de ensayo	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro promedio (mm)	Longitud 1 (mm)	Longitud 2 (mm)	Longitud 3 (mm)	Longitud promedio (mm)	Longitud promedio (cm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	Resistencia Máxima (MPa)
Núcleo 2	11/10/2023	95,04	95,2	94,4	94,88	168,21	167,93	168,88	168,34	16,83	7070,32	316,40	316400	44,75
Núcleo 3	11/10/2023	95,12	95,1	94,97	95,06	113,18	114,09	115,04	114,10	11,41	7097,67	300,80	300800	42,38
Núcleo 5	11/10/2023	95,29	95,08	95	95,12	172,12	172,2	172,32	172,21	17,22	7106,63	325,40	325400	45,79
<b>Promedio</b>														<b>44,31</b>



**Figura 13.** Núcleo 2 ensayo de compresión, falla tipo 4 (ver anexo 16).



**Figura 14.** Núcleo 3 ensayo de compresión, falla tipo 3 (ver anexo 16).



**Figura 15.** Núcleo 5 ensayo de compresión, falla tipo 3 (ver anexo 16).

**Tabla 15.** Resultados ensayo de núcleos a tracción directa.

TRACCIÓN DIRECTA														
Probeta	Fecha de ensayo	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro promedio (mm)	Longitud 1 (mm)	Longitud 2 (mm)	Longitud 3 (mm)	Longitud promedio (mm)	Longitud promedio (cm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga Máxima (KN)	Carga Máxima (N)	Resistencia Máxima (MPa)
Núcleo 1	11/10/2023	94,65	94,15	94,72	94,51	100,54	100	100,18	100,24	10,02	7014,79	37,44	37437	5,34
Núcleo 4	11/10/2023	94,71	94,93	94,78	94,81	162,35	162,83	162,58	162,59	16,26	7059,40	62,06	62056	8,79
													<b>Promedio</b>	<b>7,06</b>

Adicionalmente se compara los resultados de la tabla 14 y 15 con los valores de la tesis “Investigación del método constructivo de pavimento rígido en la avenida circunvalación de la ciudad de Riobamba, resultados obtenidos y su aplicación en otros proyectos.” (Soto y Martínez 2015). En la cual se describe una resistencia a la tracción y compresión promedio de 3,98 Mpa y 36,85 Mpa respectivamente, mientras que los resultados obtenidos son de 7,06 Mpa a tracción directa y 44,31 Mpa respecto a la resistencia a compresión, de manera que se observa un aumento en la resistencia del hormigón presente en la vía.



**Figura 16.** Núcleo 1 ensayo tracción directa, rotura fuera del diámetro por presencia de irregularidad en la superficie del núcleo



**Figura 17.** Núcleo 4 ensayo tracción directa, rotura a lo largo del diámetro.

### 4.3 RESULTADO ENSAYO IN-SITU

#### 4.3.1 Resultado ensayo círculo de arena

Tabla 16. Resultado círculo de arena.

	Para un volumen = 25000 mm <sup>3</sup>								
	Diámetro promedio C1 (mm)	Altura (mm)	Diámetro promedio C2 (mm)	Altura (mm)	Diámetro promedio C3 (mm)	Altura (mm)	Diámetro promedio C4 (mm)	Altura [mm]	Altura promedio final (mm)
<b>Punto 1</b>	240,50	0,550	222,50	0,643	174,00	1,051	139,50	1,636	0,970
<b>Punto 2</b>	205,75	0,752	204,75	0,759	175,00	1,039	113,25	2,482	1,258
<b>Punto 3</b>	250,25	0,508	211,25	0,713	249,50	0,511	187,25	0,908	0,660
<b>Punto 4</b>	213,00	0,702	223,00	0,640	222,25	0,644	245,75	0,527	0,628
<b>Punto 5</b>	196,75	0,822	183,50	0,945	157,25	1,287	206,50	0,746	0,950

La tabla 16 demuestra la aplicación del ensayo del círculo de arena para determinar las características de rugosidad y las irregularidades relativamente aparentes en la superficie del pavimento rígido, de acuerdo con el método ASTM E 965-96 (2006). Para el “Manual de construcción de pavimentos rígidos tomo 2, normas para pavimentos rígidos” del MTOP, los valores obtenidos se encuentran entre  $0,6 \text{ mm} \leq HS \leq 1,2 \text{ mm}$ .

### 4.3.2 Resultados prueba de infiltración del pavimento

#### Datos de los puntos tomados en campo

**Tabla 17.** Evaluación visual de la superficie de rodadura (ver anexo 17).

Puntos	Fisuras	Desprendimiento	Pulimento Superficial	Desportillamiento	Deficiente material de sello	Observaciones
Punto 1	No posee	No posee	Medio	-	-	Mitad de losa
Punto 2	-	-	-	No posee	No posee	Junta de la losa
Punto 3	Baja	No posee	Medio	-	-	Mitad de losa
Punto 4	-	-	-	Baja	No posee	Junta de losa
Punto 5	Baja	No posee	Medio	-	-	Mitad de losa

**Tabla 18.** Datos punto 1, ensayo de infiltración.

DATOS DE CAMPO				
<b>Fecha:</b>	Lunes, 13 de Noviembre de 2023			
<b>Ciudad:</b>	Riobamba-Chimborazo			
<b>Lugar:</b>	Avenida 9 de Octubre			
<b>Clima:</b>	Soleado	<b>Estado de la vía:</b>	Bueno	
<b>Coordenada del punto:</b>	<b>ESTE</b>	762652.00		
	<b>NORTE</b>	9813229.00		
<b>Tipo de Pavimento:</b>	Rígido			
	INTERVALO	TIEMPO (Hora)	h (cm)	
	-	9:37 a. m.	0 Horas	10
	9:37 a. m.	11:37 a. m.	2 Horas	10,3
	11:37 a. m.	1:37 p. m.	2 Horas	10,6
	1:37 p. m.	3:37 p. m.	2 Horas	11
	3:37 p. m.	5:37 p. m.	2 Horas	11,3
	5:37 p. m.	7:37 p. m.	2 Horas	11,5
	7:37 p. m.	9:37 p. m.	2 Horas	11,7
	9:37 p. m.	10:37 p. m.	1 Hora	11,75
	10:37 p. m.	11:37 p. m.	1 Hora	11,8
<b>Observaciones:</b> La zona de ensayo no presenta agrietamientos, además el infiltrómetro fue colocado en la mitad de la losa de pavimento.				

**Tabla 19.** Datos punto 2, ensayo de infiltración.

<b>DATOS DE CAMPO</b>			
<b>Fecha:</b>	Jueves, 16 de Noviembre de 2023		
<b>Ciudad:</b>	Riobamba-Chimborazo		
<b>Lugar:</b>	Avenida 9 de Octubre		
<b>Clima:</b>	Despejado	<b>Estado de la vía:</b>	Bueno
<b>Coordenada del punto:</b>		<b>ESTE</b>	762046.00
		<b>NORTE</b>	9813499.00
<b>Tipo de Pavimento:</b>	Rígido		
INTERVALO	TIEMPO (Hora)	h (cm)	
-	9:00 a. m.	0 Horas	10
9:00 a. m.	11:00 a. m.	2 Horas	10,7
11:00 a. m.	1:00 p. m.	2 Horas	11,5
1:00 p. m.	3:00 p. m.	2 Horas	11,9
3:00 p. m.	4:00 p. m.	1 Hora	12,3
4:00 p. m.	5:00 p. m.	1 Hora	12,6
5:00 p. m.	6:00 p. m.	1 Hora	13
6:00 p. m.	7:00 p. m.	1 Hora	13,3
7:00 p. m.	8:00 p. m.	1 Hora	13,4
8:00 p. m.	9:00 p. m.	1 Hora	13,4
9:00 p. m.	10:00 p. m.	1 Hora	13,4
<b>Observaciones:</b> La zona de ensayo no presenta agrietamientos, además el infiltrómetro fue colocado justo en la junta de la losa de pavimento.			

**Tabla 20.** Datos punto 3, ensayo de infiltración.

<b>DATOS DE CAMPO</b>			
<b>Fecha:</b>	Viernes, 17 de Noviembre de 2023		
<b>Ciudad:</b>	Riobamba-Chimborazo		
<b>Lugar:</b>	Avenida 9 de Octubre		
<b>Clima:</b>	Despejado	<b>Estado de la vía:</b>	Bueno
<b>Coordenada del punto:</b>		<b>ESTE</b>	761099.00
		<b>NORTE</b>	9813740.00
<b>Tipo de Pavimento:</b>	Rígido		
<b>INTERVALO</b>		<b>TIEMPO (Hora)</b>	<b>h (cm)</b>
-	8:00 a. m.	0 Horas	10
8:00 a. m.	10:00 a. m.	2 Horas	10,3
10:00 a. m.	12:00 p. m.	2 Horas	10,5
12:00 p. m.	2:00 p. m.	2 Horas	10,7
2:00 p. m.	4:00 p. m.	2 Horas	10,9
4:00 p. m.	5:00 p. m.	1 Hora	11
5:00 p. m.	6:00 p. m.	1 Hora	11,1
6:00 p. m.	7:00 p. m.	1 Hora	11,2

**Observaciones:** La zona de ensayo no presenta agrietamientos, además el infiltrómetro fue colocado en la mitad de la losa de pavimento, en la noche previa al ensayo llovió.

**Tabla 21.** Datos punto 4, ensayo de infiltración.

<b>DATOS DE CAMPO</b>			
<b>Fecha:</b>	Sábado, 18 de Noviembre de 2023		
<b>Ciudad:</b>	Riobamba-Chimborazo		
<b>Lugar:</b>	Avenida 9 de Octubre		
<b>Clima:</b>	Lluvioso	<b>Estado de la vía:</b>	Bueno
<b>Coordenada del punto:</b>		<b>ESTE</b>	760542.00
		<b>NORTE</b>	9814392.00
<b>Tipo de Pavimento:</b>	Rígido		
	<b>INTERVALO</b>	<b>TIEMPO (Hora)</b>	<b>h (cm)</b>
	- 8:00 a. m.	0 Horas	10
8:00 a. m.	10:00 a. m.	2 Horas	10,5
10:00 a. m.	12:00 p. m.	2 Horas	10,9
12:00 p. m.	2:00 p. m.	2 Horas	11,3
2:00 p. m.	4:00 p. m.	2 Horas	11,7
4:00 p. m.	6:00 p. m.	2 Horas	12
6:00 p. m.	7:00 p. m.	1 Hora	12,3
7:00 p. m.	8:00 p. m.	1 Hora	12,4
8:00 p. m.	9:00 p. m.	1 Hora	12,5
9:00 p. m.	10:00 p. m.	1 Hora	12,6
10:00 p. m.	11:00 p. m.	1 Hora	12,6
<b>Observaciones:</b> La zona de ensayo no presenta agrietamientos, además el infiltrómetro fue colocado justo en la junta de la losa de pavimento, llovió ligeramente durante casi todo el ensayo.			

**Tabla 22.** Datos punto 5, ensayo de infiltración.

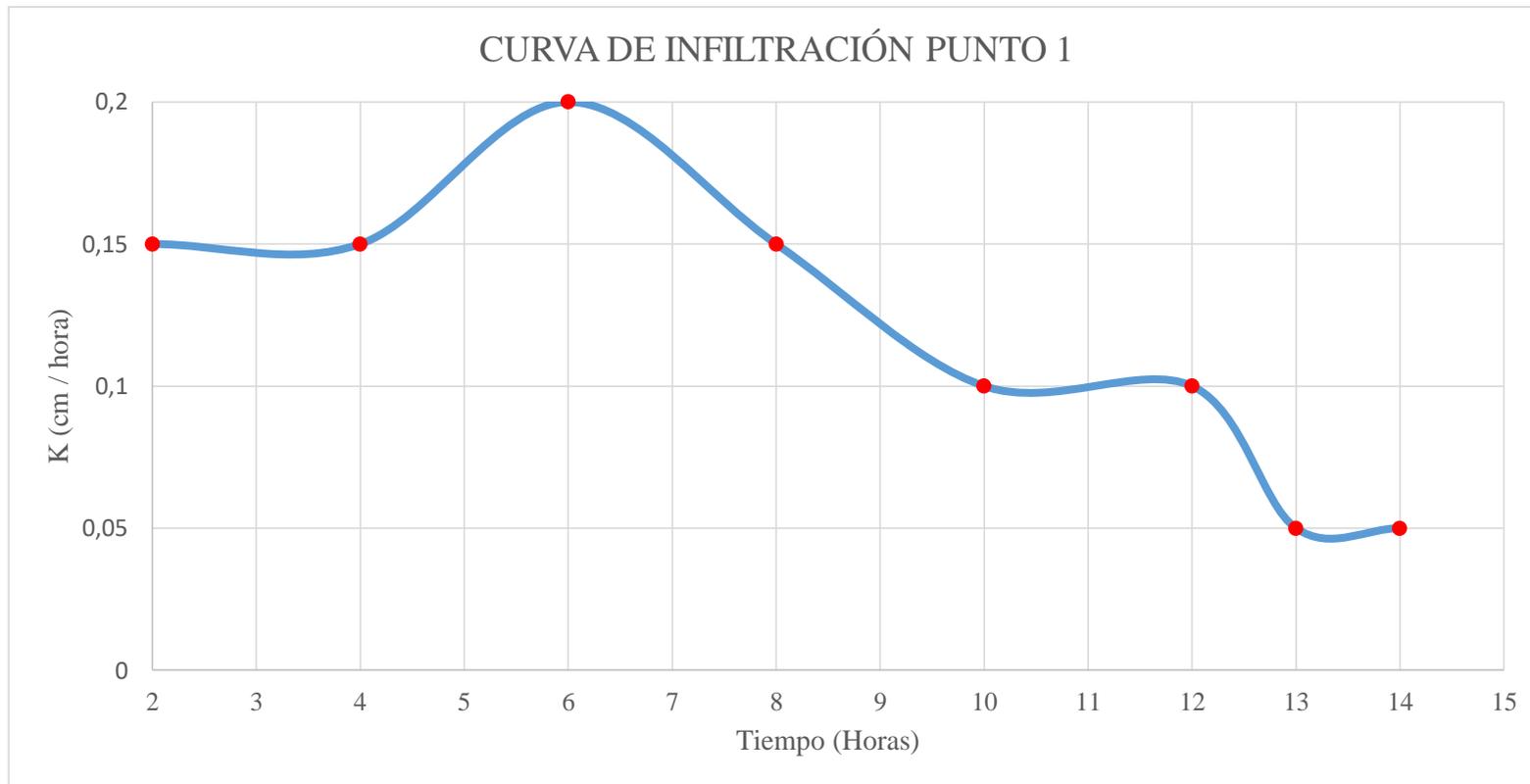
<b>DATOS DE CAMPO</b>			
<b>Fecha:</b>	Domingo, 19 de Noviembre de 2023		
<b>Ciudad:</b>	Riobamba-Chimborazo		
<b>Lugar:</b>	Avenida 9 de Octubre		
<b>Clima:</b>	Soleado	<b>Estado de la vía:</b>	Bueno
<b>Coordenada del punto:</b>		<b>ESTE</b>	759928.00
		<b>NORTE</b>	9815104.00
<b>Tipo de Pavimento:</b>	Rígido		
	<b>INTERVALO</b>	<b>TIEMPO (Hora)</b>	<b>h (cm)</b>
	- 8:30 a. m.	0 Horas	10
	8:30 a. m. 10:30 AM	2 Horas	10,3
	10:30 AM 12,30 PM	2 Horas	10,7
	12,30 PM 2:30 p. m.	2 Horas	11
	2:30 p. m. 4:30 p. m.	2 Horas	11,3
	4:30 p. m. 6:30 p. m.	2 Horas	11,5
	6:30 p. m. 8:30 p. m.	2 Horas	11,7
	8:30 p. m. 10:30 p. m.	2 Horas	11,75
	10:30 p. m. 11:30 p. m.	1 Hora	11,8

**Observaciones:** La zona de ensayo no presenta agrietamientos, además el infiltrómetro fue colocado en la mitad de la losa de pavimento, llovió la madrugada previa a la práctica.

### 4.3.3 Cálculos prueba de infiltración

Tabla 23. Resultados ensayo de infiltración punto 1.

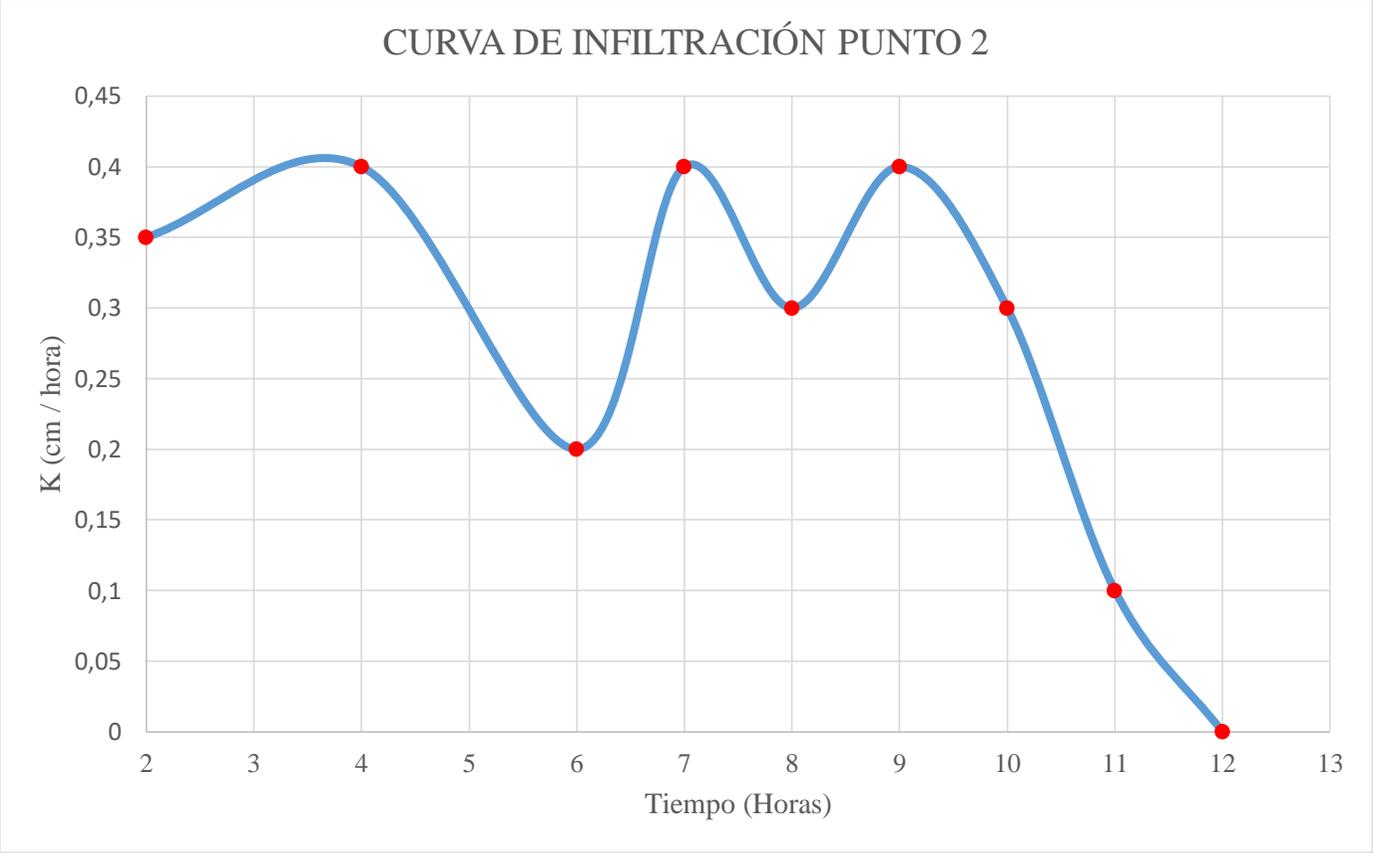
<b>CÁLCULOS</b>						
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm) :						25
Área total interna (cm <sup>2</sup> ) :						490,87
Altura Total del infiltrómetro H (cm):						60,00
Altura del espejo de agua inicial (cm):						50,00
Volumen inicial de agua (cm <sup>3</sup> ) :						24543,67
<b>h</b>	<b>delta h</b>	<b>delta h acumulado</b>	<b>Tiempo</b>	<b>t acum</b>	<b>K</b>	
<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>hora</b>	<b>hora</b>	<b>cm/hora</b>	
10	0	0	0	0	0	
10,3	0,3	0,3	2	2	0,15	
10,6	0,3	0,6	2	4	0,15	
11	0,4	1	2	6	0,2	
11,3	0,3	1,3	2	8	0,15	
11,5	0,2	1,5	2	10	0,1	
11,7	0,2	1,7	2	12	0,1	
11,75	0,05	1,75	1	13	0,05	
11,8	0,05	1,8	1	14	0,05	
<b>Sumatoria delta h (cm):</b>						1,8
<b>Volumen de Infiltración (cm<sup>3</sup>):</b>						883,57
<b>Fracción de infiltración (%):</b>						3,6%
<b>Coefficiente de escurrimiento C (%):</b>						<b>96,4%</b>



**Figura 18.** Curva de infiltración, punto 1.

**Tabla 24.** Resultados ensayo de infiltración, punto 2.

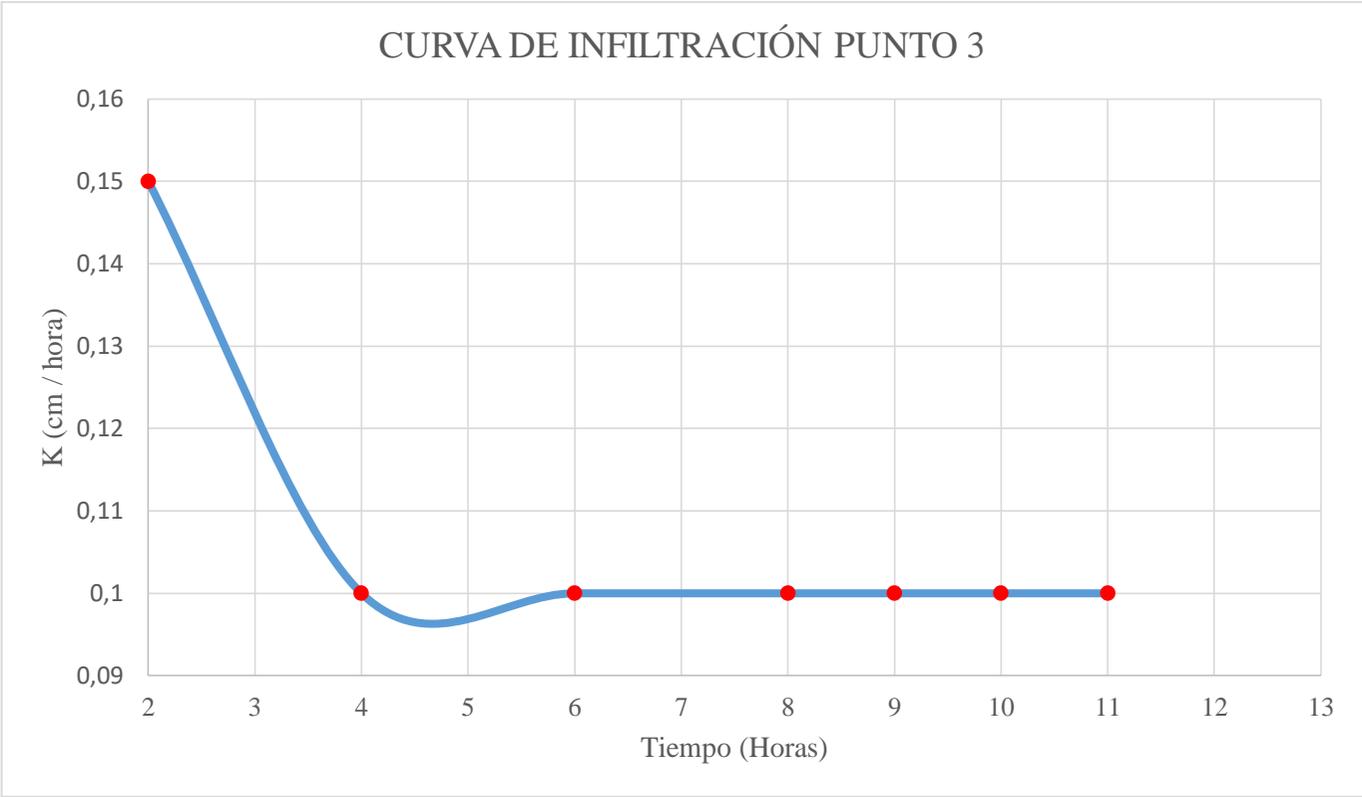
<b>CÁLCULOS</b>					
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm) :					25
Área total interna (cm <sup>2</sup> ) :					490,87
Altura Total del infiltrómetro H (cm):					60,00
Altura del espejo de agua inicial (cm):					50,00
Volumen inicial de agua (cm <sup>3</sup> ) :					24543,67
<b>h</b>	<b>delta h</b>	<b>delta h acumulado</b>	<b>Tiempo</b>	<b>t acum</b>	<b>K</b>
<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>hora</b>	<b>hora</b>	<b>cm/hora</b>
10	0	0	0	0	0
10,7	0,7	0,7	2	2	0,35
11,5	0,8	1,5	2	4	0,4
11,9	0,4	1,9	2	6	0,2
12,3	0,4	2,3	1	7	0,4
12,6	0,3	2,6	1	8	0,3
13	0,4	3	1	9	0,4
13,3	0,3	3,3	1	10	0,3
13,4	0,1	3,4	1	11	0,1
13,4	0	3,4	1	12	0
13,4	0	3,4	1	13	0
<b>Sumatoria delta h (cm):</b>					3,4
<b>Volumen de Infiltración (cm<sup>3</sup>):</b>					1668,97
<b>Fracción de infiltración (%):</b>					6,8%
<b>Coefficiente de escurrimiento C (%):</b>					<b>93,2%</b>



**Figura 19.** Curva de infiltración, punto 2.

**Tabla 25.** Resultados ensayo de infiltración, punto 3.

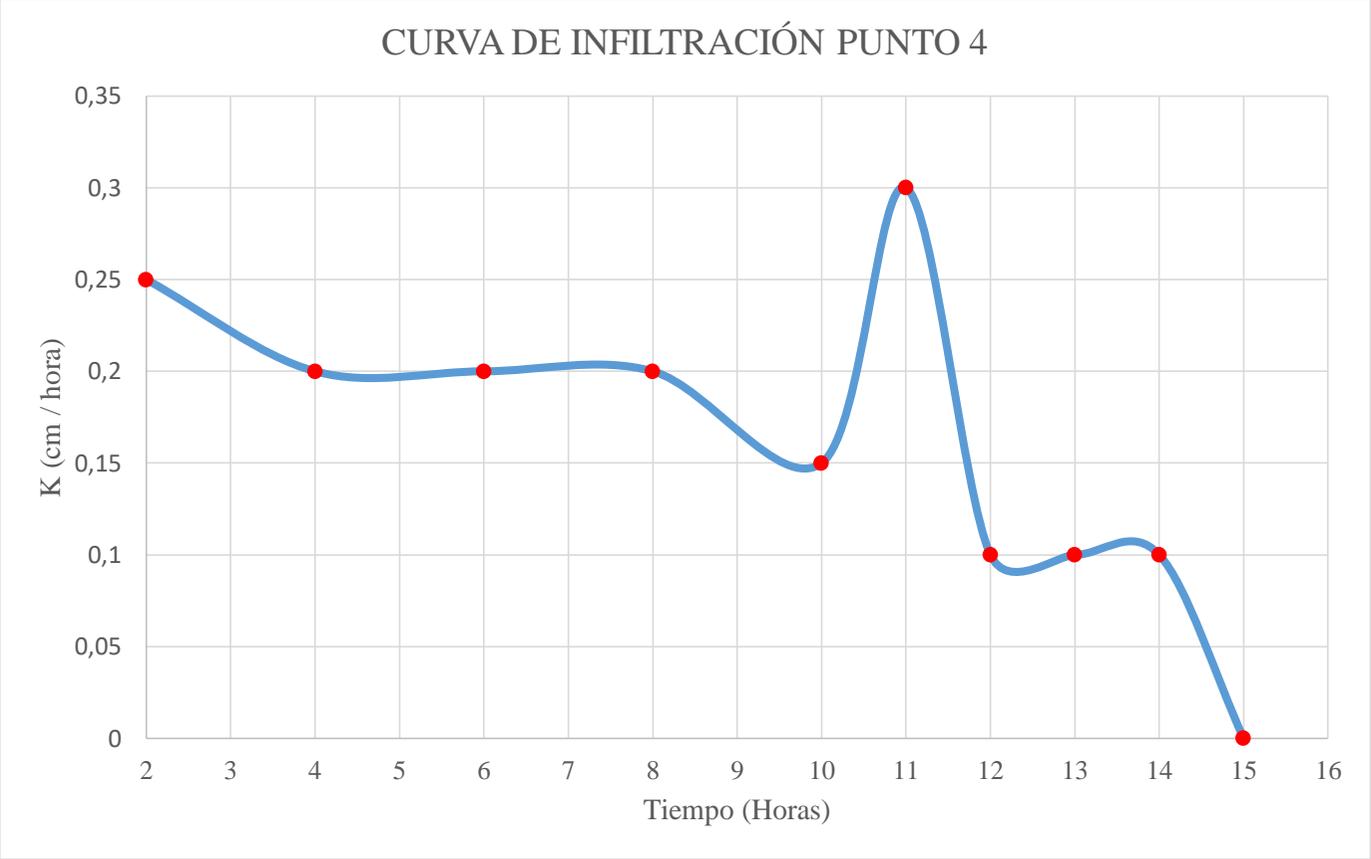
<b>CÁLCULOS</b>						
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm) :						25
Área total interna (cm <sup>2</sup> ) :						490,87
Altura Total del infiltrómetro H (cm):						60,00
Altura del espejo de agua inicial (cm):						50,00
Volumen inicial de agua (cm <sup>3</sup> ) :						24543,67
<b>h</b>	<b>delta h</b>	<b>delta h acumulado</b>	<b>Tiempo</b>	<b>t acum</b>	<b>K</b>	
<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>hora</b>	<b>hora</b>	<b>cm/hora</b>	
10	0	0	0	0	0,00	
10,3	0,3	0,3	2	2	0,15	
10,5	0,2	0,5	2	4	0,10	
10,7	0,2	0,7	2	6	0,10	
10,9	0,2	0,9	2	8	0,10	
11	0,1	1	1	9	0,10	
11,1	0,1	1,1	1	10	0,10	
11,2	0,1	1,2	1	11	0,10	
<b>Sumatoria delta h (cm):</b>						1,2
<b>Volumen de Infiltración (cm<sup>3</sup>):</b>						589,048125
<b>Fracción de infiltración (%):</b>						2,4%
<b>Coefficiente de escurrimiento C (%):</b>						<b>97,6%</b>



**Figura 20.** Curva de infiltración, punto 3.

**Tabla 26.** Resultados ensayo de infiltración, punto 4.

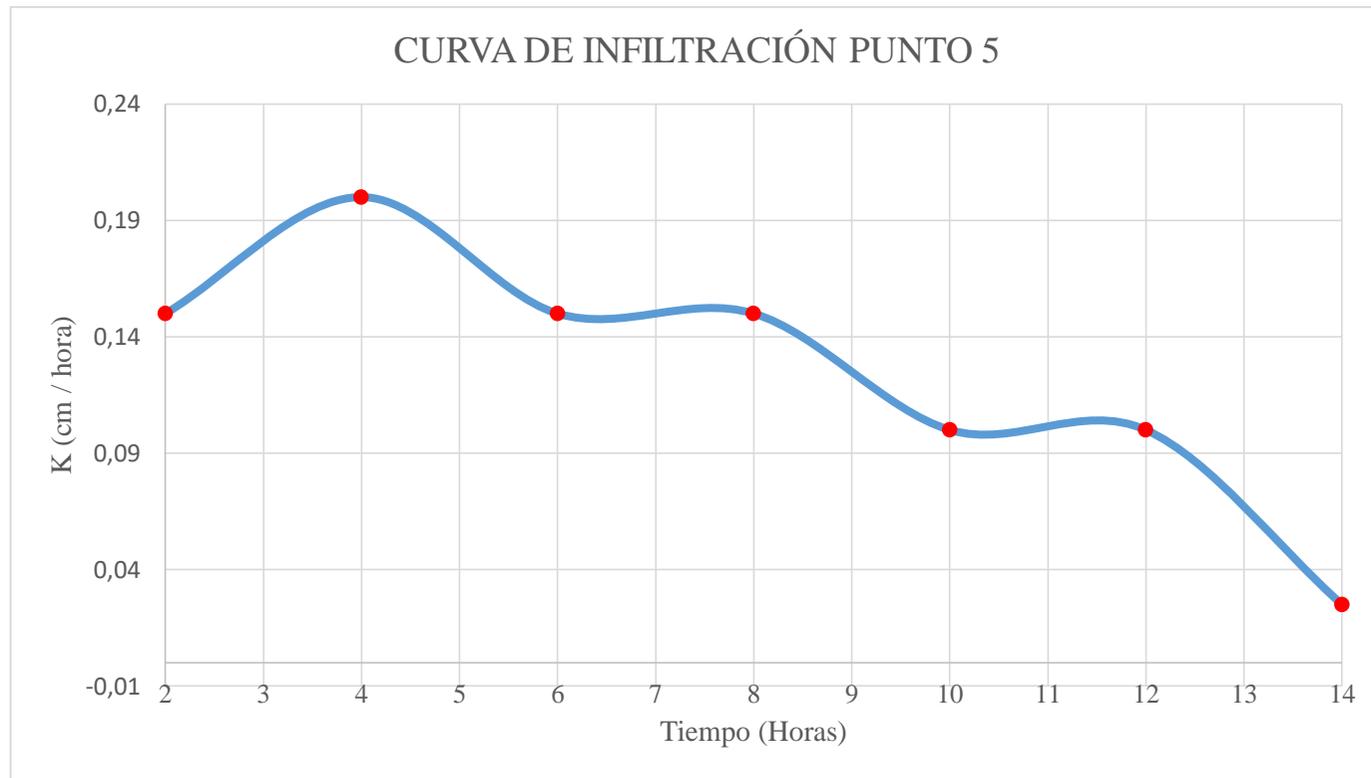
<b>CÁLCULOS</b>						
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm) :						25
Área total interna (cm <sup>2</sup> ) :						490,87
Altura Total del infiltrómetro H (cm):						60,00
Altura del espejo de agua inicial (cm):						50,00
Volumen inicial de agua (cm <sup>3</sup> ) :						24543,67
<b>h</b>	<b>delta h</b>	<b>delta h acumulado</b>	<b>Tiempo</b>	<b>t acum</b>	<b>K</b>	
<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>hora</b>	<b>hora</b>	<b>cm/hora</b>	
10	0	0	0	0	0	
10,5	0,5	0,5	2	2	0,25	
10,9	0,4	0,9	2	4	0,2	
11,3	0,4	1,3	2	6	0,2	
11,7	0,4	1,7	2	8	0,2	
12	0,3	2	2	10	0,15	
12,3	0,3	2,3	1	11	0,3	
12,4	0,1	2,4	1	12	0,1	
12,5	0,1	2,5	1	13	0,1	
12,6	0,1	2,6	1	14	0,1	
12,6	0	2,6	1	15	0	
<b>Sumatoria delta h (cm):</b>						2,6
<b>Volumen de Infiltración (cm<sup>3</sup>):</b>						1276,27
<b>Fracción de infiltración (%):</b>						5,2%
<b>Coefficiente de escurrimiento C (%):</b>						<b>94,8%</b>



**Figura 21.** Curva de infiltración, punto 4.

**Tabla 27.** Resultados ensayo de infiltración, punto 5.

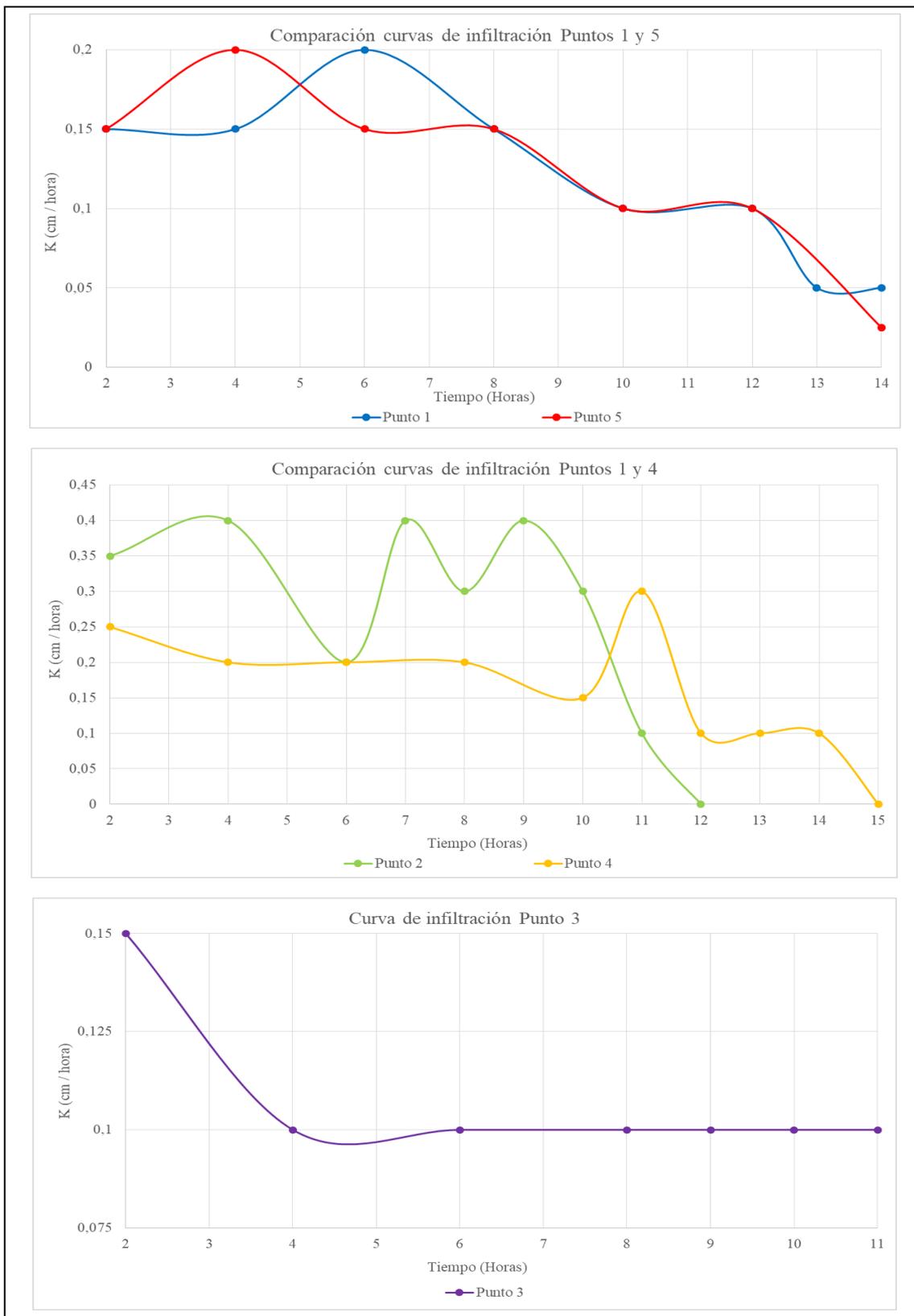
<b>CÁLCULOS</b>						
Diámetro interior del Infiltrómetro (cm) :						25
Área total interna (cm <sup>2</sup> ) :						490,87
Altura Total del infiltrómetro H (cm):						60,00
Altura del espejo de agua inicial (cm):						50,00
Volumen inicial de agua (cm <sup>3</sup> ) :						24543,67
<b>h</b>	<b>delta h</b>	<b>delta h acumulado</b>	<b>Tiempo</b>	<b>t acum</b>	<b>K</b>	
<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>cm</b>	<b>hora</b>	<b>hora</b>	<b>cm/hora</b>	
10	0	0	0	0	0	
10,3	0,3	0,3	2	2	0,15	
10,7	0,4	0,7	2	4	0,2	
11	0,3	1	2	6	0,15	
11,3	0,3	1,3	2	8	0,15	
11,5	0,2	1,5	2	10	0,1	
11,7	0,2	1,7	2	12	0,1	
11,75	0,05	1,75	2	14	0,025	
11,8	0,05	1,8	1	15	0,05	
<b>Sumatoria delta h (cm):</b>						1,8
<b>Volumen de Infiltración (cm<sup>3</sup>):</b>						883,57
<b>Fracción de infiltración (%):</b>						3,6%
<b>Coefficiente de escurrimiento C (%):</b>						<b>96,4%</b>



**Figura 22.** Curva de infiltración, punto 5.

**Tabla 28.** Resumen datos y observaciones ensayo de infiltración, resumen propiedades hidráulicas y físicas de los núcleos.

DATOS ENSAYO DE INFILTRACIÓN					PROPIEDADES HIDRÁULICAS			PROPIEDADES FÍSICAS				
Muestra	Clima	¿Agrietamientos en la zona?	Ubicación del Infiltrómetro	Observación previa al ensayo	Infiltración (%)	Escurrimiento (%)	Humedad (%)	Absorción (%)	Vacíos (%)	Macrotextura (mm)	Resistencia Tracción Directa (Mpa)	Resistencia Compresión (Mpa)
Punto 1	Soleado	No	Mitad de losa	No llovió 24 horas previo al ensayo	3,6	96,4	3,65	4,34	9,11	0,970		
Punto 2	Despejado	No	Junta de la losa	No llovió 24 horas previo al ensayo	6,8	93,2	5,27	5,74	12,05	1,258		
Punto 3	Despejado	No	Mitad de la losa	Llovió la noche previa al ensayo	2,4	97,6	3,18	3,52	7,51	0,660	7,06	44,31
Punto 4	Lluvioso	No	Junta de la losa	Llovió ligeramente durante todo el ensayo	5,2	94,8	3,87	4,46	9,45	0,628		
Punto 5	Soleado	No	Mitad de la losa	Llovió toda la madrugada previa al ensayo	3,6	96,4	5,04	5,56	11,55	0,950		



**Figura 23.** Gráfico comparación entre curvas de infiltración.

De la Tabla 28 y Figura 23 se observó los siguientes puntos:

### **Comportamiento de la curva 1 y 5**

Algo que hay que recalcar en la curva 1 es que el ensayo se empezó hacer a las 9 de la mañana aproximadamente, y se aprecia que, a las 2 horas del ensayo, la velocidad aumenta y luego nuevamente retoma el comportamiento decreciente a lo largo de la gráfica, esta anomalía se podría haber dado porque el ensayo se realizó en un día soleado lo cual es razonable que los datos se vean afectados en parte por los aumentos de temperatura del mismo infiltrómetro y en la superficie de la vía.

Se sabe que tanto la curva de infiltración 1 y 5 se realizaron en la mitad de la losa, y en días soleados, por lo cual se evidencia una similitud en los valores de la velocidad en el rango de 14 horas aproximadamente, pero en el caso de la curva 5 llovió toda la madrugada previa al ensayo, preparando naturalmente el área a ensayar, además ya con la experiencia del punto 1 se colocó una sombrilla para no tener una influencia del sol en el resultado, sin embargo aunque los patrones son ligeramente diferentes ambas coinciden con los mismo valores de escorrentía e infiltración de 3,6% y 96,4% respectivamente, pero el punto 5 tiene el segundo porcentaje de vacíos y absorción más altos del resto de muestras, a pesar de que se buscó que el sol no afecte el ensayo, las dos condiciones físicas mencionadas interfieren en la cantidad de agua que se infiltra.

### **Comportamiento de las curvas 2 y 4**

Existe una particularidad de estas curvas, en ambas el infiltrómetro se colocó en una junta de la losa, por lo cual, si las comparamos con el resto de las curvas, estas presentan las velocidades de infiltración más altas respecto al resto de resultados, independiente del patrón de ambas gráficas. Adicionalmente, podemos ver que la zona 4 tiene el tiempo de saturación más largo del resto de puntos, con 15 horas hasta llegar aparentemente a una velocidad teórica de 0 cm/Hora, sin embargo, cabe aclarar que en el caso de dicho punto llovía ligeramente durante el ensayo, además es el segundo punto con el mayor porcentaje de agua infiltrada es decir 5,2%.

Podemos observar que ambas curvas tienen la variabilidad de velocidad más amplia respecto al resto de curvas, se puede teorizar que al momento que el agua infiltra a cierta profundidad, el flujo se atraviesa varias capas porosas con cierta distribución de vacíos, la distribución variable de estos espacios provoca el aumento y disminución de

las velocidades más pronunciadas. Además, el punto 2 posee el porcentaje de vacíos más alto respecto a las otras áreas de ensayo, esto también se ve reflejado en el porcentaje de infiltración ya que es el valor más alto de 6,8% de cantidad de agua que se infiltra, y por lo contrario también posee el coeficiente de escurrimiento menor de 93,2% respecto al resto de ensayos.

### **Comportamiento de la curva 3**

La curva de infiltración 3, es el resultado que necesitó de menos horas para encontrar el tiempo de saturación, 11 horas versus las 12 a 15 horas que necesitaron el resto de muestras para poder terminar el ensayo, se teoriza que al llover la noche previa al ensayo igualmente ayudó a saturar el pavimento más rápido, y a su vez hay que recalcar que al contrario de la curva 2, esta posee el porcentaje de vacíos más bajo por lo tanto el coeficiente de escurrimiento más alto del 97,6 % siendo casi impermeable, y tomando en cuenta que el infiltrómetro se colocó a mitad de la losa de pavimento. Otra característica importante de esta curva es donde mejor se puede apreciar el comportamiento de la curva asintótica, esto también concuerda con los resultados de las velocidades de 6 a 10 horas, donde se aprecia una velocidad constante de 0,10cm/Hora, también al realizar el ensayo en un día aparentemente despejado, no se tiene tanta intervención del calor en los resultados de la curva.

## **5. DISCUSIÓN**

Para agregado grueso, la investigación tiene resultados de 2,41 y 4,09% de gravedad específica aparente y porcentaje de absorción respectivamente, por otro lado, Tafur obtiene 2,77 de gravedad específica y 1,86% en lo que absorción se refiere, observando claramente que el material granular objeto de estudio es menos denso, lo que en teoría significa que tiene una mayor capacidad de absorción en este caso 4,09%, por lo contrario, los resultados de Tafur demuestran que el agregado más denso tiene menor capacidad de absorción 1,86%, esto se debe a que tiene menos espacios porosos donde se almacena el agua absorbida, sin embargo la absorción del material no solo está definido por su densidad sino también por su tamaño, forma y textura.

Analizando la resistencia a compresión obtenido mediante el estudio de especímenes cilíndricos extraídos, con el expediente técnico del trabajo de Soto y Martínez se muestra un aumento en la resistencia a la compresión de 7.46 Mpa, en 9 años desde su construcción, teniendo una resistencia inicial de 36.85 Mpa y una resistencia a la fecha

de 44.31 Mpa. Entendiendo como concepto que la resistencia aumenta gradualmente con el paso del tiempo. Respecto a la macrotextura calculada en la avenida se obtiene un valor promedio de 0,89 mm versus 1,5 mm iniciales en su construcción, se aprecia un desgaste de la textura superficial considerable en el paso de los años, sin embargo, el valor promedio obtenido en los resultados aún se encuentra en el rango que exige la norma del MTOP ( $0,6 \text{ mm} \leq \text{HS} \leq 1,2 \text{ mm}$ ).

Al evaluar las características hidráulicas del pavimento rígido, se ha obtenido un coeficiente de escurrimiento alrededor del 90% el cual al ser comparado con la normativa propuesta por el EX IEOS y por la EMAAP-Q es mayor, reflejando así que el pavimento es más impermeable de lo que presentan las normativas vigentes, de tal modo que si la pendiente longitudinal y transversal son altas esto podría ocasionar empozamientos en ciertos tramos de la avenida como se observa en la intersección de la Av. 9 de Octubre y Av. La Prensa, siendo el pavimento permeable una posible solución.

La pendiente transversal y longitudinal son elementos cruciales en el diseño de pavimentos rígidos en Riobamba. Su adecuada implementación permite un correcto sistema de drenaje haciendo uso del coeficiente de escurrimiento que representa la realidad de la vía en este caso del pavimento rígido y así evitar daños al pavimento y aumentar los niveles de seguridad de los conductores.

Es de conocimiento que la pendiente longitudinal de la avenida se encuentra entre el 1% al 3%, y un bombeo del 2%; es importante tener en cuenta que dichas inclinaciones trabajan juntas para controlar el escurrimiento en las vías de pavimento rígido, debido a que la pendiente longitudinal actúa sobre el eje de la vía, creando una pendiente que facilita el flujo del agua en dirección al drenaje, por su parte, la pendiente transversal tiene la función sobre la superficie del pavimento, creando una inclinación que facilita el flujo del agua hacia los laterales.

## 6. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES.

- Dentro del análisis de las características físicas evaluadas en el pavimento rígido de la Av. 9 de Octubre, la granulometría del soporte granular pertenece a un tipo de suelo areno limoso (SM) mezclada con grava (A-b-1) de acuerdo a la normativa SUCS y AASHTO como es característico de una subbase clase 3. Así mismo, se determinó las densidades de los agregados y sus pesos específicos de los cuales se podrán hacer uso para diferentes fines. Con respecto al porcentaje de abrasión, se observa que no sobrepasa el 50% que se presenta en la NTE INEN 860, obteniendo así un valor de 35,33 %. Por otra parte, para el estudio de la capa de rodadura se utilizó el método de la extracción de núcleos, siendo estos especímenes sometidos a tracción directa dando como resultado un valor de 7,96 Mpa y un valor de 44,31 Mpa para la resistencia a la compresión. En última instancia, por medio del ensayo in-situ del círculo de arena se logró determinar la macrotextura de la capa de rodadura, que cumple los estándares del Manual de Pavimentos Rígidos proporcionado por el MTOP.
- Se examinó las propiedades hidráulicas de la capa de rodadura, en donde se pudo relacionar la información obtenida por medio de ensayos a los núcleos con el infiltrómetro de doble anillo. Mediante el cálculo de las densidades reales y aparentes de cada uno de los núcleos, se pudo determinar los porcentajes de humedad, absorción y vacíos con valores de 4,20%, 4,72% y 9,93% respectivamente. Por otra parte, se estandarizó el método de ensayo del infiltrómetro en pavimentos rígidos, el cual se puede hacer uso para posteriores investigaciones. A través de este método, se calculó el porcentaje de infiltración y escurrimiento en los 5 puntos planteados en la metodología, en intervalos que varían entre 11 y 15 horas hasta llegar a la saturación, concluyendo así que los valores encontrados son mayores con respecto a la normativa que propone el IEOS (1992), la cual señala que para “Pavimentos de hormigón” rodean el rango entre 0,85 y 0,90 , mientras los resultados obtenidos en la investigación demuestran que los valores de la fracción de escurrimiento son mayores al 90%, por esta razón, el hormigón presente en la avenida es altamente impermeable.

## 6.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda optar por días despejados para poder realizar el ensayo de infiltración de doble anillo, de ser un día soleado se podría cubrir el instrumento con una sombrilla y evitar que el sol influya en los resultados, además al ser un pavimento casi impermeable se necesitan de varias horas para que sature la zona de ensayo, por lo cual es recomendable colocar el instrumento en la mitad de la losa del pavimento ya que, al colocarlo en una junta, la curva de infiltración tendrá alteraciones y no dará un resultado adecuado para obtener la velocidad promedio de infiltración. Finalizamos, aclarando que la metodología compartida en este documento para determinar los coeficientes de escurrimiento e infiltración son solo para pavimentos rígidos.

A pesar de cumplir con los objetivos de la investigación y a su vez implícitamente encontrar una metodología adecuada para caracterizar las propiedades hidráulicas del pavimento, se podría estudiar otras variables como son la influencia del clima, el tráfico, humedad ambiental, entre otros factores que podrían interferir en los resultados del coeficiente de escurrimiento e infiltración de cualquier pavimento.

Cabe mencionar la importancia de los resultados obtenidos en la investigación como indicadores del estado y serviciabilidad de la vía, se refiere a la relación del coeficiente de escurrimiento e infiltración con la permeabilidad, a la resistencia a la compresión con la capacidad de carga, al porcentaje de absorción y vacíos con la durabilidad y resistencia y sobre todo la macrotextura con la seguridad. Adicionalmente, se resalta la importancia de la investigación de (Soto y Martínez 2015) que reportan el proceso constructivo de la avenida; la presente investigación realizada 9 años después, describe como se encuentra la vía actualmente, se cree que estas dos investigaciones en conjunto sirven como una bitácora o inventario del pavimento rígido estudiado, es decir, que los resultados pueden ser de utilidad para la generación de conocimiento en el área de control y gestión vial, debido que no usual dar seguimiento al estado de las vías.

Los resultados descritos en esta investigación pueden ser de utilidad para el diseño de pavimentos permeables o a su vez para ratificar el coeficiente de escurrimiento planteada en normativas vigentes para el diseño de drenajes.

## BIBLIOGRAFÍA

Vial, N. E. NEVI-12-MTOP. (2013). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes VOLUMEN*, (3).

Celi Herrera, K. (2021). Diseño de pavimentos rígidos en vías urbanas para la aplicación en gad's con poblaciones menores a 20000 habitantes. UTMACH, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador.

Mora Cano, A., y Argüelles Sáenz, C. (2015). *Diseño de pavimento rígido para la urbanización Caballero y Góngora, municipio de Honda - Tolima*. Universidad Católica de Colombia. Colombia.

Ruiz Ramírez, D. (2014). *INVESTIGACIÓN DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LAS FALLAS ENCONTRADAS EN LAS VÍAS DE PAVIMENTO RÍGIDO CONSTRUIDAS EN LA PROVINCIA DE MANABÍ*. Universidad de Especialidades Espiritu Santo UEES.

Llerena Torrejón, L., y Ticlla Sánchez, J. (2020). *Estudio y Evaluación del concreto permeable en un pavimento rígido según la Norma ACI 522R-10*. Universidad Peruana Unión, Perú.

La Subsecretaría de Saneamiento Ambiental y El Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias. (1992). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. Recuperado de URL:  
<https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/norma-co-10-7-602-poblacion-mayor-a-1000-habitantes.pdf>

Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2014). *54% de avance presenta la Circunvalación de Riobamba*. Recuperado de URL:  
<https://www.obraspublicas.gob.ec/54-de-avance-presenta-la-circunvalacion-de-riobamba/>

Soto Cabezas, G., y Martínez Moncayo, D. (2015). *Investigación del método constructivo de pavimento rígido en la avenida circunvalación de la ciudad de Riobamba, resultados obtenidos y su aplicación en otros proyectos*. Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

Leng, Zhen, Zepeng Fan, Pengfei Liu, Jonas Kollmann, Markus Oeser, Dawei Wang, y Xi Jiang. (2023). *Texturing and evaluation of concrete pavement surface: A state-of-the-art review*. Journal of Road Engineering. doi: 10.1016/j.jreng.2023.08.001.

Paucar Castro, A. (2022). *Análisis comparativo entre un pavimento rígido y flexible para el distrito de José Leonardo Ortiz*. Perú.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2012). *Manual de Construcción de pavimentos rígidos normas para pavimentos rígidos*. Tomo 2

Auqui Parra, J., y Ramírez Chicaiza, D. (2019). *Elaboración de una guía práctica para el diseño estructural de carreteras*. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Cadena Calixto y Arturo Rafael. 2020. *Modelo de gestión comunitaria de los recursos hídricos, caso práctico : Urbanismo del cantón Vinces, Ecuador*.

Guzmán Camacho, Cesar Leonardo. 2016. *Concreto permeable, ventajas y desventajas de su uso en vías urbanas de bajo tránsito, en comparación con el concreto hidráulico convencional como solución a los problemas de inundaciones en zonas aledañas al humedal de Jaboque, localidad de Engativá*.

Zalechak, R., Basualdo, R., y Ruberto, A. 2017. *Estudio de la evolución de la impermeabilidad y su impacto hidrológico en la cuenca urbana de la laguna Arazá, Resistencia, Chaco*. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Nordeste.

Japa Garay, Luis. 2020. *Diseño de pavimento rígido permeable con mayor porosidad y resistencia  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  a la compresión utilizando agregados de la Cantera Figueroa para un óptimo drenaje urbano en la ciudad de Huánuco*.

Coupe, Stephen J., Amal S. Faraj, Ernest O. Nnadi, y Susanne M. Charlesworth. (2013). *Integrated Sustainable Urban Drainage Systems*. Pp. 147-63 en *Water Efficiency in Buildings*. John Wiley & Sons, Ltd.

Guerra Chayña, P., y Guerra Ramos, C. (2020). *Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible*. Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia 20(20):121-40.

Guzmán Camacho, C. (2016). *Concreto permeable, ventajas y desventajas de su uso en vías urbanas de bajo tránsito, en comparación con el concreto hidráulico convencional como solución a los problemas de inundaciones en zonas aledañas al*

*humedal de Jaboque, localidad de Engativá. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.*

Mendoza Vera, E., y Ospina García, J. (2018). *Mezcla de concreto permeable como parte de la estructura del pavimento rígido, Aplicado a vías de tráfico medio. Universidad Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.*

Zambrano Mesa, I., y Tejada Piusseaut, E., y Alonso Aaenlle, A. (2020). *Materiales granulares mejorados con emulsión asfáltica catiónica para subbases de pavimentos. Infraestructura Vial 22(39):29-42. doi: 10.15517/iv.v22i39.41574.*

Tafur A. 2020. *Comparación técnica entre los ensayos de laboratorio de módulo young y CBR para base y subbase. Caso de estudio: mina materiales pétreos R/R (Cantera Ramirez).* Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.

Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable. (2009). *NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PARA LA EMAAP-Q.* Quito, Ecuador. Recuperado de URL: [https://www.aguaquito.gob.ec/Alojamientos/PROYECTO%20LA%20MERCED/ANEXO%202%20NORMAS\\_ALCANTARILLADO\\_EMAAP.pdf](https://www.aguaquito.gob.ec/Alojamientos/PROYECTO%20LA%20MERCED/ANEXO%202%20NORMAS_ALCANTARILLADO_EMAAP.pdf).

Castillo E, Padilla J. 2014. *Investigación de la propuesta de pre – factibilidad y factibilidad del nuevo anillo vial de la ciudad de Riobamba.* Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

Rosyidi, Sri Atmaja P., Nur Izzi Md. Yusoff, Norfarah Nadia Ismail, y Muhamad Razuhanafi Mat Yazid. (2021). *Integrated Time-Frequency Wavelet Analysis and Impulse Response Filtering on SASW Test for Rigid Pavement Stiffness Prediction.* Ain Shams Engineering Journal 12(1):367-80. doi: 10.1016/j.asej.2020.05.006.

Falcón Baldeón, F., y Santos Nieto, J. (2016). *Diseño de un pavimento rígido permeable, con agregados de la cantera Chullqui, para el drenaje urbano en estacionamiento en la Ciudad de Huánuco.* Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Perú.

Zegarra Tarqui, J., Santos de Brito, J., y De Fátima Carvalho, M. (2015). *Escurrecimiento en pavimentos de bloques de suelo-cemento: un abordaje experimental.* Ingeniería Investigación y Tecnología 16(1).

Contreras Ferreyra, D. 2020. *Cuantificación de la infiltración superficial en pavimentos flexibles mediante pruebas in-situ*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.

Ipiales Carlosama, E. (2019). *ESTUDIO DE LA CAPA DE RODADURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LOS ACCESOS PRINCIPALES DE JIPIJAPA*. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Ecuador.

Cabrera, V., y Stammitti, C. (2014). Diseño y construcción de un sistema para mejorar la adherencia de los neumáticos en superficies húmedas mediante la aplicación de chorros de choque sobre el pavimento. Thesis.

Chapoñan Cueva, J., Quispe Cirilo, J. (2017). Análisis del comportamiento en las propiedades del concreto hidráulico para el diseño de pavimentos rígidos adicionando fibras de polipropileno en el A.A.H.H Villa María - Nuevo Chimbote. Universidad Nacional del Santa. Perú.

Abreu, J. (2012). Hipótesis, método & diseño de investigación (hypothesis, method & research design). *Daena: International Journal of Good Conscience*, 7(2), 187-197.

NTE INEN 696. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 860. (2011). *Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 856. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 857. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

ASTM C42. (2003). *Método de ensayo estándar para obtención y ensayo de núcleos taladrados y vigas aserradas de concreto*. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

NTE INEN 1573. (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

(ASTM, Esfuerzo de tensión por partidura en especímenes cilíndricos de concreto 2003)

NTE INEN 862. (2011). *Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

ASTM C496. (1996). *Esfuerzo de tensión por partidura en especímenes cilíndricos de concreto*. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

ASTM D3385. (2003). *Método de prueba estándar para la tasa de infiltración de suelos en el campo usando un infiltrómetro de doble anillo*.

<https://www.astm.org/d3385-18.html>.

ASTM E965. (1996). *Método de prueba estándar para medición de la profundidad de la macrotextura del pavimento utilizando una técnica volumétrica 1*.

<https://www.astm.org/e0965-15r19.html>

GLOBAL RUBBER CORPORATION S.A.C. (s.f). *PERFILES BURLETES ALAMBRADOS*. [https://globalrubbercorporation.com/fichas\\_tecnicas/perfiles-burletes.pdf](https://globalrubbercorporation.com/fichas_tecnicas/perfiles-burletes.pdf)

## ANEXOS



**Anexo 1.** Extracción de núcleos en la Av. 9 de Octubre.



**Anexo 4.** Toma de dimensiones de núcleos.



**Anexo 2.** Extracción de subbase Av. 9 de Octubre.



**Anexo 5.** Ensayo densidad aparente sumergida de núcleos.



**Anexo 3.** Peso real de núcleos.



**Anexo 6.** Análisis granulométrico por tamizado subbase clase 3.



**Anexo 7.** Gradación de material para ensayo de abrasión.



**Anexo 10.** Copa de casa grande, ensayo límite líquido.



**Anexo 8.** Máquina de los ángeles, ensayo abrasión.



**Anexo 11.** Límite plástico para la subbase clase 3 (no posee).



**Anexo 9.** Material que pasa el tamiz 40 y retiene el tamiz 200.



**Anexo 12.** Ensayo densidad de agregado grueso, subbase clase 3.



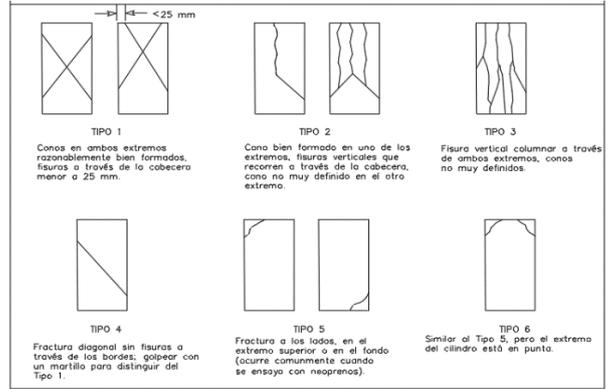
**Anexo 13.** Ensayo densidad de agregado fino, subbase clase 3.



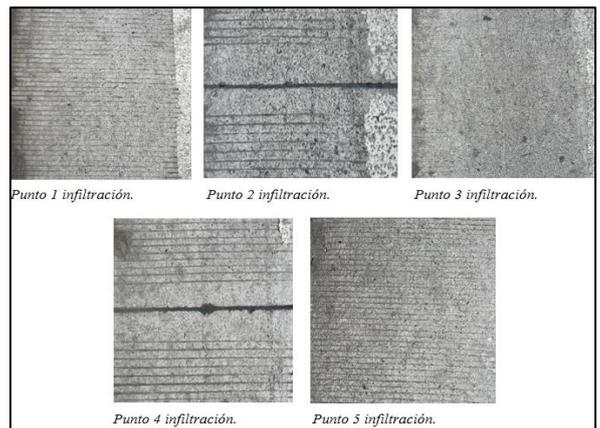
**Anexo 14.** Macrotextura de la superficie de rodadura.



**Anexo 15.** Ensayo infiltrómetro de doble anillo.



**Anexo 16.** Tipo de fallas en especímenes de hormigón. Adaptado de NTE INEN 1573 (2011).



**Anexo 17.** Evaluación visual pavimento rígido.