

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POROSO COMO  
ALTERNATIVA DE DRENABILIDAD PLUVIAL EN EL  
PUEBLO DE CANTA-LIMA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

Autores:

Catherine Sara Cantoral Delgadillo  
Lyonel Marín Tirado

Asesor:

Ing. Marko Aníbal Torres Flores  
Lima - Perú

2021

## ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Marko Aníbal Torres Flores, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de **INGENIERÍA CIVIL**, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Cantoral Delgadillo, Catherine Sara
- Marín Tirado, Lyonel

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: Diseño de Pavimento flexible poroso como alternativa de drenabilidad pluvial en el pueblo de Canta-Lima para aspirar al título profesional de: **Ingeniero Civil** por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o a los interesados para su presentación.

---

Ing. Marko Aníbal Torres Flores  
Asesor

## ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis de los estudiantes: Cantoral Delgadillo Catherine y Marín Tirado Lyonel para aspirar al título profesional con la tesis denominada: Diseño de Pavimento Flexible Poroso como alternativa de drenabilidad pluvial en el pueblo de Canta-Lima.

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

**Aprobación por unanimidad**

**Aprobación por mayoría**

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

---

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos  
Jurado  
Presidente

---

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos  
Jurado

---

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos  
Jurado

## **DEDICATORIA**

Al Padre Celestial, por regalarnos a nosotros y a nuestros familiares salud en estos tiempos de pandemia. A Nuestros Padres: Clara Delgadillo Aguilar, Cristian Cantoral Alcántara, Nélide Tirado Panduro y Cesar Alberto Paucar Manrique por sus grandes consejos de vida y guiarnos en toda nuestra etapa universitaria.

## AGRADECIMIENTO

Agradecer a cada profesional miembro del jurado calificador, por cada una de sus observaciones y recomendaciones en mi tesis de investigación.

Al Ing. Marko Aníbal Torres Flores por sus asesorías constantes en cada etapa de la presente investigación.

Al personal encargado del Laboratorio de Mecánica de suelos, concreto y asfalto HISGEOLAB S.A.C: Técnico Migue Ángel Alfaro Huayanay y al Ing. Juan Carlos Zapata Silva por el apoyo en la elaboración de las briquetas y su posterior ensayo que sustenta la presente investigación.

A la Universidad Privada del Norte, por ser parte de un capítulo de mi vida profesional que junto a grandes docentes enriquecieron mis conocimientos en la ingeniería civil.

## Tabla de contenido

<b>ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS.....</b>	<b>2</b>
<b>ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS.....</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>9</b>
<b>INDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>11</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>40</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>69</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>105</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>111</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Especificaciones del cemento asfáltico para su clasificación por penetración. ....	16
<b>Tabla 2:</b> Especificaciones del cemento asfáltico para su clasificación por viscosidad. ....	17
<b>Tabla 3:</b> Clasificación del Pavimento Permeable. ....	19
<b>Tabla 4:</b> Coeficientes de Escorrentía. ....	27
<b>Tabla 5:</b> Operacionalización de Variable Independiente. ....	42
<b>Tabla 6:</b> Operacionalización de la Variable Dependiente. ....	43
<b>Tabla 7:</b> Descripción de la población. ....	44
<b>Tabla 8:</b> Lista de Ensayos. ....	46
<b>Tabla 9:</b> Granulometría de agregados Mezcla Drenante. ....	48
<b>Tabla 10:</b> Gradación de las muestras de ensayo. ....	52
<b>Tabla 11:</b> Numero de esferas a emplear. ....	52
<b>Tabla 12:</b> Muestra tamizada retenida. ....	55
<b>Tabla 13:</b> Peso necesario según granulometría. ....	55
<b>Tabla 14:</b> Tamaño máximo y masa mínima de muestra. ....	61
<b>Tabla 15:</b> Peso mínimo de muestra. ....	64
<b>Tabla 16:</b> Validación de Hipótesis. ....	66
<b>Tabla 17:</b> Análisis granulométrico. ....	69
<b>Tabla 18:</b> Porcentaje de desgaste del agregado. ....	70
<b>Tabla 19:</b> Sales solubles en el agregado grueso. ....	71
<b>Tabla 20:</b> Sales solubles en el agregado fino. ....	71
<b>Tabla 21:</b> Durabilidad del agregado grueso. ....	71
<b>Tabla 22:</b> Durabilidad del agregado fino. ....	72
<b>Tabla 23:</b> Equivalente de arena de la muestra. ....	72
<b>Tabla 24:</b> Limite líquido. ....	73
<b>Tabla 25:</b> Limite plástico. ....	73
<b>Tabla 26:</b> Porcentaje con una o más caras fracturadas. ....	74
<b>Tabla 27:</b> Porcentaje con dos o más caras fracturadas. ....	74
<b>Tabla 28:</b> Porcentaje de partículas chatas y alargadas. ....	75
<b>Tabla 29:</b> Gravedad específica y absorción del agregado grueso. ....	75
<b>Tabla 30:</b> Gravedad específica y absorción del agregado fino. ....	75
<b>Tabla 31:</b> Peso específico Bulk 4% C.A. ....	76
<b>Tabla 32:</b> Peso específico Bulk 4.5% C.A. ....	76
<b>Tabla 33:</b> Peso específico Bulk 5% C.A. ....	76
<b>Tabla 34:</b> Peso específico Bulk 5.5% C.A. ....	77
<b>Tabla 35:</b> Peso específico Bulk 6% C.A. ....	77
<b>Tabla 36:</b> Peso específico teórico máximo. ....	77
<b>Tabla 37:</b> Porcentaje de vacíos. ....	78
<b>Tabla 38:</b> Diseño Marshall con 4% C.A. ....	78
<b>Tabla 39:</b> Diseño Marshall con 4.5% C.A. ....	79
<b>Tabla 40:</b> Diseño Marshall con 5% C.A. ....	79
<b>Tabla 41:</b> Diseño Marshall con 5.5% C.A. ....	80
<b>Tabla 42:</b> Diseño Marshall con 6% C.A. ....	81
<b>Tabla 43:</b> Ensayo Cántabro en estado seco con 4% C.A. ....	82
<b>Tabla 44:</b> Ensayo Cántabro en estado seco con 4.5% C.A. ....	82
<b>Tabla 45:</b> Ensayo Cántabro en estado seco con 5% C.A. ....	82
<b>Tabla 46:</b> Ensayo Cántabro en estado seco con 5.5% C.A. ....	83
<b>Tabla 47:</b> Ensayo Cántabro en estado seco con 6% C.A. ....	83
<b>Tabla 48:</b> Ensayo Cántabro en estado húmedo con 4% C.A. ....	83
<b>Tabla 49:</b> Ensayo Cántabro en estado húmedo con 4.5% C.A. ....	83
<b>Tabla 50:</b> Ensayo Cántabro en estado húmedo con 5% C.A. ....	84
<b>Tabla 51:</b> Ensayo Cántabro en estado húmedo con 5.5% C.A. ....	84
<b>Tabla 52:</b> Ensayo Cántabro en estado húmedo con 6% C.A. ....	84
<b>Tabla 53:</b> Permeabilidad. ....	85
<b>Tabla 54:</b> Valores "x" de contenido de asfalto. ....	86
<b>Tabla 55:</b> Valores "x" de contenido de asfalto. ....	87

<b>Tabla 56:</b> Valores "x" de contenido de asfalto. ....	89
<b>Tabla 57:</b> Valores "x" de contenido de asfalto. ....	90
<b>Tabla 58:</b> Porcentaje de desgaste para 4.02% C.A. ....	90
<b>Tabla 59:</b> Resultados de los ensayos para 4.5% C.A. ....	91
<b>Tabla 60:</b> Resultados de los ensayos de cántabro para 5.56% C.A. ....	91
<b>Tabla 61:</b> parámetros para la estabilidad tipo Marshall.....	92
<b>Tabla 62:</b> Variables.....	94
<b>Tabla 63:</b> Determinación de a2. ....	94
<b>Tabla 64:</b> Coeficientes estructurales. ....	95
<b>Tabla 65:</b> Precipitaciones Históricas en Canta. ....	96
<b>Tabla 66:</b> Diámetros y alturas de las briquetas.....	98
<b>Tabla 67:</b> Tiempo que tarda en verter 100 ml a la briqueta. ....	99
<b>Tabla 68:</b> Resumen de los resultados. ....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> <i>Composición del Asfalto.</i> .....	15
<b>Figura 2:</b> Permeámetro molde de Marshall. ....	24
<b>Figura 3:</b> Permeámetro LCS. ....	25
<b>Figura 4:</b> Permeámetro FDOT. ....	25
<b>Figura 5:</b> Dispositivo Corelok.....	26
<b>Figura 6:</b> Muestra del agregado grueso. ....	48
<b>Figura 7:</b> Proceso de cuarteo. ....	49
<b>Figura 8:</b> Realizando cuarteo. ....	50
<b>Figura 9:</b> Tamizado del agregado grueso. ....	51
<b>Figura 10:</b> Maquina de Los Ángeles.....	53
<b>Figura 11:</b> Llenando la bureta con 50 ml de metileno. ....	54
<b>Figura 12:</b> Agitando bureta.....	54
<b>Figura 13:</b> Durabilidad de Agregados.....	56
<b>Figura 14:</b> Equivalente de arena.....	57
<b>Figura 15:</b> Determinación del límite líquido con la cuchara Casagrande. ....	58
<b>Figura 16:</b> Preparación de muestra para L.L. y L.P. ....	58
<b>Figura 17:</b> Partículas con caras fracturadas. ....	60
<b>Figura 18:</b> Curva granulométrica. ....	69
<b>Figura 19:</b> Porcentaje de Vacíos vs porcentaje de asfalto. ....	86
<b>Figura 20:</b> Cántabro seco vs porcentaje de asfalto. ....	87
<b>Figura 21:</b> Cántabro húmedo vs porcentaje de asfalto. ....	88
<b>Figura 22:</b> Permeabilidad vs porcentaje de asfalto. ....	89

## INDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1:</b> Ecuación de la Ley de Darcy. ....	23
<b>Ecuación 2:</b> Ecuación de Escorrentía superficial .....	27
<b>Ecuación 3:</b> Ecuación del Coeficiente de escorrentía. ....	27
<b>Ecuación 4:</b> Ecuación del Tiempo de Concentración.....	28
<b>Ecuación 5:</b> Ecuación del coeficiente b.....	28
<b>Ecuación 6:</b> Ecuación del Método Racional. ....	28
<b>Ecuación 7:</b> Ecuación de porcentaje retenido sobre cada tamiz. ....	51
<b>Ecuación 8:</b> Porcentaje de Perdida por desgaste.....	53
<b>Ecuación 9:</b> Ecuación de Porcentaje de Sales Solubles.....	54
<b>Ecuación 10:</b> Calculo Limite Plástico. ....	59
<b>Ecuación 11:</b> Calculo Índice de Plasticidad. ....	59
<b>Ecuación 12:</b> Porcentaje de partículas chatas.....	61
<b>Ecuación 13:</b> Porcentaje de partículas alargadas. ....	62
<b>Ecuación 14:</b> Volumen de briqueta desplazada.....	63
<b>Ecuación 15:</b> Peso específico Bulk.....	63
<b>Ecuación 16:</b> Gravedad específica teórica máxima. ....	64
<b>Ecuación 17:</b> Ecuación de Porcentaje de vacíos de aire. ....	65
<b>Ecuación 18:</b> Ecuación de porcentaje de pérdida. ....	66
<b>Ecuación 19:</b> Ecuación para la Determinación del cemento asfáltico con % Vacíos.....	86
<b>Ecuación 20:</b> Determinación del contenido de asfalto con Cántabro seco.....	87
<b>Ecuación 21:</b> Determinación del contenido de asfalto con Cántabro húmedo. ....	88
<b>Ecuación 22:</b> Determinación del contenido de asfalto con Permeabilidad. ....	89
<b>Ecuación 23:</b> Ecuación del módulo de Resilencia. ....	93
<b>Ecuación 24:</b> Ecuación del Numero Estructural. ....	95
<b>Ecuación 25:</b> Ecuación de Diseño Estructural AASHTO 93. ....	95
<b>Ecuación 26:</b> Volumen del cilindro. ....	98
<b>Ecuación 27:</b> Ecuación del Caudal que infiltra en la briqueta.....	99
<b>Ecuación 28:</b> Ecuación de Intensidad de agua que infiltra la briqueta. ....	99
<b>Ecuación 29:</b> Ecuación del área de infiltración. ....	100

## RESUMEN

La presente investigación tiene el fin principal de realizar el diseño de un pavimento flexible poroso para examinar su aporte como alternativa para mejorar la drenabilidad pluvial en el pueblo de Canta-Lima, para esto se utilizó un asfalto PEN 85/100 con mejorador de adherencia REDICOTE 82-S, agregados granulares de la "Cantera Chillón". La investigación es del tipo experimental con un alcance Explicativa- Correlacional. Se analizaron 45 briquetas, 15 briquetas para estabilidad Marshall, 15 briquetas para el ensayo de pérdida por desgaste de Cántabro en estado seco y 15 briquetas para el ensayo de pérdida por desgaste de Cántabro en estado húmedo. Con ello se obtuvo que el porcentaje óptimo de asfalto es 4.5%, obteniendo valores de 706 Kg de Estabilidad corregida, 18.93% de pérdida por desgaste en Cántabro seco y 32.61% de pérdida por desgaste de Cántabro húmedo. Por último, se hizo un estudio hidrológico, encontrando que caudal de escorrentía superficial en un pavimento flexible tradicional es de 37.55 m<sup>3</sup>/h; sin embargo, en un pavimento flexible poroso este caudal se reduce hasta 15.90 m<sup>3</sup>/h, observándose una disminución del 57.66% del caudal, con lo cual se demuestra que es posible diseñarlo y demostrando que es una gran alternativa para ayudar en la drenabilidad pluvial de la zona en estudio.

**Palabras clave:** Pavimento, Poroso, Diseño, Drenabilidad, Cántabro y Caudal.

## ABSTRACT

The main purpose of this research is to design a flexible porous pavement to examine its contribution as an alternative to improve rain drainage in the town of Canta-Lima, for this a PEN 85/100 asphalt with REDICOTE 82-S adhesion improver was used, granular aggregates from the "Chillón Quarry". The research is of the experimental type with an Explanatory-Correlational scope. 45 briquettes were analyzed, 15 briquettes for Marshall stability, 15 briquettes for the Cantabrian wear loss test in the dry state and 15 briquettes for the Cantabrian wear loss test in the wet state. With this, it was obtained that the optimum percentage of asphalt is 4.5%, obtaining values of 706 Kg of corrected stability, 18.93% loss due to wear in dry Cantabrian and 32.61% loss due to wear in wet Cantabrian. Finally a hydrological study was carried out, finding that surface runoff flow in a traditional flexible pavement is 37.55 m<sup>3</sup> / h; However, in a flexible porous pavement this flow is reduced to 15.90 m<sup>3</sup> / h, observing a decrease of 57.66% of the flow, with which it is shown that it is possible to design it and showing that it is a great alternative to help in the pluvial drainage of the area under study.

**Keywords:** Pavement, Porous, Design, Drainage, Cantabrian and Flow

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En la última década la evacuación de las aguas de lluvia ha sido un problema que se viene generando a nivel tanto técnico como ambiental, a causa de que las ciudades se encuentran en un creciente desarrollo, lo cual conlleva a que se usen pavimentos convencionales en las vías, que no satisface las necesidades de las ciudades, ya que las precipitaciones generan altas escorrentías superficiales ocasionando el deterioro de la superficie de rodadura de los pavimentos, debido a que estos son impermeables. Por otro lado, países como Alemania, España y Reino Unido, vienen implementando una nueva tecnología que permite dar solución a problemas de escorrentía superficial como es el pavimento permeable.

Uno de los grandes problemas en carreteras se dan debido a que por causas de la lluvia se genera un empozamiento de agua de espesor bajo sobre la superficie de rodadura del pavimento, llevando a que los conductores pierdan adherencia entre el pavimento y el neumático generando que no se pueda maniobrar de manera correcta el vehículo. Además de ello, la visibilidad del conductor baja notoriamente, ya que los vehículos más grandes al pasar sobre este pavimento generan una neblina conllevando a accidentes de tránsito. (Roulet, 2009). Por lo cual, esta característica climatológica, lluvia, afecta en gran medida la seguridad y el buen manejar de los conductores, motivo por el cual la implementación de mezclas asfálticas drenantes, permitirán la reducción de estos problemas.

México es un gran ejemplo del uso de los pavimentos drenantes, por ejemplo, en el centro de la ciudad de Zopapan para mitigar los efectos de las precipitaciones se tomó la decisión de pavimentarlas con esta tecnología, dando resultados favorables como alternativa del drenaje urbanístico de la ciudad. (Espejo, 2012).

Ya en nuestro país, se observa la necesidad de implementar los pavimentos permeables, ya que en distintas zonas del país las precipitaciones son altas, esto causado por la geografía que poseemos y por los fenómenos ocurrentes como el fenómeno del Niño, todo ello genera que las zonas urbanas y sus carreteras se vean seriamente afectados. En el Perú, los tipos de pavimentos más usados son los pavimentos flexibles y rígidos, pero existen nuevas tecnologías como las del pavimento permeable, que solucionan grandes problemas de drenaje de escorrentía superficial, evitando accidente generados por hidroplaneo.

El pueblo de Canta, luce problemas en la estructura del pavimento, debido al crecimiento en el aspecto económico, demográfico, industrial y turístico, las precipitaciones en temporada de lluvia son un gran problema debido al empozamiento de agua en la superficie del pavimento lo cual conlleva a generar hidroplaneo en los vehículos y sobrecargar el drenaje del pueblo además del descontento de la población.

Por último, para mitigar los problemas generados por la acumulación de agua sobre la superficie del pavimento, se propone el diseño de un pavimento permeable que permita que el agua de las precipitaciones drene de manera eficiente.

Razón por la cual, en el presente trabajo de investigación busca el diseño de un pavimento flexible poroso como alternativa de drenabilidad pluvial en el pueblo de Canta-Lima.

## **1.2. Marco Teórico**

### **1.2.1. Bases Teóricas**

#### **1.2.1.1. Asfalto**

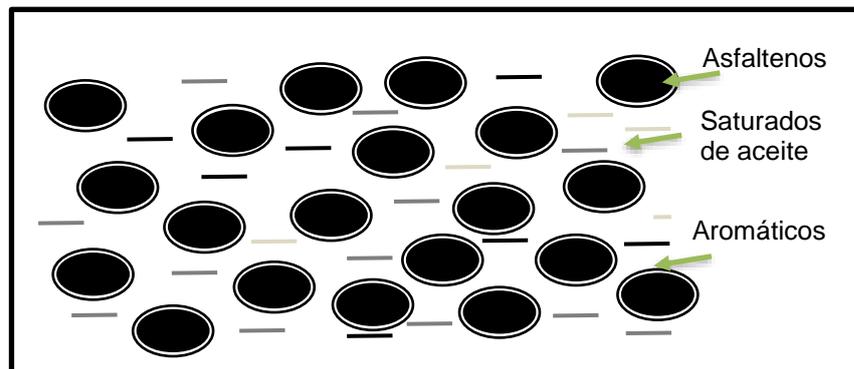
El asfalto es un material con características viscosas altas de color negro que se encuentra en la fracción pesada del petróleo crudo. El asfalto está compuesto por asfáltenos,

resinas y aceites, componentes que provee las principales características de este material como consistencia, ductilidad y aglutinación. (Torres y Cárdenas, 2019).

### Composición del asfalto

La configuración de la estructura del asfalto según el modelo micelar indica que posee dos fases: aromática formada por asfáltenos (parte discontinua) y los maltenos la parte continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos. La función de los maltenos es uniformizar a los asfáltenos. Los asfáltenos provienen de destilación fraccionada del petróleo crudo. Son compuestos pesados con alto nivel de ebullición. Los maltenos son fracciones de bajo punto de ebullición (saturados con cadenas cíclicas). (Torres y Cárdenas, 2019).

*Figura 1: Composición del Asfalto.*



*Figura 1.* Recuperado de “*Asfáltica Revista Técnica N° 8*” por Asociación Mexicana del Asfalto. Enero 2007.

### Composición Química del asfalto

La composición del asfalto se basa en moléculas complejas, las cuales varían en sus componentes químicos, así como también en su peso molecular, lo cual hace complicado definir exactamente la composición química del asfalto. Se presenta una proporción aproximada de los componentes más importantes del asfalto:

- Carbono 82 a 87%
- Hidrogeno 9 a 11%
- Nitrógeno 0.2 a 1.2%
- Azufre 0.9 a 5.3%
- Oxígeno 0.2 a 0.8%
- Vanadio 4 a 1400 ppm
- Níquel 0.4 a 110 ppm

Cuando se da el fraccionamiento químico, el CAP se divide en compuestos saturados, nafta-aromáticos, polaromaticos y asfaltenos. (Leitte y Bittencourt, 2004).

### Clasificación del asfalto

El asfalto se puede clasificar según el grado de penetración, viscosidad y análisis Performance Grade (PG). Para cada una de estas, se deben cumplir las siguientes especificaciones.

**Tabla 1:** Especificaciones del cemento asfáltico para su clasificación por penetración.

TIPOS		GRADO DE PENETRACION									
GRADO	ENSAYO	PEN		PEN		PEN		PEN		PEN	
		40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
		min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.
Pruebas sobre el material bituminoso											
Penetration a 25°C, 100 g, 5s, 0.1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en tricloro-etileno, %	MTC E 302	99		99		99		99		99	
Índice de Penetración (Susceptibilidad térmica)	MTC E 304	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
Ensayo de la Mancha											
Solvente Nafta-Estándar		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO	
Solvente Nafta-Xileno, % xileno	AASHTO M 20	NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO	
Solvente Heptano-Xileno, % xileno		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO		NEGATIVO	
Pruebas sobre la película delgada a 163°C, 3.2 mm, 5h											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0.8		0.8		1		1.3		1.5
Penetración retenida después del ensayo de película, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	

NOTA. Fuente: Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013)

**Tabla 2:** Especificaciones del cemento asfáltico para su clasificación por viscosidad.

características	Grado de Viscosidad				
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
viscosidad absoluta a 60 C°, poises	250+/-50	500+/-100	1000+/-200	2000+/-400	4000+/-800
Viscosidad Cinemática, 135 C°, st mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25 C°, 100 gr, 5s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de inflamación COC, C° mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
Viscosidad absoluta a 60 C°, poises máximos	1250	2500	5000	10000	20000
Ductilidad, 25 C°, 5 cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la Mancha (oliense*)					
Solvente Nafta Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta-Xileno, % xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano-Xileno, % xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

NOTA. Fuente. Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013).

## Adhesión y Cohesión del asfalto

La adhesión es la propiedad que posee el asfalto para adherirse al agregado y la cohesión es la propiedad para ligar el agregado con el asfalto. (Torres y Cárdenas, 2019).

## Susceptibilidad Térmica del asfalto

El asfalto como material termoplástico aumenta o disminuye su viscosidad de acuerdo a la temperatura a la que está expuesta. Esta propiedad garantiza gran fluidez a altas temperaturas durante el mezclado con los materiales pétreos, para luego volverse más viscosos a temperatura ambiente con lo cual se da una correcta fijación. (Torres y Cárdenas, 2019).

### 1.2.1.2.Pavimento flexible poroso

Aquellas mezclas asfálticas que poseen un gran contenido de vacíos son denominadas mezclas asfálticas porosas y estas permiten el filtro del agua para ser derivadas a las cunetas o algún otro medio de drenaje, así se puede evitar que el agua se quede en la superficie de rodadura ante condiciones climatológicas como las intensas precipitaciones. (Juyar y Pérez, 1996). El porcentaje de vacío tal como lo estipula la norma E 505 del MTC (2013) no debe ser menor del 20% ni mayor al 25 %.

Los pavimentos permeables están compuestos por bases granulares que permiten el paso del agua, desde la superficie de rodadura hasta la sub rasante, todo esto forma parte de la estructura del pavimento drenante y deberá poseer una capacidad de resistencia adecuada para cada tipo de tráfico. (Rodríguez, 2008).

Una técnica de drenaje sostenible urbano es la del sistema de pavimento permeable, la cual básicamente consiste en captar e infiltrar la escorrentía superficial. Este tipo de pavimento posee muchas ventajas como la de generar una disminución en la tasa de escorrentía provenientes de la lluvia. Básicamente un pavimento permeable debe garantizar un buen funcionamiento ante demandas altas de precipitaciones y a la vez, ofrecer una buena respuesta estructural capaz de resistir las solicitudes generadas por los vehículos. (Miklas, 2006).

Se prefiere manipular este tipo de pavimento para obras de carreteras, estacionamientos o en pavimentaciones urbanas, se debe evitar su aplicación en zonas con escorrentías que posean altas concentraciones de sedimentos, que causaría la obstrucción de los poros del pavimento permeable generando su mal funcionamiento y deterioro. (Miklas, 2006).

### **Clasificación Pavimento Permeable**

La clasificación de los pavimentos permeables según el doctor Hernández es la siguiente:

**Tabla 3:** *Clasificación del Pavimento Permeable.*

Según el Pavimento Permeable	Según el destino final del agua
Pavimento Permeable Discontinuo	Césped o grava con refuerzos
	Infiltración
Pavimento Permeable Continuo	Adoquines con ranura
	Almacenamiento
	Mezcla Asfáltica porosa
	Drenaje diferido
	Losa de concreto hidráulico poroso

Fuente: Rodríguez (2008).

### **Pavimento permeable continuo**

En esta categoría se encuentran las mezclas asfálticas porosas y el concreto hidráulico poroso.

#### **Mezcla Asfáltica Porosa**

A causa del alto contenido de vacíos la superficie se denomina permeable y esto permite que el agua se infiltre, generando una disminución en la escorrentía superficial. Para evitar la colmatación del sistema de pavimento permeable, se suele colocar un geotextil que se encuentra entre la capa de rodadura y la de almacenamiento. (Ferguson, 2005). Según

(Napa, 2003), el porcentaje de vacíos debe estar entre el 16% y 22% para poder generar una mezcla asfáltica drenante adecuada.

### **Ventajas de la aplicación del pavimento flexible poroso**

Una de las principales ventajas es que evita el hidroplaneo, el cual es un fenómeno que se da cuando deja de existir contacto entre el neumático del vehículo y la superficie de rodadura, lo cual conlleva a que el conductor pierde el control del vehículo desatando accidentes de tránsito. Los factores que conllevan a que este fenómeno se dé son los siguientes (Geretto, 2002).

**Efecto de viento:** debido al viento que cruza, sumado a las precipitaciones, se genera una aceleración transversal, la cual provoca el desplazamiento del rodado del carril.

**Velocidad del vehículo:** la tracción sobre las superficies de rodadura se pierde conforme se incrementa la velocidad, a esto se le denomina patinar y suele terminar en la pérdida del control del vehículo.

Los pavimentos drenantes, son caracterizados por ser un drenaje sostenible, ya que ayuda en el proceso de infiltración desde la captación hasta su almacenamiento de la escorrentía superficial. (Rodríguez, 2008).

### **Desventajas de la aplicación del pavimento flexible poroso**

Mantenimiento elevado para climas frígido, debido a su característica porosa el tiempo al que está expuesto a la humedad es mayor.

Los costos de construcción son más elevados que un pavimento convencional debido a la utilización de modificadores (adherencia, resistencia, polímeros etc.).

Un problema debido a su característica es la colmatación de sus poros lo cual conlleva la sedimentación de polvo u otros objetos.

### **Aditivo mejorador de adherencia en la mezcla asfáltica Redicote 82-S**

Es un emulsificante asfáltico mejorador de adherencia del agregado de rotura media para mezclas abiertas. Su uso generalmente es de 0.5% del peso del Cemento Asfáltico.

#### **1.2.1.3. Propiedades del Agregado**

Los agregados pétreos son empleados en la fabricación de mezclas asfálticas, pavimentos de concreto, cimentación de terraplenes. Aquellas partículas cuyo diámetro va de 2 mm. a 64 mm. son consideradas como agregados gruesos o gravas y aquellas con diámetro de 0.075 mm. y 2 mm. son denominadas como agregados finos y aquellas con diámetros menores a los 0.075 mm. son conocidas como filler. (Rondón y Reyes, 2015).

En mezclas asfálticas en caliente el volumen de agregado comprende entre el 90% y el 95%, razón por la cual el agregado es un factor importante en el cual se necesita analizar ciertas propiedades que garanticen una buena mezcla con el asfalto modificado. Si estos agregados cuentan con una buena calidad, la mezcla asfáltica podrá evitar daños como el ahullamiento, la fatiga y el daño por humedad. (Torres y Cárdenas, 2019).

#### **Gradación**

Según el manual de carreteras, especificaciones técnicas generales para construcción del 2013, los agregados pétreos no deben ser susceptibles de meteorizaciones ni sufrir cambios en su estructura. Además, para que el pavimento pueda ser considerado poroso, se deberá respetar una granulometría especial.

## **Limpieza**

Es un material extraño que puede contener el agregado (arcilla, terrones, etc), que pueden alterar la calidad de la mezcla asfáltica por lo que se requiere de un proceso de inspección visual y lavado de agregado para eliminar estos materiales extraños perjudiciales para la mezcla. (Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

## **Dureza**

Propiedad de soportar el efecto abrasivo de los agregados durante el proceso de construcción del pavimento y en la vida útil como tal. Una forma de medir esta propiedad es con el ensayo de desgaste de ángeles. (Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

## **Forma de la partícula**

Propiedad muy importante en la etapa de compactación y en la resistencia del pavimento, este es el motivo por el cual se requiere un control de calidad para evitar. La forma de las partículas alargadas evita el desplazamiento en el pavimento, las angulares y redondas proporcionan la resistencia y las partículas más finas la trabajabilidad.

(Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

## **Capacidad de Absorción**

Todo agregado tiene inherente la propiedad de la porosidad, propiedad por la cual le permite absorber ya sea agua o asfalto. Ciertos agregados tienen una gran afinidad con el asfalto por ejemplo la caliza posee propiedades hidrofóbicas (no absorben el agua). (Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

#### 1.2.1.4. Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente – Método Marshall

Corresponde a un método de diseño de mezcla asfáltica para pavimentos. Se basa en dos parámetros (estabilidad y porcentaje de vacíos). Se encuentran regulado bajo la norma ASTM T245. Su objetivo fundamental es la de determinar el contenido óptimo de asfalto, en base a una proporción específica de agregados. Este método solo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente, cuyo asfalto debe ser clasificado según su penetración o viscosidad, el tamaño máximo del agregado no debe exceder los 25.00 mm. (Torres y Cárdenas, 2019). Las briquetas elaboradas serán ensayadas para determinar el porcentaje de vacíos, permeabilidad, estabilidad Marshall y ensayo de Cántabro en estado seco y húmedo.

#### 1.2.1.5. Permeabilidad en la mezcla asfáltica

La permeabilidad es la capacidad de un cuerpo a dejar pasar el agua a través de él, sin llegar a modificar su composición interna. Esta se rige bajo la ley de Darcy con ciertas condiciones como: viscosidad del agua, cantidad de cemento asfáltico, característica de los agregados y volumen de aire entre ellos. (Vardanega, 2014). Según la ley de Darcy, se supone que el flujo dentro de la mezcla asfáltica es laminar y se determina según la siguiente ecuación:

**Ecuación 1:** Ecuación de la Ley de Darcy.

$$Q = k * i * A = (\Delta h L) * A$$

Donde:

Q=caudal.

k=según el material el coeficiente de permeabilidad variara.

i=gradiente hidráulico.

A= área de la sección transversal.

$L$ =longitud de muestra

$\Delta h$ =diferencia de potencial entre dos alturas

## Aparatos usados para medir el coeficiente de permeabilidad(K)

### Aparatos en Campo

- Permeámetro molde de Marshall

Es un aparato de carga variable de unos 15.24 cm. de molde a un anillo de 5cm en la base que sella el aparato a la superficie del pavimento. El sellado consiste en llenar el molde de parafina caliente fluye a través de los poros del pavimento.

*Figura 2: Permeámetro molde de Marshall.*



*Figura 2. Recuperado de “Permeabilidad del concreto Asfáltico” por Cooley, et al. 1999.*

- Permeámetro LCS

Aparato para toma de muestras en campo, presenta una base circular de acero como apoyo de 16.5 cm de diámetro, un tubo cilíndrico de diámetro 4 cm. y un tubo cilíndrico transparente de diámetro de 9.4 cm.

**Figura 3: Permeámetro LCS.**

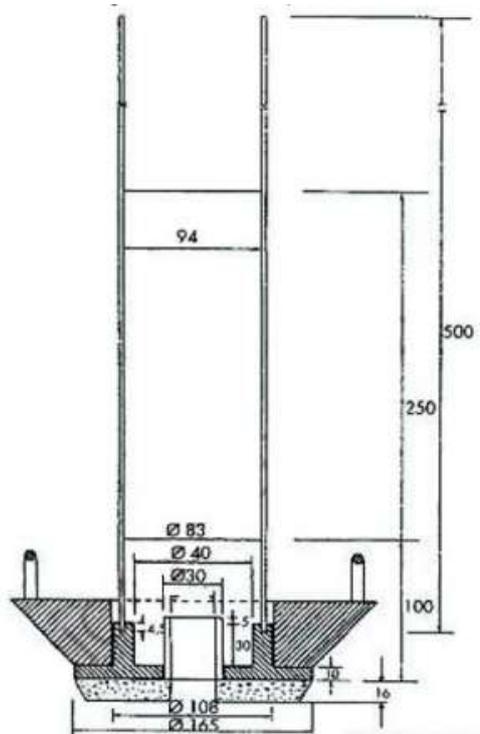


Figura 3. Recuperado de “Proyecto de Grado Final” por INVIAS. 2013.

### Aparatos en Laboratorio

- Permeámetro FDOT

Utilizado en la norma ASTM para medir la permeabilidad en mezclas asfálticas. El aparato lleva un tubo vertical, dos anillos de presión, una membrana de látex, una válvula de control del paso del agua, una bomba de aire acondicionada con un manómetro y un cilindro de unos 15.24 cm. El ensayo consiste en saturar las muestras para luego colocarlas dentro de la membrana de látex y untarlas con cera para luego presurizarla. Se abre la válvula para el ingreso de agua en el espécimen de pavimento. a través de ello se obtienen diferentes niveles de carga hidráulica y tiempo.

**Figura 4: Permeámetro FDOT.**



Conocer la escorrentía superficial es de vital importancia en el diseño de cualquier alternativa de drenaje sostenible ya que con ello se puede reutilizar en actividades domésticas como riego de jardines, cultivos a escalas menores de producción, limpieza de aceras, etc. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

## **Ecuación 2:** Ecuación de Escorrentía superficial

$$\text{Escorrentia} = \text{precipitación} - \text{infiltración}$$

## **Coefficiente de escorrentía superficial**

Es una relación matemática que vincula la escorrentía en mm de lámina de agua y la cantidad de lluvia también en mm de agua en una determinada cuenca o área de estudio (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

## **Ecuación 3:** Ecuación del Coeficiente de escorrentía.

$$C = \frac{\text{Escorrentia (mm)}}{\text{Lluvia (mm)}}$$

**Tabla 4:** Coeficientes de Escorrentía.

Tipos de superficie del Área de Captación	Coefficiente de escorrentía ( C )
Lamina plástica de polietileno	0.90
Mortero( mezcla de cemento y arena)	0.88
Asfalto	0.88
Teja de arcilla recocida	0.75
Manta plástica mas grava	0.70
Suelo de textura fina(arcilloso), emparejado con lamina	0.55
Suelo de textura fina(arcilloso), en barbecho	0.24
Suelo de textura grueso(arenoso)	0.20
Pasto buffel( Cenchrus ciliaris)	0.15
Áreas cultivadas	0.08-0.41
Pastos	0.12-0.62
Techos	0.75-0.95
Hormigón	0.70-0.95

NOTA. Fuente. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2013).

### Tiempo de Concentración

Es el tiempo que le toma a la gota de agua que cayó lo más alejada de la salida de la cuenca hasta este mismo lugar, punto en el cual concurren todas las escorrentías superficiales de la cuenca. La ecuación que se presenta a continuación para la determinación del tiempo de concentración fue realizada por Izzard en 1946.

*Ecuación 4: Ecuación del Tiempo de Concentración.*

$$T_c = \frac{526.42 * b * L^{1/3}}{(C_r * i)^{2/3}}$$

Donde:

L= longitud de escorrentía superficial en metros

i=intensidad de lluvia en mm/hora

C<sub>r</sub>= coeficiente de retardo de escorrentía

*Ecuación 5: Ecuación del coeficiente b.*

$$b = \frac{0.0000276 * i + C_r}{S^{1/3}}$$

Donde:

S= pendiente de la superficie en %

### Método Racional

Es un método de fácil manejo para encontrar el caudal máximo que un área o cuenca descarga.

*Ecuación 6: Ecuación del Método Racional.*

$$Q = C * i * A$$

Donde:

Q= caudal máximo de la cuenca en m<sup>3</sup>/s

C=coeficiente de escorrentía

i=intensidad de lluvia en m/s

A= área de la zona de captación en m<sup>2</sup>

### 1.3. Antecedentes de Investigación

#### 1.3.1. Antecedentes a Nivel Internacional

Ayala y Juárez, en el año 2010, en su investigación titulada “Diseño de Mezcla drenante con asfalto modificado disponible en el Salvador” tuvieron como finalidad proponer una mezcla asfáltica modificada drenante capaz de evacuar el escurrimiento superficial. Para lo cual utilizó un único tipo de asfalto modificado con polímero SBS, además de un solo tipo de granulometría que fueron evaluadas bajo el Método Marshall. Se realizaron briquetas para distintos contenidos de asfalto que van desde el 3%, 3.5%, 4%, 4.5% y 5%.

El investigador realizó el ensayo de Cántabro seco y húmedo, con la finalidad de evaluar la adherencia y el desgaste de la mezcla asfáltica.

Se obtuvo como resultado que el contenido de vacíos y la permeabilidad es inversamente proporcional al contenido de asfalto, este último no debe bajar del 4.5% para poder garantizar que el asfalto envuelva de manera óptima a los agregados.

Al analizar con dos porcentajes de asfalto diferentes de 3% y 5% con la misma granulometría se obtienen resultados muy marcados de desgaste de cántabro seco de 41.9% y 15.2% respectivamente, concluyendo que con un porcentaje al 3% de asfalto el desgaste excede lo indicado en las normas de INVIAS.

Los agregados basálticos fueron óptimos para garantizar una adecuada adherencia asfalto-agregado. El resultado de la prueba de Marshall dio como valor 839 Kg. superando los 816 Kg. establecido en la norma nacional.

Por lo tanto, el investigador propone emplear una mezcla asfáltica con el 4.5% de asfalto, generando un 20% de contenido de vacíos, en el ensayo de permeabilidad se necesitó de 10.3 segundos inferiores a los 15 segundos que se encuentran normados, el ensayo de cántabro seco resultó en 22.8% y el húmedo en 28.7%.

Meneses y Páez, en el año 2017, en su tesis experimental titulada “Mezcla Asfáltica Permeable como parte de la Estructura del Pavimento a partir del uso y modificación de una mezcla drenante aplicada a vías rurales”, tuvo como objetivo principal adaptar una mezcla asfáltica permeable como alternativa de una estructura de un pavimento flexible. Esta investigación se basó en la normativa del Instituto Nacional de Vías, realizando la evaluación de la permeabilidad y el contenido de vacíos, para obtener información con respecto a la capacidad de drenaje y con respecto a la resistencia y deformación plástica se realizó el análisis de estabilidad y flujo.

El investigador realizó diferentes ensayos en tres tipos de mezclas asfálticas, la primera mezcla fue una convencional, la segunda fue una mezcla asfáltica drenante con aditivo Zycotherm y la última fue una mezcla asfáltica drenante empleando una granulometría especial llamada Bailey. Con respecto al aditivo empleado, funciona a base de organosilanos que modifican la superficie de los agregados en alkyl, el cual tiene una adherencia extremadamente buena con el asfalto. El porcentaje de asfalto usado fue de 4.5%, 5%, 5.5% y 6%.

Los resultados obtenidos fueron que, al emplear un contenido de asfalto superior, se obtiene un contenido de vacíos por debajo de los parámetros establecidos en la norma de

INVIAS. Con respecto a la estabilidad, los mejores resultados se obtuvieron aplicando la granulometría bajo el método Bailey, pero no es posible aplicar esto ya que con este método no es posible llegar a un porcentaje mínimo de vacíos requerido para que la mezcla asfáltica sea drenante. Con respecto al flujo, la mezcla con 4.5% de asfalto es la que cumple el parámetro máximo de 5 mm, mientras que las demás mezclas sobrepasan este parámetro. El ensayo de permeabilidad cumple para la mayoría de mezclas excepto para la de 6%. Ninguna de las mezclas es favorable con respecto a ensayo de flujo/estabilidad.

En conclusión, los resultados obtenidos en esta investigación permitieron saber que las mezclas asfálticas drenante modificadas mejoraron su estabilidad, pero que en cuestiones de estabilidad/flujo, el resultado obtenido no llega a los mínimos exigidos por la norma, por lo cual aún no sería posible considerar al pavimento flexible permeable como parte de la estructura del pavimento.

La investigadora López, en su investigación titulada “Comportamiento mecánico de mezcla asfáltica drenante” realizada en el 2013, busca encontrar un adecuado diseño de mezcla asfáltica que permita el control del caudal de escorrentía sobre la carpeta de rodadura. Para ella, el problema central parte del aumento de la escorrentía provocando inundaciones, aun cuando se producen lluvias promedio. El desarrollo de su investigación se basa en mezclas asfálticas con diferentes contenidos de asfalto, yendo de 3.5% a 5.5%, a los cuales les realizó una caracterización mecánica, dinámica e hidráulica, realizó 103 probetas para su estudio. Los valores de estabilidad que obtuvo se encuentran dentro de lo establecido por el instituto IDU ET-2005, es decir, valores entre 600 kg y 750kg. Con respecto al ensayo de Cántabro para calcular la pérdida por desgaste en estado seco y húmedo, encontró valores altos en ambas condiciones para mezclas asfálticas con 3.5% de asfalto (32.7% y 41.44%); sin embargo, para mezclas con 4.5% de asfalto en estado seco obtuvo 18.5% de pérdida y para el estado húmedo con 4% con inmersión el desgaste fue de 21.2%, estos resultados

cumplen con lo establecido por INVIAS, siendo que para estado seco el máximo desgaste es 25% y para el estado húmedo 40%. El porcentaje óptimo de asfalto que hallo fue de 4.5%. Finalmente concluye que con el 4% y 4.5% de C.A. hallo un diseño adecuado de mezcla asfáltica que le permite manejar las aguas que escurren.

Según el investigador chileno Roulet, en su investigación titulada “Seguimiento y Comparación de caminos de Pavimento Asfáltico con mezcla drenante” realizada en el 2009, busca comparar el comportamiento luego de la vida útil de las vías entre Valdivia y Paillaco y la otra entre Temuco y Cholchol, ambas vías cuentan con una superficie de rodadura con mezcla asfáltica drenante.

Para Roulet el principal problema es que la acumulación de agua sobre las vías trae consigo que los conductores pierdan el control del vehículo; además, se genera una especie de neblina como resultado del reflejo del agua empozada.

La investigación inicio recabando información geográfica de los tramos de estudio, así como detalles técnicos de los pavimentos evaluados (ancho, berma, detalles geométricos, etc.). Luego se buscó información sobre los agregados y ensayos empleados en estas vías. El desarrollo de un catastro de tránsito fue primordial para este estudio, con el fin de comprender el flujo vehicular. Otro punto muy importante fue la recolección de datos pluviométricos de la zona. Posteriormente se utilizaron permeámetros modernos para evaluar la permeabilidad de todos los tramos en estudio.

Con respecto a la fricción del pavimento los resultados obtenidos fueron óptimos, lo cual permite que los conductores tengan el control completo de los vehículos. Además, la vía Valdivia-Paillaco, obtuvo mejores resultados permitiendo concluir que estas mezclas asfálticas drenantes funcionan de mejor manera en zonas de alta precipitación y con alto tráfico de vehículos. La drenabilidad sufrió una disminución a lo largo del tiempo, ya que, por ser un camino rural, el acarreo de finos se dio fácilmente.

### 1.3.2. Antecedentes a Nivel Nacional

La investigación liderada por Cuentas en el año 2019 titulada “Análisis y diseño de pavimentos flexibles poroso en laboratorio como solución a la drenabilidad de aguas pluviales en la ciudad de Puno”, es un estudio de naturaleza experimental, cuantitativo y explicativo, teniendo como objetivo general el diseño de un pavimento flexible drenante para analizar como contribuye en la drenabilidad de aguas pluviales en la ciudad de Puno.

Para la investigadora, los problemas principales radican en la pérdida de control del vehículo debido a la falta de adherencia entre el pavimento y el neumático y la pérdida de visibilidad, estos problemas se generan debido al agua que se encuentra sobre la superficie de rodadura.

La investigación se desarrolla en dos partes básicamente: La elaboración de probetas cilíndricas de concreto asfáltico con materiales granulares propios de la zona de estudio, las cuales son ensayadas en las diferentes pruebas que exige el Ministerio de transporte y comunicaciones. La segunda parte involucra un análisis de diseño basado en la AASHTO 93 con la cual se busca ayudar en el manejo del drenaje de aguas pluviales, previamente calculada la variable de escorrentía.

A las briquetas en sus distintos contenidos de asfalto se realizó los ensayos de permeabilidad, % de vacíos, cántabro sin inmersión y cántabro con inmersión. Es en base a estos ensayos que se pudo determinar el contenido ideal de asfalto.

Esto dio como resultado que con el pavimento drenante planteado, los caudales de escorrentía disminuyeran considerablemente. La estabilidad que se obtuvo con mezclas asfálticas del 5% para el nivel de tránsito medio del lugar indican que si se puede obtener un pavimento drenante y que su aplicación debería ser masificada en más obras viales. Un

correcto mezclado garantiza que se evite la segregación de los diferentes componentes del pavimento y con ello no llegar a la condición de drenante.

En el 2020, Balarca y Salazar realizaron la investigación titulada “Análisis y espesor total del paquete estructural de pavimento permeable expuesto a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 mm/h, en Molinopampa-Amazonas y en Temuco-región de la Araucanía”, la cual es una investigación de naturaleza cuantitativa, descriptiva y no experimental, debido a que analiza un conjunto de antecedentes teóricos previos (tesis, artículos científicos, etc.). Se basó en la recopilación informativa de estudios hidrológicos y de diseño estructural, sustentados en estudios de tráfico y de los métodos INTERPAVE y MINVU-DICTUC. Toda la data de la investigación se sustentó en tesis que se enfocaron en la drenabilidad de pavimentos y su posterior propuesta de los espesores de las capas del pavimento. Las investigaciones ponen mucho cuidado en aspectos básicos que se deben tener en cuenta, por ejemplo: La información hidrológica de la zona de estudio, cálculos de escorrentía, cálculos de infiltración. EL Método Interpave presente en las investigaciones de pavimentos drenantes ofrece un nuevo enfoque de diseño de pavimentos en base al coeficiente de permeabilidad de la subrasante, con lo cual se busca cada día encontrar nuevas formas de mitigar los efectos de la escorrentía.

De esto se obtuvo que bajo condiciones de intensidad de precipitación menor a 100 mm/h y con un tráfico medio, en la zona de Molinopampa se necesita un espesor de 45 cm; sin embargo, para el área de Temuco se necesitó de un espesor de la estructura de pavimento permeable de 30 a 43 cm. Bajo el método MINVU-DICTUC se logró diseñar el pavimento hidráulicamente y con el método INTERPAVE se diseñó a nivel estructural. Con respecto a la carpeta de rodadura, en ambas zonas resultó un espesor igual a 10 cm.

Rondoy, en el 2019 en la tesis titulada: “Diseño de un pavimento permeable y drenaje pluvial del tramo Jr. San Lorenzo – Mercado de Piura 2018” tuvo como principal objetivo el de determinar un diseño adecuado de pavimento permeable y drenaje en la zona indicada. Dicha investigación fue de diseño pre experimental con un enfoque cuantitativo.

El principal problema reconocido por el investigador fue que, en la zona de estudio en tiempos de lluvia, el agua se estanque por los alrededores del mercado infiltrándose en la estructura del pavimento generando su deterioro. Además, los problemas de hidroplaneo y el mal funcionamiento del drenaje debido a una sobrecarga del caudal por la escorrentía superficial.

Se realizó el cálculo del tráfico actual para contabilizar el tipo de vehículos que generalmente usan esta vía, con lo que se pudo obtener que el 99.81% son vehículos livianos y que el 0.19% vehículos pesados.

Para el estudio hidrológico del drenaje pluvial empleo el caudal máximo de diseño según el reglamento nacional de edificaciones en la OS0.60 del drenaje pluvial urbano, obteniendo un caudal del 1.68 m<sup>3</sup>/s.

Guerra en su investigación en año 2019 titulada "Calidad en el drenaje y diseño de un pavimento rígido permeable con agregados de la cantera Isla, en las vías de la Villa Chullunquiani del sector nor-oeste de la ciudad de Juliaca aborda el problema del drenaje no sostenible, asociándolo al crecimiento poblacional y la mala evacuación de las aguas pluviales en áreas pavimentadas. La investigación plantea un pavimento permeable rígido diseñado bajo la norma AASHTO 93 con sub base granular filtrante y una capa protectora, dando como resultado una permeabilidad de 0.463 cm/s que según normas AASHTO 93 tiene un drenaje excelente.

#### **1.4. Formulación del problema de investigación**

Debido al crecimiento en el aspecto económico, demográfico e industrial además de las altas precipitaciones en el pueblo de Canta, se genera la necesidad de implementar nuevas tecnologías de pavimentación que permitan responder a las solicitudes estructurales e hidrológicas.

Razón por la cual, en el presente trabajo de investigación busca responder a la siguiente interrogante:

#### **1.4.1. Problema general**

¿En qué medida aportará el diseño del pavimento flexible poroso como alternativa en el mejoramiento de la drenabilidad pluvial en el pueblo de Canta-Lima?

#### **1.4.2. Problemas específicos**

##### **1.4.2.1. Problema Especifico 1**

¿El diseño del pavimento flexible poroso obedecerá un buen comportamiento al desgaste a causa de su porcentaje de vacíos?

##### **1.4.2.2. Problema Especifico 2**

¿El pavimento flexible poroso es una opción que tendrá una óptima permeabilidad?

##### **1.4.2.3. Problema Especifico 3**

¿El pavimento flexible poroso contará con una apropiada estabilidad?

### **1.5. Objetivos**

#### **1.5.1. Objetivo general**

Realizar el diseño del pavimento flexible poroso para examinar su aporte como alternativa para mejorar la drenabilidad pluvial en el pueblo de Canta-Lima.

## **1.5.2. Objetivos específicos**

### **1.5.2.1. Objetivo Especifico 1**

Justificar que el pavimento flexible poroso contribuye en la mejora de la adherencia de partículas y su resistencia, reduciendo el desgaste.

### **1.5.2.2. Objetivo Especifico 2**

Determinar que el pavimento flexible poroso poseerá una correcta permeabilidad ayudando en la drenabilidad pluvial.

### **1.5.2.3. Objetivo Especifico 3**

Comprobar mediante el ensayo de estabilidad Marshall la estabilidad

## **1.6. Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis general**

El diseño del pavimento flexible poroso es una alternativa factible que mejoraría en gran medida la drenabilidad pluvial en el pueblo de Canta-Lima. 2021.

### **1.6.2. Hipótesis específicas**

#### **1.6.2.1. Hipótesis Especifica 1**

El pavimento flexible poroso obedecerá los criterios de adherencia de partículas y su resistencia, reduciendo el desgaste.

### **1.6.2.2.Hipótesis Especifica 2**

El pavimento flexible poroso posee una permeabilidad adecuada que permitirá la drenabilidad pluvial.

### **1.6.2.3.Hipótesis Especifica 3**

El pavimento flexible poroso respeta los criterios de estabilidad idóneos para ser empleado.

## **1.7. Justificación**

### **1.7.1. Justificación Científica**

La presente investigación cuenta con una justificación científica, ya que el fin de esta investigación es el de realizar un diseño de un pavimento poroso como una alternativa de drenabilidad pluvial y ver qué tan factible es de aplicarse en la zona en estudio, mejorando de esta manera la transitabilidad tanto peatonal como vehicular.

### **1.7.2. Justificación Social**

De igual manera, se cuenta con una justificación social, ya que el agua empozada por las precipitaciones sobre la superficie de rodadura, ya sea en calles, estacionamientos u otras vías, conlleva a que los usuarios peatonales y vehiculares tengan problemas que van desde el poco confort de la población hasta la pérdida del control vehicular.

### **1.7.3. Justificación Técnica**

Con respecto a la justificación técnica, con el uso del pavimento poroso, se obtiene una nueva forma de manejar la escorrentía que ocasiona pérdidas en la carpeta de rodaduras

asfáltica. Con esto el nivel de encharcamiento en los pavimentos se podrá mitigar y con ello disminuir grandes problemas como el hidroplaneo, así evitando poner en riesgo la integridad de las personas.

### **1.8. Limitación del Estudio**

La presente investigación contempla el diseño del pavimento flexible poroso en laboratorio, no considera la fabricación de mezclas asfálticas en planta, ejecución in situ ni la evaluación de un tramo. La presente investigación hace el uso de un modificador de asfalto en cuanto a las propiedades de adherencia y resistencia Redicote 82-S.

En la actualidad el uso de pavimento flexible poroso en la pavimentación no está muy masificado, razón por la cual se aprovechará los estudios y las experiencias realizadas en el extranjero y en algunas partes del país.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Metodología de la Investigación

#### 2.1.1. Enfoque de Investigación

Una investigación cuantitativa es aquella que es secuencial y probatoria, es decir, no se puede saltar pasos, cada etapa es parte de un proceso ordenado, pero, también es posible volver a definir ciertas fases. Todo inicia de una idea, se delimita y luego se formulan preguntas de investigación, se examina literatura y se elabora un marco teórico. De las preguntas formuladas, se generan las hipótesis y surgen las variables; estableciendo la manera como serán demostradas; las variables son medidas en un determinado entorno; se revisan estas mediciones, generalmente son realizadas usando métodos estadísticos, y se determina diversas conclusiones respecto de las hipótesis formuladas. (Hernández et al, 2014).

Por lo mencionado, la presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que se determina un problema específico, se toma en cuenta literatura y antecedentes previos concernientes al tema, se elaboró un marco teórico y se generaron varias hipótesis, las cuales son sometidas a ensayos y caracterizaciones, con la finalidad de recolectar y examinar datos cuantitativos, respondiendo así a las hipótesis planteadas.

#### 2.1.2. Tipo de Investigación

De acuerdo a (Hernández et al, 2014) se entiende que los tipos experimentales son empleados cuando el investigador procura fijar la probable consecuencia de una causalidad que se manipula. Para estudiar probables efectos se necesita una intencionada manipulación de las variables.

Para nuestra Investigación tenemos una variable independiente, Diseño de Pavimento Flexible Poroso que al estudiarla podremos estimar las consecuencias que ejercerán directamente en la variable dependientes, Drenabilidad Pluvial.

### **2.1.3. Alcance de Investigación**

La presente Investigación es Explicativa-Correlacional, para (Hernández et al, 2014) una Investigación explicativa está orientada a contestar las razones de los diferentes fenómenos físicos y sociales, centrándose en responder el porqué del fenómeno y en que situaciones se presenta o por que se vinculan dos o más variables. Las investigaciones Correlacionales buscan averiguar la relación que se da entre dos o más variables, analizando el grado de asociación entre dos o más variables, las miden y cuantifican.

Este proyecto tiene como objetivo realizar el diseño del pavimento flexible poroso para examinar su aporte como alternativa para mejorar la drenabilidad pluvial en el pueblo de Canta-Lima.

## **2.2. Definición de Variables**

### **2.2.1. Variable Independiente**

#### **2.2.1.1. Diseño de Pavimento Flexible Poroso**

Son pavimentos que poseen cierta característica en cuanto a su porcentaje de vacíos, los cuales son más altos que los pavimentos flexibles convencionales. Esta es la razón de sus características drenantes que evitan que el agua permanezca en la superficie de rodadura. Algunas propiedades de este tipo de pavimento son:

- Resistencia al desgaste
- Estabilidad

- Peso unitario
- Densidad
- Volumen de vacíos
- Contenido de asfalto

## 2.2.2. Variable Dependiente

### 2.2.2.1. Drenabilidad Pluvial

Como resultado de las precipitaciones se obtiene las aguas pluviales, la cual no penetra al suelo, ya que se genera en zonas urbanas, proviniendo de los techos de las viviendas, de parque, plazas, calles. Para la captación de estas aguas, se emplean alcantarillas laterales.

Adicionalmente a la lluvia directa, tenemos lo que es la escorrentía superficial, este concepto es de gran importancia para tomar en cuenta en el diseño captación de agua mediante alcantarillas. El uso de estas aguas captadas, puede ser en el tratamiento de jardines, lavado de veredas. Para un diseño adecuado de drenaje, las características básicas a tomar en cuenta son:

- Coeficiente de escorrentía superficial
- Tiempo de concentración
- Estimación de caudal de escorrentía

## 2.3. Funcionamiento de Variables

### 2.3.1. Funcionamiento de la Variable Independiente

**Tabla 5:** *Operacionalización de Variable Independiente.*

---

Matriz de Operacionalización de la variable
Variable Dependiente: Drenabilidad Pluvial

---

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Valoración
Diseño de Pavimento Flexible Poroso	El pavimento flexible poroso, es una alternativa diferente de manejar el drenaje pluvial. La principal ventaja de este tipo de pavimento es que permite la disminución del fenómeno de hidropilano.	Las mejoras en las propiedades del pavimento flexible poroso, dependerá del grado de compatibilidad entre las componentes del pavimento y del modificador del asfalto	Propiedades Mecánicas	Resistencia al desgaste	%
				Estabilidad	kg
				Peso Unitario	g/cm <sup>3</sup>
				Densidad	kg/cm <sup>3</sup>
				Volumen de vacíos	%
				Propiedades Físicas	Contenido de asfalto

NOTA. se muestra el funcionamiento de la variable “Diseño de Pavimento poroso”. Fuente: propia.

### 2.3.2. Funcionamiento de la Variable Dependiente

**Tabla 6:** Operacionalización de la Variable Dependiente.

Matriz de Operacionalización de la variable					
Variable Dependiente: Drenabilidad Pluvial					
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Valoración
Drenabilidad Pluvial	El agua de lluvia son las aguas pluviales, las cuales producen una escorrentía superficial por calles y otras áreas hasta llegar a las obras de drenaje pluvial. Por lo cual la drenabilidad pluvial es la capacidad de un cuerpo para permitir el paso de las aguas de lluvia por su interior.	Para el adecuado funcionamiento de la drenabilidad pluvial el porcentaje de vacíos y la permeabilidad son propiedades físicas importantes para su análisis. Se verterá agua en las briquetas para medir el tiempo que le toma a esta en atravesar el cuerpo.	Propiedades Físicas	Permeabilidad	s

NOTA. se muestra el funcionamiento de la variable “Permeabilidad Pluvial”. Fuente: propia.

## 2.4. Población y Muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

### 2.4.1. Población

Para la presente investigación sobre el diseño de un pavimento flexible poroso como alternativa de drenabilidad pluvial, se necesita hacer cuerpos de prueba para cada tipo de mezcla asfáltica, con el propósito de efectuar los ensayos que se necesitan, tanto para evaluar las propiedades mecánicas y físicas en el pavimento y en la drenabilidad.

Para los ensayos y el estudio de mezclas asfáltica porosa modificada se considerará 9 briquetas para cada mezcla con contenido de asfalto diferentes, obteniendo un total de 45 briquetas.

#### 2.4.1.1.Descripción de la población

La población de análisis considera mezclas asfálticas con diferente contenido de asfalto y modificadas. Se utilizarán briquetas con medidas de 4"(10 cm) y 6 cm de altura.

**Tabla 7:** Descripción de la población.

<b>CUERPOS DE PRUEBA DE MEZCLA ASFALTICA POROSA</b>			
	Ensayo de Cántabro con inmersión	Ensayo de Cántabro sin inmersión	Ensayo de Estabilidad Marshall
Contenido de Asfalto 4%	3	3	3
Contenido de Asfalto 4.5%	3	3	3
Contenido de Asfalto 5%	3	3	3
Contenido de Asfalto 5.5%	3	3	3
Contenido de Asfalto 6%	3	3	3
<b>TOTAL</b>			<b>45</b>

NOTA. se muestra la distribución de briquetas en la investigación. Fuente: propia.

### **2.4.2. Muestra**

La muestra de análisis de la que se dispone está constituida por la misma población previamente mencionada debido al número de nuestras pruebas, las cuales son briquetas formadas por cinco tipos de mezclas asfálticas en diferentes porcentajes de contenido de asfalto. Se utilizarán briquetas con medidas de 4"(10 cm) y 6 cm de altura.

### **2.4.3. Método de Muestreo**

Para la presente investigación se realizarán briquetas basadas en la norma establecida por el MTC Manual de Carreteras 2013, la cual nos permitirá obtener resultados óptimos y con gran confiabilidad. En base a los parámetros establecidos por la norma, la cantidad de briquetas mínimas a ensayar son 03 unidades, siendo todas conformadas de igual manera y con los mismos materiales.

Por esta razón, se ha decidido realizar un total de 45 briquetas, de las cuales 15 serán ensayadas por la estabilidad con el método Marshall, 15 serán sometidas al ensayo de cántabro seco y otras 15 al ensayo de cántabro húmedo. Se utilizarán briquetas con medidas de 4"(10 cm) y 6 cm de altura. De esta manera se podrá determinar el contenido de asfalto ideal para las mezclas asfálticas porosas.

En la presente investigación el método de muestro empleado es el método No Probabilístico, ya que la población con la que se cuenta es reducida y controlable, debido a esto la muestra tiene la misma dimensión que la población Se elige esta opción ya que, se realiza a todas las briquetas el ensayo de control, análisis y estudio.

## **2.5. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

Para la recolección de datos en la presente investigación, se basó en ensayos realizados en laboratorio, todas ellas fundamentadas en la norma técnica MTC Manual de

Carreteras 2013. Con el fin de recabar información a través de estos ensayos, se usaron instrumentos como herramientas.

Las muestras de análisis de los agregados fueron tomadas de la cantera del “Chillón” y el laboratorio para el estudio de las muestras fue “Ensayos Limier S.A.C.”

### 2.5.1. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para la presente investigación, sobre pavimento flexible poroso se utilizó un mejorador de adherencia, los cuales fueron ensayados de acuerdo a la normativa del MTC Manual de Carreteras 2013.

Este estudio presenta tres etapas de análisis: la primera etapa es la de evaluar las propiedades mecánicas y físicas de los componentes de la mezcla asfáltica porosa, luego se realizará un diseño de pavimento para tráfico mediano mediante el método AASHTO 93 y finalmente el Estudio hidrológico para determinar el caudal de escorrentía. Para todo ello se realizó lo siguiente:

**Tabla 8:** Lista de Ensayos.

Caracterización del Agregado	
Ensayo de Análisis Granulométrico	MTC E 107
Ensayo de Resistencia la Desgaste por Abrasión Los Ángeles	MTC E 207
Ensayo de sales solubles	MTC E 219
Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y magnesio	MTC E 209
Ensayo de equivalente de arena	MTC E 514
Ensayo de Limite Liquido y Plástico	MTC E 111
Ensayo de Estándar para determinar porcentaje de Partículas fracturadas en el agregado grueso	MTC E 210
Ensayo de Partículas chatas y alargadas en agregados	MTC E 223
Ensayo de Gravedad Especifica y Absorción de Agregado Finos	MTC E 205

Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de Agregado Grueso	MTC E 206
Caracterización de las briquetas de asfalto	
Ensayo de Peso Específico Bulk en briquetas	ASTM D 2726
Ensayo de Peso Específico Teórico Máximo de Mezclas Asfálticas	MTC E 508
Ensayo de Porcentaje de Vacíos en Mezclas Asfálticas compactadas densas y abiertas	MTC E 505
Ensayo de Estabilidad Marshall	ASTM D 6927
Ensayo de Cántabro de pérdida por desgaste	MTC E 515
Estudio Hidrológico	
Máxima precipitación histórica	SENAMHI
NOTA. se muestra todos los ensayos y fichas técnicas para la presente investigación Fuente: propia.	

### 2.5.2. Análisis de Datos

La técnica de observación y exploración se empleó en el análisis de los agregados y las briquetas, usando como instrumentos las fichas técnicas de laboratorio. Una vez en el laboratorio se realizan los ensayos mencionados anteriormente.

Finalmente, para poder obtener los caudales máximos por precipitación se empleó la técnica de análisis documental, por ello se buscó en los datos históricos información sobre las precipitaciones en años anteriores, esta data se obtuvo empleando la página web del SENAMHI. Aplicando el método racional se halló el caudal máximo con lo cual se podrá verificar si el pavimento flexible poroso se puede presentar como alternativa de la drenabilidad pluvial.

## 2.6. Procedimiento

### 2.6.1. Procedimiento para la caracterización mecánica y física de los componentes de la mezcla asfáltica porosa

#### 2.6.1.1. Análisis Granulométrico de suelos por tamizado MTC E-107

El análisis granulométrico se desarrolló con el fin de definir la gradación de los agregados y con ello comprobar que cumplan los parámetros que exigen un diseño de un pavimento con mezcla asfáltica porosa.

**Tabla 9:** *Granulometría de agregados Mezcla Drenante.*

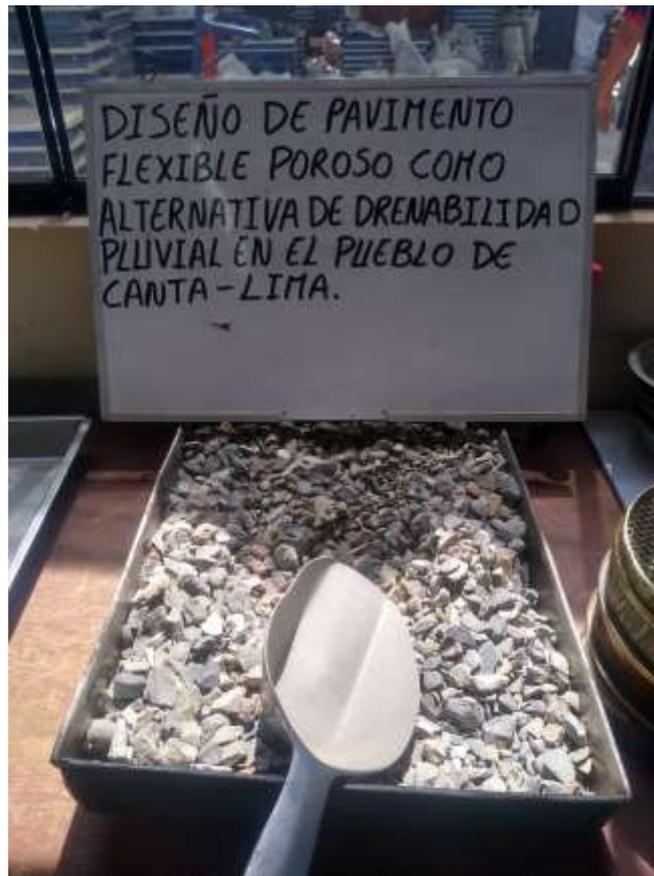
Tamiz		Porcentaje que pasa
19,0 mm	(3/4")	100
12,5 mm	(1/2")	70-100
9,5 mm	(3/8")	50-75
4,75 mm	(N.º 4)	15-32
2,00 mm	(N.º 10)	9-20
425 µm	(N.º 40)	5-12
75 µm	(N.º 200)	3-7

NOTA. Se muestra la granulometría para una mezcla drenante. Fuente: Tabla 433-01. MTC 2013.

Teniendo como base el Manual de Ensayo de Materiales, 2016 se procedió a la recolección de los agregados proveniente de la cantera Los tres molinos S.A.C. Para la realización de toda la investigación se recolecto 90 kilogramos de material grueso y 90 kilogramos de material fino.

En base a la norma MTC E 105, se busca una muestra representativa para ensayar los agregados tanto grueso como finos.

**Figura 6:** *Muestra del agregado grueso.*



*Figura 6.* Fuente propia.

El método del cuarteo de agregados, consiste en colocar el agregado en una superficie libre de impurezas u otros objetos que distorsionen la muestra, hasta que tenga la forma de un cono para posteriormente aplanarla y extenderla en forma de un círculo que tenga de diámetro ocho veces su espesor.

*Figura 7: Proceso de cuarteo.*



*Figura 7.* Fuente: propia

Luego se empieza a dividir el agregado en cuatro partes de las cuales se separan dos áreas que se descartan y las otras dos se vuelve a mezclar y se repite la operación hasta obtener el peso requerido.

*Figura 8: Realizando cuarteo.*



*Figura 8.* Fuente: propia.

Para poder conseguir la curva característica de nuestro material granular se procederá al proceso de tamizado.

En el análisis granulométrico, se procede a colocar la muestra obtenida del cuarteo en el juego de mallas, las cuales están debidamente normadas por la ASTM. El ensayo consiste en colocar los tamices de tal forma que aquel con mayor abertura se encuentre en la parte superior y aquel con menor abertura se encuentre en la base, de esta manera, al comenzar a sacudir el juego de mallas en conjunto de un lado a otro, la muestra atravesará las mallas, quedando retenida cierta cantidad en cada una de ellas.

*Figura 9: Tamizado del agregado grueso.*



*Figura 9. Fuente: propia*

**Ecuación 7:** Ecuación de porcentaje retenido sobre cada tamiz.

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total}} \times 100$$

### 2.6.1.2. Resistencia al desgaste Abrasión Los Ángeles MTC E-207

El objetivo de realizar este ensayo es poder hallar la degradación que sufren los agregados pétreos al ser sometidos a la máquina de Los Ángeles, midiendo así la tenacidad que poseen.

Se debe comprobar que los agregados estén libres de impurezas y secados a una temperatura que va entre 105 y 110 C° en una estufa. Recombinar la muestra lo más cercano a la granulometría de la tabla 7 según convenga.

**Tabla 10:** Gradación de las muestras de ensayo.

Pasa tamiz		Retiene en tamiz		Masa de la muestra para ensayo en cada tamiz (g)			
mm	pulg	Mm	pulg	A	B	C	D
37,5	(1 ½")	25,0	(1")	1 250 ± 25	-	-	-
25,0	(1")	19,0	(¾")	1 250 ± 25	-	-	-
19,0	(¾")	12,5	(½")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-	-
12,5	(½")	9,5	(⅜")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-	-
9,5	(⅜")	6,3	(¼")	-	-	2 500 ± 10	-
6,3	(¼")	4,75	(N° 4)	-	-	2 500 ± 10	-
4,75	(N° 4)	2,36	(N° 8)	-	-	-	5 000 ± 10
<b>TOTAL</b>				<b>5 000 ± 10</b>	<b>5 000 ± 10</b>	<b>5 000 ± 10</b>	<b>5 000 ± 10</b>

NOTA. Se muestra la granulometría para poder determinar el tipo de gradación de la muestra.  
Fuente: MTC 2013.

Una vez determinado el tipo de gradación, con ayuda de la tabla siguiente se podrá determinar el número de esferas de acero que se emplearan en el ensayo y el peso total de la muestra.

**Tabla 11:** Numero de esferas a emplear.

Gradación	Numero de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

NOTA. Se muestra el número de esferas a usar y la masa total de la muestra.  
Fuente: MTC 2013.

El ensayo consiste en exponer los agregados a la abrasión de unas esferas de acero con un radio que va en el rango de 23.19 mm. a 23.85 y un peso entre 390 y 445 g. La rotación de las esferas comprende una velocidad rotacional entre 30 y 33 rpm.

**Figura 10:** Maquina de Los Ángeles.



Figura 10. Fuente: propia

Terminada la rotación se procede a tamizar los agregados utilizando la malla No. 12 para luego lavar y secar el agregado que pasa esta malla. Con el peso que se queda retenido y el pasante se hace un cálculo numérico para obtener el porcentaje de pérdida.

**Ecuación 8:** *Porcentaje de Perdida por desgaste.*

$$\%Pérdida = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \times 100$$

$P_1$  = Peso seco antes del ensayo

$P_2$  = Peso seco despues del ensayo

### 2.6.1.3. Ensayo de sale solubles totales. MTC E-219.

Este ensayo mide la contaminación salina en los agregados, para eso se utiliza una bureta llena de metileno (50 ml) a temperatura ambiente. Se coloca el filtro 40 en una superficie plana para luego realizar el mezclado a 400 RPM. Abrimos la llave de la bureta y añadimos 5 cc de metileno y se agita por un minuto, se introduce una barra de vidrio en la solución. La barra de vidrio se hace reposar sobre el papel filtro a tal punto de dejar una mancha oscura sobre la cual bordea un rastro de agua. Se procede a repetir la operación hasta que aparezcan gotas nuevas por 5 minutos. Por último, se reduce a 2 cc de solución hasta obtener un nuevo halo de mancha azul.

**Ecuación 9:** Ecuación de Porcentaje de Sales Solubles.

$$\% \text{ sales solubles} = \frac{1}{\frac{C * A}{D * B}} * 100$$

**Figura 11:** Llenando la bureta con 50 ml de metileno.



*Figura 11.* Fuente propia.

**Figura 12:** Agitando bureta.



Figura 12. Fuente propia.

#### 2.6.1.4. Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio y magnesio. MTC E-209.

Este ensayo permite determinar la resistencia del agregado a la desintegración en una solución saturada al sulfato de sodio o magnesio. El material fino es separado para luego pasar por el tamiz de 3/8, en cada uno de los tamices se debe de tener por lo menos 100 gr, el peso retenido como mínimo debe de ser el 5% de la muestra.

**Tabla 12:** *Muestra tamizada retenida.*

Pasa el tamiz normalizado	Retenido sobre el Tamiz normalizado
600 $\mu$ m (N° 30)	300 $\mu$ m (N° 50)
1,18 mm (N° 16)	600 $\mu$ m (N° 30)
2,36 mm (N° 8)	1,18 mm (N° 16)
4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)
9,50 mm (3/8")	4,75 mm (N° 4)

NOTA. Se presenta los pesos de la muestra tamizada y retenida. Fuente: MTC 2013.

Para el ensayo del agregado grueso se obtiene de lo retenido en la malla N° 4, el peso retenido como mínimo debe de ser el 5% de la muestra.

**Tabla 13:** *Peso necesario según granulometría.*

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso g
Consistiendo de:	
9,5 mm (3/8”) a 4,75 mm (N° 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4”) a 9,5 mm (3/8”)	1 000 ±10
Consistiendo de:	
Material de 12,5 mm (1/2”) a 9,5 mm (3/8”)	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4”) a 12,5 mm (1/2”)	670 ±10
37,5 mm (1 ½”) a 19,0 mm (3/4”)	1 500 ± 50
Consistiendo de:	
Material de 25,0 mm (1”) a 19,0 mm (3/4”)	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 ½”) a 25,0 mm (1”)	1 000 ± 50
63,0 mm (2 ½”) a 37,5 mm (1 ½”)	5 000 ± 300
Consistiendo de:	
Material de 50,0 mm (2”) a 37,5 mm (1 ½”)	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 ½”) a 50,0 mm (2”)	3 000 ± 300
Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incrementos de 25,0 mm (1”) para cada fracción.	7 000 ± 1 000

NOTA. Se muestra los pesos necesarios por granulometría para poder ensayar. Fuente: MTC 2013.

Luego se sumerge los agregados en sulfato de sodio o sulfato de magnesio en un tiempo como mínimo de 16 horas, pero no más de 18 horas. Los recipientes deben taparse para evitar que le gas proveniente del sulfato se disipe. Se retira los agregados, se procede a destilarlos por unos 15 minutos para luego secarlos en la estufa a 110 C° y por ultimo pesarlo.

**Figura 13: Durabilidad de Agregados.**



Figura 13. Fuente propia.

### 2.6.1.5. Ensayo de equivalente de arena. MTC E-514.

Este ensayo se utiliza para determinar la limpieza de los agregados finos a la presencia de arcillas y coloides perjudiciales.

Para esto necesitamos de tres muestras del agregado fino que serán vertidos en la probeta. Con el fin de quitar las burbujas se procede a dar palmas en la base. Después de dejar reposar la probeta se procede a taparla y se procede a agitarlo por 30 segundos.

Se procede a retirar la tapa para introducir el tubo irrigador hasta el fondo de la probeta para posteriormente aplicar movimientos suaves en la posición inclinada. Cuando el material este limpio (Se decante las arcillas y los coloides) se mantiene el tubo irrigador hasta una marca de 38 cm, se retira el tubo irrigador para hacer la toma de lectura.

*Figura 14: Equivalente de arena.*

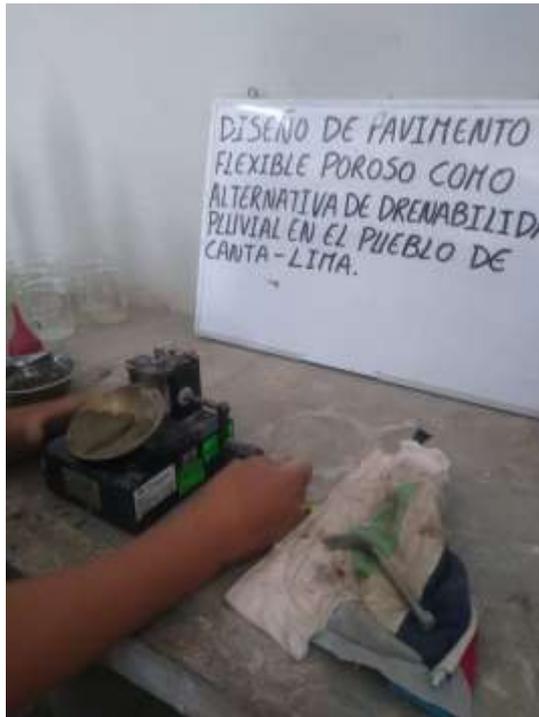


*Figura 14. Fuente propia.*

### 2.6.1.6. Determinación del Limite Liquido (L.L), Plástico (L.P) de los suelos e índice de Plasticidad (I.P). MTC E-110 Y MTC E-111

Realizar las briquetas de mezclas asfálticas porosas requiere que el agregado fino sea no plástico. Primero se procede a tamizar la muestra por la malla No 40, lo pasante de esta malla servirá para realizar el ensayo de limite liquido con ayuda de la cuchara de Casagrande.

**Figura 15:** Determinación del límite líquido con la cuchara Casagrande.



*Figura 15.* Fuente propia.

Para el limite plástico se procede a la fabricación de bastones con un diámetro de medida de 1/8 de pulgada hasta encontrar fisuras en los bastones.

**Figura 16:** Preparación de muestra para L.L. y L.P.



Figura 16. Fuente: propia

**Ecuación 10:** *Calculo Limite Plástico.*

$$\text{Limite Plastico} = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso de muestra secada al horno}} \times 100$$

El índice de plasticidad se define como la resta entre el limite líquido y el limite plástico.

**Ecuación 11:** *Calculo Índice de Plasticidad.*

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

$$L.L. = \text{Limite Liquido}$$

$$L.P. = \text{Limite Plastico}$$

### **2.6.1.7. Ensayo estándar para determinación de porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso. MTC E-210**

El objetivo del ensayo es calcular la cantidad de partículas fracturadas en porcentaje para verificar las condiciones que necesita una mezcla asfáltica porosa. El porcentaje de

caras fracturadas es un indicador muy importante para evaluar la adherencia entre los agregados.

Para el ensayo se procede a un minucioso cuarteo para obtener el peso de la muestra, el cual es determinado por el tamaño del agregado según la norma del Manual de carreteras 2013. Se realiza una inspección visual de los agregados con una o más de dos caras fracturadas. Cuando el agregado posee una fractura que es igual o superior al 25% de su área se contabiliza como fracturada.

*Figura 17: Partículas con caras fracturadas.*



*Figura 17. Fuente propia.*

#### **2.6.1.8. Ensayo de Partículas chatas y alargadas en agregados. MTC E-223**

El objetivo de determinar la cantidad de partículas chatas o alargadas se basa en que, si estas exceden los porcentajes establecidos en la norma, afectarán la conformación y la colocación de los materiales que conformen la mezcla. Este método toma como referencia las especificaciones de la norma ASTM D 4791.

Este ensayo consiste en combinar la muestra y luego por medio del cuarteo (MTC E-105), se busca una muestra representativa, la cual será tamizada según se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 14:** *Tamaño máximo y masa mínima de muestra.*

Tamaño máximo nominal		Masa mínima de la muestra	
mm	pulgada	kg	lb
9,5	(3/8)	1	2
12,5	(1/2)	2	4
19,0	(3/4)	5	11
25,0	(1)	10	22
37,5	(1.1/2)	15	33
50	(2)	20	44
63	(2.1/2)	35	77
75	(3)	60	130
90	(3.1/2)	100	220
100	(4)	150	330
112	(4.1/2)	200	440
125	(5)	300	660
150	(6)	500	1100

Nota: Se muestra la masa a ensayar mínima necesaria. Fuente: Manual de Ensayos de Materiales 2016.

Luego, se procede a hallar el porcentaje de partículas chatas que existen en la muestra con aproximación del 1% del peso de la muestra de ensayo, para aquellas mallas superiores a 3/8” pulgada (9.5 mm.) o N°4 (4.75 mm.).

**Ecuación 12:** *Porcentaje de partículas chatas.*

$$\%Particulas\ chatas = \frac{m_{PCh}}{m_{ME}} \times 100$$

Donde:

mPCh= masa de la partícula chata en gramos

mME= masa de la muestra de ensayo en gramos

Por otro lado, se procede a hallar el porcentaje de partículas alargadas que existen en la muestra con aproximación del 1% del peso de la muestra de ensayo, para aquellas mallas superiores a 3/8” pulgada (9.5 mm.) o N°4 (4.75 mm.).

**Ecuación 13:** *Porcentaje de partículas alargadas.*

$$\%Particulas\ alargadas = \frac{m_{PA}}{m_{ME}} \times 100$$

Donde:

mPA= masa de la partícula alargada en gramos

mME= masa de la muestra de ensayo en gramos

#### **2.6.1.9. Gravedad Especifica y Absorción en agregado fino. MTC E-205.**

Se saturo el agregado fino por un tiempo de 24 horas con el fin de disminuir la humedad superficial, esto es verificado con un pisón y un cono de metal. Se procede al pesado de 500 gramos de muestra. Luego se coloca el agregado fino en el picnómetro para luego procede al secado en horno con lo cual se realiza el cálculo de absorción y gravedad especifica. El porcentaje de absorción debe ser menor a 0.5%.

#### **2.6.1.10. Gravedad Especifica y Absorción en agregado grueso. MTC E-206.**

Para el agregado grueso se procede de igual manera que en el ensayo del agregado fino. Se realizó el proceso de saturado del agregado grueso en agua por 24 horas, para luego ser colocado en el picnómetro y secado en horno con lo cual se determina el cálculo de la absorción y la gravedad especifica. El porcentaje de absorción debe ser menor a 1%.

### **2.6.2. Procedimiento para la caracterización de la mezcla asfáltica porosa**

Por las características de nuestro diseño y por las condiciones del lugar en términos ambientales se Eligió un cemento asfáltico 85/100.

Los ensayos fueron realizados con el imperativo deseo de conocer características para una alternativa eficiente de un diseño de pavimento flexible poroso como alternativa de drenabilidad pluvial en el pueblo de Canta-Lima, tales como resistencia al desgaste, permeabilidad y porcentaje de vacíos. Para comprobar que cumplan con estas características normadas en el Manual de ensayos de Materiales 2016 se ensayó los siguiente:

#### **2.6.2.1. Peso específico Bulk de briquetas. ASTM D 2726.**

Para hallar el peso específico Bulk se debe seguir las indicaciones establecidas en la norma ASTM D 2726, en la cual se obtienen datos directamente de la briqueta, iniciando por sumergir las briquetas en agua por 60 minutos, para luego de ello obtener el peso de la briqueta al agua, luego se realiza un secado superficial y se halla el peso de briqueta al aire, finalmente se llevan las muestras al horno para posteriormente ser pesadas y obtener el peso de la briqueta desplazada. A continuación, se emplea la siguiente fórmula para determinar el volumen desplazado.

**Ecuación 14:** *Volumen de briqueta desplazada*

$$\text{Volumen desplazado} = \text{Peso de briqueta al agua} - \text{Peso de briqueta desplazada}$$

Una vez obtenido el volumen, se procede a calcular el peso específico Bulk mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 15:** *Peso específico Bulk.*

$$P_{eb} = \frac{\text{Peso al aire de briqueta}}{\text{Volumen de briqueta desplazada}}$$

### 2.6.2.2. Peso específico Teórico Máximo de mezclas asfálticas. MTC E-508

Con el fin de obtener el porcentaje de vacíos, se procedió con el ensayo de peso específico teórico máximo. Para el desarrollo del ensayo se utilizó un molde metálico con presión de vacíos de 30 mm de Hg(4kPa) y de presión absoluta de 730 mm de Hg medido a nivel del mar, con un periodo de 5 a 15 minutos. Para el tamaño de la muestra se necesitó 1500 gr debido al tamaño máximo nominal de 1/2 pulgada del que disponemos de nuestra granulometría y que esta normada en el Manual de ensayo de Materiales 2016 según como se muestra en la tabla 10.

**Tabla 15:** *Peso mínimo de muestra.*

Mayor tamaño de la partícula en la muestra		Muestra mínima
mm	pulgada	gramos
50,0	2	6000
37,5	1 1/2	4000
25,0	1	2500
19,0	3/4	2000
12,5	1/2	1500
9,5	3/8	1000
4,75	N° 4	500

NOTA. Se muestra la masa mínima a ensayar. Fuente: Manual de Ensayos de Materiales 2016.

Se separaron los agregados que se adhirieron entre ellas debido a la viscosidad de la mezcla asfáltica, se procedió a colocarla en un envase metálico y sumergirlo en agua por un periodo de 10+- 1 minuto para luego pesarlo. Por ultimo usando el picnómetro y los agregados sumergidos en ellos se procedió a su pesado. Con todos estos datos se pudo realizar los cálculos necesarios. Para determinar el peso específico teórico máximo, se empleará la siguiente formula:

**Ecuación 16:** *Gravedad especifica teórica máxima.*

$$G_{ETM} = \frac{A}{A + D - E}$$

Donde:

A= Peso muestra al aire

D=Peso de picnómetro + agua

E= Peso de picnómetro + agua + muestra

### 2.6.2.3. Porcentaje de vacíos de aire en Mezclas Asfálticas compactadas densas y abiertas. MTC E-505.

El Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción (EG 2013) establece que para pavimentos con mezcla asfáltica porosa el porcentaje de vacíos no debe ser menor del 20% ni mayor al 25%. Para determinar el porcentaje de vacíos de aire, se halló previamente la densidad Bulk y la gravedad específica, para posteriormente emplear la siguiente formula:

*Ecuación 17: Ecuación de Porcentaje de vacíos de aire.*

$$\% \text{ de vacios de aire} = \left( 1 - \left( \frac{P_{EB}}{P_{ETM}} \right) \right)$$

Donde:

$$P_{EB} = \text{Peso especifico bulk}$$

$$P_{ETM} = \text{Peso especifico teorico maximo}$$

### 2.6.2.4. Ensayo de Cántabro de pérdida por desgaste. MTC E-515

Este ensayo se realizó para comprobar la resistencia al desgaste de las briquetas, tanto en estado seco como húmedo, para llegar al estado húmedo se sumergió las probetas a 60°C

durante 24 horas. El manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013) establece que, para este ensayo, se somete a una carga no abrasiva de 300 vueltas en la máquina de Los Ángeles. Para el estado seco el porcentaje de desgaste no debe ser mayor del 25% y para el estado húmedo no debe exceder el 40%.

**Ecuación 18:** Ecuación de porcentaje de pérdida.

$$\%Pérdida = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \times 100$$

$P_1$  = Peso seco antes del ensayo

$P_2$  = Peso seco después del ensayo

#### 2.6.2.5. Determinación de la permeabilidad. MTC 2013

Según el Manual de Carreteras especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013) en su sección 433.14 indica que, para poder determinar la permeabilidad de la mezcla asfáltica, se deberá humedecer previamente la briqueta para luego colocar 100cm<sup>3</sup> de agua, debiendo esta atravesar la muestra en no más de 15 segundos, de esta manera se puede analizar la capacidad de drenaje de la muestra.

### 2.7. Verificación de la prueba de hipótesis

Para poder verificar cada una de las hipótesis propuestas en esta investigación, se empleó el método de la estimación puntual.

La estimación puntual tiene como objetivo encontrar en la muestra un valor deseado que represente un parámetro de la población y mediante esto, comprobar las hipótesis. (Bianco A. & Martínez E., 2004).

**Tabla 16:** Validación de Hipótesis.

HIPOTESIS	NORMA	EVALUACION DE HIPOTESIS	ESTADO DE LA HIPOTESIS
El diseño del pavimento flexible poroso es una alternativa factible que mejoraría en gran medida la drenabilidad pluvial en el pueblo de Canta-Lima. 2021.		La cantidad de agua que escurre en un área de estacionamiento como base de estudio de 50mx100m dio como resultado que para un pavimento flexible tradicional el caudal de escorrentía es 37.55 m <sup>3</sup> /h y para un pavimento flexible poroso es 15.90 m <sup>3</sup> /h.	VALIDA
El pavimento flexible poroso modificado obedecerá los criterios de adherencia de partículas y su resistencia, reduciendo el desgaste	En base a la norma EG 2013 las briquetas deberán tener ciertas características en base a la resistencia al desgaste por cántabro tanto en estado seco con 25% y en estado húmedo 40%	El óptimo contenido de asfalto de 4.5% dio como resultado la resistencia a la abrasión en estado seco 18.93% y en estado húmedo 32.61%.	VALIDA
El pavimento flexible poroso modificado posee una permeabilidad adecuada que permitirá la drenabilidad pluvial.	En base a la norma EG 2013 las briquetas deberán tener la capacidad de drenar 100 ml de agua en no más de 15 segundos.	El óptimo contenido de asfalto de 4.5% dio como resultado para la permeabilidad un tiempo promedio de 10.74 segundos.	VALIDA
El pavimento flexible poroso modificado respeta los criterios de estabilidad idóneos para ser empleado.	En base a la norma técnica EC 0.10 para Pavimentos urbanos, las briquetas deberán cumplir mínimo con una estabilidad de 5.44 KN para vías colectoras y arteriales de tránsito mediano.	El óptimo contenido de asfalto de 4.5% dio como resultado para la estabilidad un valor de 7.06 KN.	VALIDA

NOTA. Se muestran los resultados de la validación de hipótesis. Fuente: propia.

## 2.8. Aspecto ético

La responsabilidad de los investigadores radica la veracidad del estudio, además de valorar las investigaciones que sirvieron como antecedente. Para ello se busca que los resultados encontrados sean objetivos, de carácter racional y efectivos para su uso en futuras investigaciones.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Ensayos para la caracterización mecánica y física de los componentes de la mezcla asfáltica porosa

#### 3.1.1. Análisis Granulométrico de suelos por tamizado MTC E-107

Teniendo como sustento técnico la norma EG-2013 se consiguieron los siguientes resultados en cuanto a calidad de los agregados gruesos y finos. Para lo cual se procedió con el proceso de tamizado desde la malla 1" hasta la malla No 200. El ensayo de granulometría se encuentra en anexos debidamente firmado por profesionales.

**Figura 18:** Curva granulométrica.

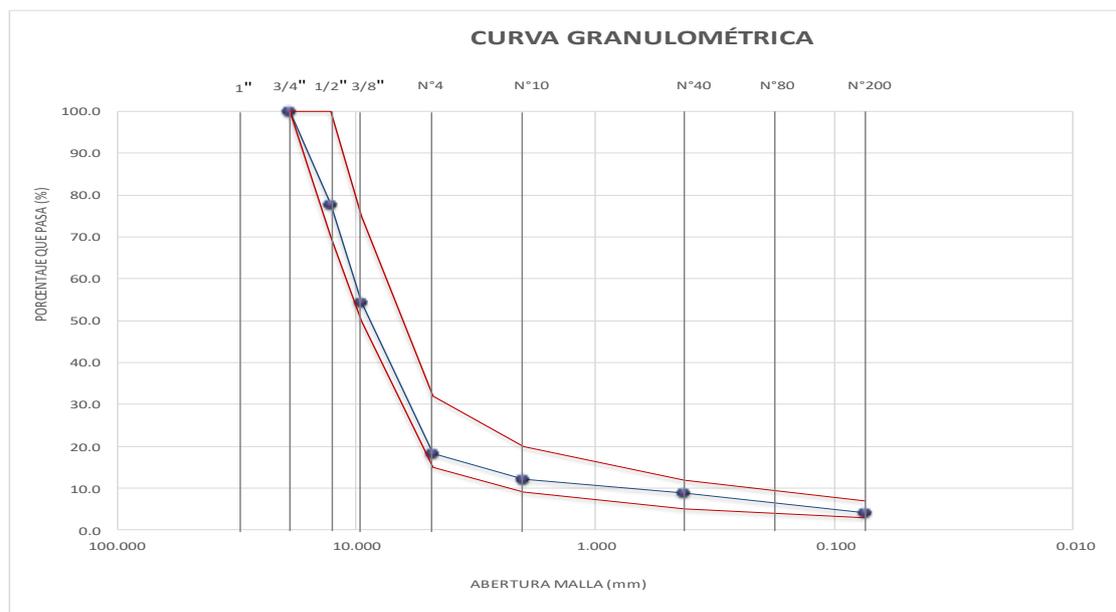


Figura 18. Fuente: propia

**Tabla 17:** Análisis granulométrico.

TAMIZ ASTM	ABERT. mm	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				Mezcla Asfáltica Porosa		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
		Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa			
1"	25.400	-	-	-	<b>100.0</b>			
3/4"	19.050	-	-	-	<b>100.0</b>	100.0	100.0	<b>Calculos.</b>
1/2"	12.700	630.0	22.3	22.3	<b>77.7</b>	70.0	100.0	Tara L-2
3/8"	9.525	660.0	23.3	45.6	<b>54.4</b>	50.0	75.0	Peso de Tara 286.00 g
1/4"	6.350	-	-	-	-	-	-	Tara + muestra Humeda 3,127.00 g
Nº 4	4.760	1,020.0	36.0	81.6	<b>18.4</b>	15.0	32.0	Tara + muestra Seca 3,116.00 g
Nº 6	3.360	-	-	-	-	-	-	Contenido de Humedad (%) 0.4 %
Nº 8	2.380	-	-	-	-	-	-	
Nº 10	2.000	178.0	6.3	87.9	<b>12.1</b>	9.0	20.0	Muestra Seca 2,830.0 g
Nº 16	1.190	-	-	-	-	-	-	
Nº 20	0.840	-	-	-	-	-	-	
Nº 30	0.590	-	-	-	-	-	-	
Nº 40	0.426	90.0	3.2	91.1	<b>8.9</b>	5.0	12.0	
Nº 50	0.297	-	-	-	-	-	-	<b>Proporciones Agregados.</b>
Nº 80	0.177	-	-	-	-	-	-	Agregado Grueso. 81.6 %
Nº 100	0.149	-	-	-	-	-	-	Agregado Fino. 18.4 %
Nº 200	0.074	135.0	4.8	95.9	<b>4.1</b>	3.0	7.0	Fino Malla 200. 0.0 %
-200	-	-	-	95.9				

NOTA. Se muestran los resultados granulométricos de los agregados. Fuente: propia

### 3.1.2. Resistencia al desgaste Abrasión Los Ángeles MTC E-207

Este ensayo busca analizar el porcentaje de desgaste del agregado.

**Tabla 18:** Porcentaje de desgaste del agregado.

MUESTRA	1	2
GRADACIÓN	"B"	"B"
PESO MUESTRA	5003	5005
1.1/2" - 1"		
1" - 3/4"		
3/4" - 1/2"	2500	2501
1/2" - 3/8"	2503	2504
3/8" - 1/4"	-	-
1/4" - Nº 4	-	-
Nº 4 - Nº 8	-	-
RETENIDO Nº12	4069	4048
PASA Nº 12	934	957
% DESGASTE	18.7	19.1
PROMEDIO	18.9 %	

NOTA. Se muestran los resultados de abrasión para el agregado grueso. Fuente: propia.

### 3.1.3. Ensayo de sales solubles MTC E-219

Este ensayo analiza el proceso de cristalización de cloruros y sulfatos solubles en agua de los agregados. El ensayo dio los siguientes resultados:

**Tabla 19:** *Sales solubles en el agregado grueso.*

Ensayo	Resultados		Especificación
	ppm	%	%
Contenido de sales solubles	1027.0	0.10	0.5 máx.

NOTA. Se muestran los resultados de sales solubles para el agregado grueso. Fuente: propia.

**Tabla 20:** *Sales solubles en el agregado fino.*

Ensayo	Resultados		Especificación
	ppm	%	%
Contenido de sales solubles	1295.0	0.13	0.5 máx.

NOTA. Se muestran los resultados de sales solubles para la arena. Fuente: propia.

### 3.1.4. Durabilidad al Sulfato y Magnesio. MTC E-209

Los resultados de la resistencia de los agregados a la descomposición en una solución de sulfato de magnesio fueron los siguientes:

**Tabla 21:** *Durabilidad del agregado grueso.*

Tamaño		Gradación Original (%)	Peso requerido (g)	Peso fracción ensayada (g)	N° de partículas	Peso ret. después de ensayo (g)	Pérdida		Pérdida corregida (%)	N° de partículas
Pasa	Retiene						Peso (gr)	%		
2 1/2"	2"		3000±300							
2"	1 1/2"		2000±200							
1 1/2"	1"		1000±50							
1"	3/4"		500±30							
3/4"	1/2"	22.3	670±10	670.0		639.5	30.5	4.6	1.01	
1/2"	3/8"	23.3	330±5	300.0		275.2	24.8	8.3	1.93	
3/8"	N° 4	36.0	300±5	300.0		281.6	18.4	6.1	2.21	
<b>TOTAL</b>									<b>5.15</b>	

NOTA. Se muestran los resultados de la durabilidad que posee el agregado grueso a los sulfatos y magnesio. Fuente: propia.

**Tabla 22:** Durabilidad del agregado fino.

Tamaño		Gradación Original (%)	Peso mín. requerido (g)	Peso fracción ensayada (g)	N° de partículas	Peso ret. después de ensayo (g)	Pérdida		Pérdida corregida (%)	N° de partículas
Pasa	Retiene						Peso (gr)	%		
3/8"	N° 04									--
N° 04	N° 08	42.0	100	100	--	98.1	1.9	1.9	0.80	--
N° 08	N° 16	24.8	100	100	--	95.5	4.5	4.5	1.12	--
N° 16	N° 30	19.0	100	100	--	93.6	6.4	6.4	1.22	--
N° 30	N° 50	8.6	100	100	--	95.4	4.6	4.6	0.40	--
N° 50	N° 100	5.5	100	100	--	96.6	3.4	3.4	0.19	--
TOTAL									3.72	

NOTA. Se muestran los resultados de la durabilidad que posee el agregado fino a los sulfatos y magnesio. Fuente: propia.

### 3.1.5. Ensayo del Equivalente de arena. MTC E-514.

Encontraremos el contenido de arcillas o finos perjudiciales en el agregado fino a través de una relación.

**Tabla 23:** Equivalente de arena de la muestra.

DESCRIPCIÓN	MUESTRAS		
	1	2	
Tamaño máximo (pasa malla N° 4)	mm	4.76	4.76
Hora de entrada a saturación		09:15	09:23
Hora de salida de saturación	(10')	09:25	09:33
Hora de entrada a decantación		09:27	09:35
Hora de salida de decantación	(20')	09:47	09:55
Lectura Inicial	pulg	5.4	5.6
Lectura Final	pulg	3.2	3.3
Equivalente de Arena	%	59.3	58.9
PROMEDIO		60.0 %	

NOTA. Se muestran los resultados del equivalente de arena para el material granular. Fuente: propia.

### 3.1.6. Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e Índice de Plasticidad (I.P.)

#### MTC E-111.

Al intentar realizar el ensayo del límite líquido a través de la cuchara de Casa Grande se observó que el agregado fino no llega a los 25 golpes mínimos requeridos por la norma del Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas generales para construcción, por lo tanto, el resultado obtenido fue:

**Tabla 24:** *Limite líquido.*

Nº TARRO	1	2	3
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)			
PESO TARRO + SUELO SECO (g)			
PESO DE AGUA (g)			
PESO DEL TARRO (g)			
PESO DEL SUELO SECO (g)			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
NUMERO DE GOLPES			

N.P

NOTA. No se logró determinar el Limite Liquido. Fuente: propia.

Al intentar realizar el ensayo del límite plástico a través de la formación de barritas del agregado en una superficie esmerilada, no se pudo concretar, por lo tanto, el resultado obtenido fue:

**Tabla 25:** *Limite plástico.*

Nº TARRO	4	5	6
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)			
PESO TARRO + SUELO SECO (g)			
PESO DE AGUA (g)			
PESO DEL TARRO (g)			
PESO DEL SUELO SECO (g)			
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			

N.P

NOTA. No se logró determinar el Limite Plástico. Fuente: propia.

### 3.1.7. Ensayo Estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso. MTC E-210.

Se obtuvieron los siguientes resultados para analizar las caras fracturadas del agregado grueso.

**Tabla 26:** *Porcentaje con una o más caras fracturadas.*

Tamaño del Agregado	A	B	C	D	E
Pasa Tamiz Retenido T.	(g)	(g)	( B/A)*100)	% Parcial	CxD
1 1/2" 1"					
1" 3/4"					
3/4" 1/2"	490.3	475.2	96.9	43.81	42.46
1/2" 3/8"	329.5	300.4	91.2	29.44	26.84
3/8" 1/4"	299.3	240.0	80.2	26.74	21.45
<b>TOTAL</b>					<b>90.75 %</b>

NOTA. Se muestran los resultados para una cara fracturada. Fuente: propia.

**Tabla 27:** *Porcentaje con dos o más caras fracturadas.*

Tamaño del Agregado	A	B	C	D	E
Pasa Tamiz Retenido Tamiz	(g)	(g)	( B/A)*100)	% Parcial	CxD
1 1/2" 1"					
1" 3/4"					
3/4" 1/2"	490.3	447.1	91.2	43.81	39.95
1/2" 3/8"	329.5	269.5	81.8	29.44	24.08
3/8" 1/4"	299.3	219.3	73.3	26.74	19.60
Total:					<b>TOTAL 83.63 %</b>

NOTA. Se muestran los resultados para dos o más caras fracturadas. Fuente: propia.

### 3.1.8. Partículas chatas y alargadas en agregados. MTC E-223.

Se obtuvieron los siguientes resultados para analizar las caras fracturadas del agregado grueso.

**Tabla 28:** *Porcentaje de partículas chatas y alargadas.*

Tamaño del Agregado	A	B	C	D	E
Pasa Tamiz Retenido Tamiz.	(g)	(g)	( B/A)*100)	%	(CxD)/100)
2" 1 1/2"					
1 1/2" 1"					
1" 3/4"		214.6			
3/4" 1/2"	490.3	22.1	4.5	43.81	1.97
1/2" 3/8"	329.5	25.2	7.6	29.44	2.25
3/8" 1/4"	299.3	21.7	7.3	26.74	1.94
				<b>TOTAL</b>	<b>6.17 %</b>

NOTA. Se muestran los resultados para partículas chatas y alargadas. Fuente: propia.

### 3.1.9. Gravedad específica y absorción. MTC E-206.

Se obtuvieron los siguientes resultados para analizar la gravedad específica y el porcentaje de absorción tanto en agregado grueso como agregado fino:

**Tabla 29:** *Gravedad específica y absorción del agregado grueso.*

Muestra	1	2	3	4	Promedio
A Peso del mat. sat. superf. seco (en el aire) (g)	1220.0	1245.0			
B Peso del mat. sat. superf. seco (en el agua) (g)	768.0	782.5			
C Vol. de masa + Vol. de vacíos (cc)	452.0	462.5			
D Peso del material seco en el horno (105°C) (g)	1210.0	1235.5			
E Vol. de masa (g)	442.0	453.0			
F Peso específico bulk (base seca) (g./cc)	2.677	2.671			2.674
G Peso específico bulk (base saturada) (g./cc)	2.699	2.692			2.696
H Peso específico aparente (base seca) (g./cc)	2.738	2.727			2.732
I % de absorción	0.8	0.8			0.8

NOTA. Se muestran los resultados de la gravedad específica y absorción del agregado grueso. Fuente: propia.

**Tabla 30:** *Gravedad específica y absorción del agregado fino.*

Muestra	1	2	3	4	Promedio
A Peso del mat. sat. superf. Seco (en el aire) (g)	500.00	500.00			
B Peso fiola calibrada con agua (g)	653.99	653.99			
C Peso fiola con agua + peso del mat. s.s.s. (g)	1153.99	1153.99			
D Peso del mat. + peso fiola + H <sub>2</sub> O (g)	967.23	968.00			
E Vol. de masa + vol. de vacíos (cc)	186.76	185.99			

F	Peso mat. seco en el horno (105°C)	(g)	496.60	497.00	
G	Vol. de masa	(g)	183.36	182.99	
H	Peso específico bulk (base seca)	(g./cc)	2.659	2.672	2.666
I	Peso específico bulk (base saturada)	(g./cc)	2.677	2.688	2.683
J	Peso específico aparente (base seca)	(g./cc)	2.708	2.716	2.712
K	% de absorción		0.7	0.6	0.6

NOTA. Se muestran los resultados de la gravedad específica y absorción del agregado fino. Fuente: propia.

### 3.2. Ensayos para la caracterización de la mezcla asfáltica porosa

#### 3.2.1. Peso específico Bulk de briquetas. ASTM D 2726.

Se determinaron los siguientes resultados:

**Tabla 31:** *Peso específico Bulk 4% C.A.*

Peso específico Bulk para 4% C.A.				Promedio
Peso de la briketa al aire (gr)	1175.7	1182.8	1177.8	
Peso de la briketa al agua por 60'(gr)	1240.6	1243.7	1243.5	
Peso de la briketa desplazada (gr)	663.1	660.1	665.2	
Volumen de la briketa por desplazamiento (cc)	577.5	583.6	578.3	
Peso específico Bulk de la Briketa	2.036	2.027	2.037	<b>2.033</b>

NOTA. Se muestran los resultados del peso específico Bulk para 4% de C.A. Fuente: propia.

**Tabla 32:** *Peso específico Bulk 4.5% C.A.*

Peso específico Bulk para 4.5% C.A.				Promedio
Peso de la briketa al aire (gr)	1184.4	1185.7	1189.6	
Peso de la briketa al agua por 60'(gr)	1237.4	1235.0	1243.5	
Peso de la briketa desplazada (gr)	660.3	658.1	662.6	
Volumen de la briketa por desplazamiento (cc)	577.1	576.9	580.9	
Peso Específico Bulk de la Briketa	2.052	2.055	2.048	<b>2.052</b>

NOTA. Se muestran los resultados del peso específico Bulk para 4.5% de C.A. Fuente: propia.

**Tabla 33:** *Peso específico Bulk 5% C.A.*

Peso específico Bulk para 5% C.A.				Promedio
Peso de la briketa al aire (gr)	1166.1	1172.7	1165.0	
Peso de la briketa al agua por 60'(gr)	1215.4	1218.5	1216.7	
Peso de la briketa desplazada (gr)	655.3	652.2	657.0	
Volumen de la briketa por desplazamiento (cc)	560.2	566.3	559.7	
Peso Específico Bulk de la Briketa	2.082	2.071	2.081	<b>2.078</b>

NOTA. Se muestran los resultados del peso específico Bulk para 5% de C.A. Fuente: propia.

**Tabla 34:** *Peso específico Bulk 5.5% C.A.*

Peso específico Bulk para 5.5% C.A.			Promedio	
Peso de la briqueta al aire (gr)	1178.6	1168.2	1180.3	
Peso de la briqueta al agua por 60'(gr)	1220.7	1212.0	1220.3	
Peso de la briqueta desplazada (gr)	660.2	659.2	661.4	
Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)	560.5	552.8	558.9	
Peso Específico Bulk de la Briqueta	2.103	2.113	2.112	<b>2.109</b>

NOTA. Se muestran los resultados del peso específico Bulk para 5.5% de C.A. Fuente: propia.

**Tabla 35:** *Peso específico Bulk 6% C.A.*

Peso específico Bulk para 6% C.A.			Promedio	
Peso de la briqueta al aire (gr)	1175.4	1164.4	1189.3	
Peso de la briqueta al agua por 60'(gr)	1210.2	1201.6	1220.6	
Peso de la briqueta desplazada (gr)	656.6	655.2	661.2	
Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)	553.6	546.4	559.4	
Peso Específico Bulk de la Briqueta	2.123	2.131	2.126	<b>2.127</b>

NOTA. Se muestran los resultados del peso específico Bulk para 6% de C.A. Fuente: propia.

### 3.2.2. Ensayo de Peso Específico Teórico Máximo de Mezclas Asfálticas

Los resultados que ese encontraron fueron los siguientes:

**Tabla 36:** *Peso específico teórico máximo.*

MUESTRA N°	01	02	03	04	05
CONTENIDO % C.A.	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
1.- PESO DEL FRASCO	6047.0	6047.0	6047.0	6047.0	6047.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	8189.0	8189.0	8189.0	8189.0	8189.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	7743.0	7734.0	7732.0	7732.0	7727.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	<b>8915.0</b>	<b>8916.0</b>	<b>8907.0</b>	<b>8900.0</b>	<b>8899.0</b>
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	<b>1172.0</b>	<b>1182.0</b>	<b>1175.0</b>	<b>1168.0</b>	<b>1172.0</b>
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	446.0	455.0	457.0	457.0	462.0
PESO ESPECÍFICO MÁXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	<b>2.628</b>	<b>2.598</b>	<b>2.571</b>	<b>2.556</b>	<b>2.537</b>

NOTA. Se muestran los resultados del peso específico máximo teórico. Fuente: propia.

### 3.2.3. Ensayo de Porcentaje de vacíos en Mezclas asfálticas

**Tabla 37:** *Porcentaje de vacíos.*

	% de Vacíos			Promedio
4% C.A.	22.50	22.90	22.50	22.60
4.5% C.A.	21.00	20.90	21.20	21.00
5% C.A.	19.00	19.50	19.00	19.20
5.5% C.A.	17.70	17.30	17.40	17.50
6% C.A.	16.30	16.00	16.20	16.20

NOTA. Se muestran los resultados del porcentaje de vacíos. Fuente: propia.

### 3.2.4. Ensayo de Estabilidad Marshall

Bajo la metodología Marshall se busca determinar la estabilidad de las briquetas de la mezcla asfáltica encontrando como resultado lo siguiente para cada porcentaje de contenido de asfalto:

**Tabla 38:** *Diseño Marshall con 4% C.A.*

% PASA MATERIAL	100.0	100.0	77.7	54.4	18.4	12.1	8.9	4.1
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	70 - 100	50 - 75	15 - 32	9 - 20	5 - 12	3 - 7
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO ESPECIF.
1 % C.A. en Peso de la Mezcla						4.0		
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla						81.63		
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla						17.87		
4 % Cemento portland en peso de la Mezcla						0.50		
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc						1.020		
6 Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc						2.674		
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc						2.666		
8 Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc						3.110		
9 Peso de la briketa al aire (gr)					1175.7	1182.8	1177.8	
10 Peso de la briketa al agua por 60'(gr)					1240.6	1243.7	1243.5	
11 Peso de la briketa desplazada (gr)					663.1	660.1	665.2	
12 Volumen de la briketa por desplazamiento (cc)					577.5	583.6	578.3	
13 Peso especifico Bulk de la Briketa					2.036	2.027	2.037	<b>2.033</b>
14 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)						2.628		

15	% de Vacíos	(ASTM D 3203)	22.5	22.9	22.5	<b>22.6</b>	20 - 25
16	Peso Especifico Bulk Agregado Total			2.675			
17	V.M.A.		23.9	24.2	23.8	<b>24.0</b>	
18	% Vacíos llenos con C.A.		5.7	5.6	5.7	<b>5.6</b>	
19	Flujo 0,01"(0,25 mm)		21.0	19.0	19.0	<b>19.7</b>	
20	Estabilidad sin corregir (Kg)		698	786	636		
21	Factor de estabilidad		0.83	0.81	0.81		
22	Estabilidad Corregida		579	636	515	<b>577</b>	

NOTA. Se muestra el resultado del diseño Marshall. Fuente: propia.

**Tabla 39: Diseño Marshall con 4.5% C.A.**

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	77.7	54.4	18.4	12.1	8.9		4.1
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	70 - 100	50 - 75	15 - 32	9 - 20	5 - 12		3 - 7
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					4.5			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					81.6			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					17.9			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					0.5			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.018			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc					2.674			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.666			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.110			
9	Peso de la briqueta al aire (gr)				1184.4	1185.7	1189.6		
10	Peso de la briqueta al agua por 60'(gr)				1237.4	1235.0	1243.5		
11	Peso de la briqueta desplazada (gr)				660.3	658.1	662.6		
12	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)				577.1	576.9	580.9		
13	Peso Especifico Bulk de la Briqueta				2.052	2.055	2.048	<b>2.052</b>	
14	Peso Especifico Máximo - Rice (ASTM D 2041)					2.598			
15	% de Vacíos	(ASTM D 3203)	21.0	20.9	21.2	<b>21.0</b>	20 - 25		
16	Peso Especifico Bulk Agregado Total			2.675					
17	V.M.A.		23.3	23.2	23.4	<b>23.3</b>			
18	% Vacíos llenos con C.A.		9.7	9.8	9.6	<b>9.7</b>			
19	Flujo 0,01"(0,25 mm)		18.0	19.0	18.0	<b>18.3</b>			
20	Estabilidad sin corregir (Kg)		772	914	889				
21	Factor de estabilidad		0.83	0.83	0.81				
22	Estabilidad Corregida		641	758	720	<b>706</b>			

NOTA. Se muestra el resultado del diseño Marshall. Fuente: propia.

**Tabla 40: Diseño Marshall con 5% C.A.**

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	77.7	54.4	18.4	12.1	8.9		4.1
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	70 - 100	50 - 75	15 - 32	9 - 20	5 - 12		3 - 7
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1 % C.A. en Peso de la Mezcla						5.0			
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla						81.6			
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla						17.9			
4 % Cemento portland en peso de la Mezcla						0.5			
5 Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc						1.018			
6 Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc						2.674			
7 Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc						2.666			
8 Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc						3.110			
9 Peso de la briqueta al aire (gr)					1166.1	1172.7	1165.0		
10 Peso de la briqueta al agua por 60'(gr)					1215.4	1218.5	1216.7		
11 Peso de la briqueta desplazada (gr)					655.3	652.2	657.0		
12 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)					560.2	566.3	559.7		
13 Peso Específico Bulk de la Briqueta					2.082	2.071	2.081	<b>2.078</b>	
14 Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)						2.571			
15 % de Vacíos (ASTM D 3203)					19.0	19.5	19.0	<b>19.2</b>	20 - 25
16 Peso Específico Bulk Agregado Total						2.675			
17 V.M.A.					22.2	22.6	22.2	<b>22.3</b>	
18 % Vacíos llenos con C.A.					14.1	13.8	14.1	<b>14.0</b>	
19 Flujo 0,01"(0,25 mm)					18.0	17.0	18.0	<b>17.7</b>	
20 Estabilidad sin corregir (Kg)					965	946	795		
21 Factor de estabilidad					0.86	0.86	0.86		
22 Estabilidad Corregida					830	814	684	<b>776</b>	

NOTA. Se muestra el resultado del diseño Marshall. Fuente: propia.

**Tabla 41:** *Diseño Marshall con 5.5% C.A.*

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	77.7	54.4	18.4	12.1	8.9		4.1
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	70 - 100	50 - 75	15 - 32	9 - 20	5 - 12		3 - 7
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1 % C.A. en Peso de la Mezcla						5.5			
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla						81.6			
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla						17.9			
4 % Cemento portland en peso de la Mezcla						0.5			
5 Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc						1.018			
6 Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc						2.674			
7 Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc						2.666			
8 Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc						3.110			
9 Peso de la briqueta al aire (gr)					1178.6	1168.2	1180.3		

10	Peso de la briqueta al agua por 60'(gr)		1220.7	1212.0	1220.3		
11	Peso de la briqueta desplazada (gr)		660.2	659.2	661.4		
12	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)		560.5	552.8	558.9		
13	Peso Específico Bulk de la Briqueta		2.103	2.113	2.112	<b>2.109</b>	
14	Peso Específico Máximo - Rice	(ASTM D 2041)		2.556			
15	% de Vacíos	(ASTM D 3203)	17.7	17.3	17.4	<b>17.5</b>	20 - 25
16	Peso Específico Bulk Agregado Total			2.675			
17	V.M.A.		21.4	21.0	21.0	<b>21.1</b>	
18	% Vacíos llenos con C.A.		17.1	17.5	17.4	<b>17.3</b>	
19	Flujo 0,01"(0,25 mm)		17.0	18.0	18.0	<b>17.7</b>	
20	Estabilidad sin corregir (Kg)		977	992	953		
21	Factor de estabilidad		0.86	0.89	0.89		
22	Estabilidad Corregida		840	883	848	<b>857</b>	

NOTA. Se muestra el resultado del diseño Marshall. Fuente: propia.

**Tabla 42: Diseño Marshall con 6% C.A.**

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	77.7	54.4	18.4	12.1	8.9		4.1
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	70 - 100	50 - 75	15 - 32	9 - 20	5 - 12		3 - 7
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					6.0			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					81.6			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					17.9			
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla					0.5			
5	Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.018			
6	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.674			
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.666			
8	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.110			
9	Peso de la briqueta al aire (gr)				1175.4	1164.4	1189.3		
10	Peso de la briqueta al agua por 60'(gr)				1210.2	1201.6	1220.6		
11	Peso de la briqueta desplazada (gr)				656.6	655.2	661.2		
12	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)				553.6	546.4	559.4		
13	Peso Específico Bulk de la Briqueta				2.123	2.131	2.126	<b>2.127</b>	
14	Peso Específico Máximo - Rice				(ASTM D 2041)	2.537			
15	% de Vacíos				16.3	16.0	16.2	<b>16.2</b>	20 - 25
16	Peso Específico Bulk Agregado Total					2.675			
17	V.M.A.				20.6	20.3	20.5	<b>20.5</b>	
18	% Vacíos llenos con C.A.				20.9	21.3	21.0	<b>21.1</b>	
19	Flujo 0,01"(0,25 mm)				18.0	19.0	17.0	<b>18.0</b>	
20	Estabilidad sin corregir (Kg)				1032	1015	1060		
21	Factor de estabilidad				0.89	0.89	0.89		

NOTA. Se muestra el resultado del diseño Marshall. Fuente: propia.

### 3.2.5. Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste

#### 3.2.5.1. Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste Seco

**Tabla 43:** *Ensayo Cántabro en estado seco con 4% C.A.*

ENSAYO CANTABRO EN ESTADO SECO						Pérdida		Promedio
N° de núcleo	Temperatura de baño maría (°C)	Tiempo de envejecimiento (Hrs)	N° Ciclos	W Inicial (g)	W Final (g)	W (g)	%	%
1.0	--	--	300	1194.71	871.54	323.17	27.05	30.24
2.0	--	--	300	1198.24	797.62	400.62	33.43	
3.0	--	--	300	1196.79	835.07	361.72	30.22	

NOTA. Se muestra el resultado del ensayo de cántabro seco con 4% de C.A. Fuente: propia.

**Tabla 44:** *Ensayo Cántabro en estado seco con 4.5% C.A.*

ENSAYO CANTABRO EN ESTADO SECO						Pérdida		Promedio
N° de núcleo	Temperatura de baño maría (°C)	Tiempo de envejecimiento (Hrs)	N° Ciclos	W Inicial (g)	W Final (g)	W (g)	%	%
1.0	--	--	300	1199.5	979.17	220.33	18.37	18.93
2.0	--	--	300	1201.0	969.22	231.78	19.30	
3.0	--	--	300	1196.4	967.56	228.84	19.13	

NOTA. Se muestra el resultado del ensayo de cántabro seco con 4.5% de C.A. Fuente: propia.

**Tabla 45:** *Ensayo Cántabro en estado seco con 5% C.A.*

ENSAYO CANTABRO EN ESTADO SECO						Pérdida		Promedio
N° de núcleo	Temperatura de baño maría (°C)	Tiempo de envejecimiento (Hrs)	N° Ciclos	W Inicial (g)	W Final (g)	W (g)	%	%
1.0	--	--	300	1194.3	1060.7	133.64	11.19	11.24
2.0	--	--	300	1200.7	1071.3	129.4	10.78	
3.0	--	--	300	1197.4	1056.6	140.82	11.76	

NOTA. Se muestra el resultado del ensayo de cántabro seco con 5% de C.A. Fuente: propia.

**Tabla 46:** *Ensayo Cántabro en estado seco con 5.5% C.A.*

ENSAYO CANTABRO EN ESTADO SECO						Pérdida		Promedio
N° de núcleo	Temperatura de baño maria (°C)	Tiempo de envejecimiento (Hrs)	N° Ciclos	W Inicial (g)	W Final (g)	W (g)	%	%
1.0	--	--	300	1199.4	1127.3	72.1	6.01	
2.0	--	--	300	1201.6	1138.4	63.2	5.26	5.36
3.0	--	--	300	1195.5	1137.8	57.7	4.83	

NOTA. Se muestra el resultado del ensayo de cántabro seco con 5.5% de C.A. Fuente: propia.

**Tabla 47:** *Ensayo Cántabro en estado seco con 6% C.A.*

ENSAYO CANTABRO EN ESTADO SECO						Pérdida		Promedio
N° de núcleo	Temperatura de baño maria (°C)	Tiempo de envejecimiento (Hrs)	N° Ciclos	W Inicial (g)	W Final (g)	W (g)	%	%
1.0	--	--	300	1205.8	1176.4	29.4	2.43	
2.0	--	--	300	1200.4	1169.1	31.3	2.61	2.38
3.0	--	--	300	1198.8	1173.8	25.0	2.09	

NOTA. Se muestra el resultado del ensayo de cántabro seco con 6% de C.A. Fuente: propia.

### 3.2.5.2. Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste Húmedo

**Tabla 48:** *Ensayo Cántabro en estado húmedo con 4% C.A.*

ENSAYO CANTABRO EN ESTADO HÚMEDO						Pérdida		Promedio
N° de núcleo	Temperatura de baño maria (°C)	Tiempo de envejecimiento (Hrs)	N° Ciclos	W Inicial (g)	W Final (g)	W (g)	%	%
4.0	60	24	300	1192.5	363.78	828.68	69.49	
5.0	60	24	300	1195.3	380.32	814.98	68.18	68.50
6.0	60	24	300	1193.8	384.25	809.54	67.81	

NOTA. Se muestra el resultado del ensayo de cántabro húmedo con 4% de C.A. Fuente: propia.

**Tabla 49:** *Ensayo Cántabro en estado húmedo con 4.5% C.A.*

ENSAYO CANTABRO EN ESTADO HÚMEDO						Pérdida		Promedio
----------------------------------	--	--	--	--	--	---------	--	----------

N° de núcleo	Temperatura de baño maria (°C)	Tiempo de envejecimiento (Hrs)	N° Ciclos	W Inicial (g)	W Final (g)	W (g)	%	%
4.0	60	24	300	1199.5	784.15	415.31	34.62	
5.0	60	24	300	1197.3	764.97	432.33	36.11	32.61
6.0	60	24	300	1201.8	876.03	325.76	27.11	

NOTA. Se muestra el resultado del ensayo de cántabro húmedo con 4.5% de C.A. Fuente: propia.

**Tabla 50:** *Ensayo Cántabro en estado húmedo con 5% C.A.*

ENSAYO CANTABRO EN ESTADO HÚMEDO							Pérdida	Promedio
N° de núcleo	Temperatura de baño maria (°C)	Tiempo de envejecimiento (Hrs)	N° Ciclos	W Inicial (g)	W Final (g)	W (g)	%	%
4.0	60	24	300	1196.2	926.63	269.57	22.54	
5.0	60	24	300	1199.9	962.53	237.37	19.78	20.13
6.0	60	24	300	1203.5	986.17	217.33	18.06	

NOTA. Se muestra el resultado del ensayo de cántabro húmedo con 5% de C.A. Fuente: propia.

**Tabla 51:** *Ensayo Cántabro en estado húmedo con 5.5% C.A.*

ENSAYO CANTABRO EN ESTADO HÚMEDO							Pérdida	Promedio
N° de núcleo	Temperatura de baño maria (°C)	Tiempo de envejecimiento (Hrs)	N° Ciclos	W Inicial (g)	W Final (g)	W (g)	%	%
4.0	60	24	300	1198.0	1022.7	175.4	14.64	
5.0	60	24	300	1203.4	1038.5	164.9	13.70	14.83
6.0	60	24	300	1200.1	1006.2	193.9	16.16	

NOTA. Se muestra el resultado del ensayo de cántabro húmedo con 5.5% de C.A. Fuente: propia.

**Tabla 52:** *Ensayo Cántabro en estado húmedo con 6% C.A.*

ENSAYO CANTABRO EN ESTADO HÚMEDO							Pérdida	Promedio
N° de núcleo	Temperatura de baño maria (°C)	Tiempo de envejecimiento (Hrs)	N° Ciclos	W Inicial (g)	W Final (g)	W (g)	%	%
4.0	60	24	300	1199.3	1138.0	61.3	5.11	
5.0	60	24	300	1200.7	1123.4	77.3	6.44	5.62
6.0	60	24	300	1200.9	1137.2	63.7	5.31	

NOTA.: Se muestra el resultado del ensayo de cántabro húmedo con 6% de C.A. Fuente: propia.

### 3.2.6. Determinación de la Permeabilidad

**Tabla 53: Permeabilidad.**

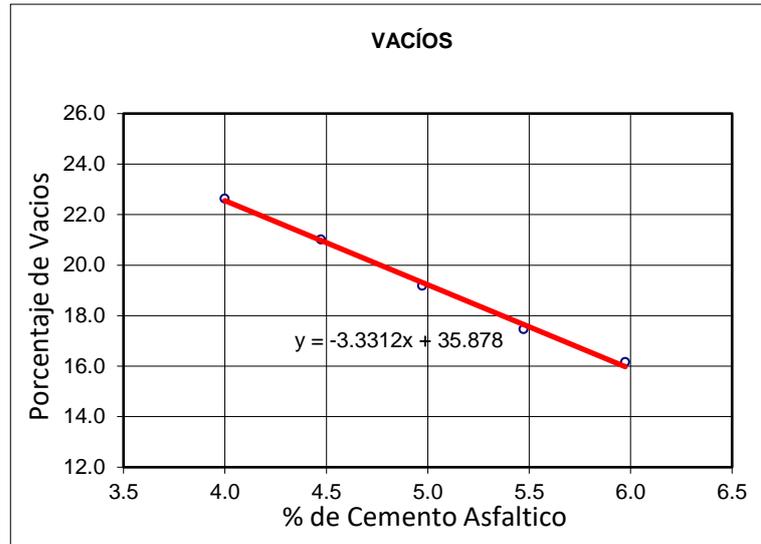
N° de núcleos	% de asfalto	Lectura de permeabilidad (seg)	Permeabilidad Promedio (seg)	Volumen de agua
1		9.25		
2		9.21		
3	4.0	9.90	9.62	100 ml
4		10.16		
5		9.97		
6		9.22		
7		11.02		
8		11.85		
9	4.5	10.30	10.74	100 ml
10		10.28		
11		10.16		
12		10.85		
13		12.25		
14		13.00		
15	5.0	13.87	13.23	100 ml
16		12.70		
17		14.36		
18		13.21		
19		15.36		
20		15.47		
21	5.5	14.21	14.92	100 ml
22		14.22		
23		15.17		
24		15.10		
25		17.48		
26		14.90		
27	6.0	16.27	16.21	100 ml
28		16.04		
29		16.80		
30		15.75		

NOTA. Se muestra los resultados del ensayo de permeabilidad, observando que las muestras con 6% no cumplen el tiempo máximo especificado en la normal. Fuente: propia.

### 3.3. Evaluación del Contenido óptimo de asfalto

#### 3.3.1. Porcentaje de cemento asfáltico en base al porcentaje de vacíos

**Figura 19:** Porcentaje de Vacíos vs porcentaje de asfalto.



*Figura 19.* Porcentaje de vacíos vs porcentaje de asfalto. Fuente: propia

A través del uso de una ecuación lineal como cálculo matemático se procedió a calcular el porcentaje óptimo de asfalto en relación al porcentaje de vacíos que parametriza.

Despejando X:

**Ecuación 19:** Ecuación para la Determinación del cemento asfáltico con % Vacíos.

$$x = \frac{y - 35.878}{-3.3312}$$

$x =$  % de cemento asfáltico

$y =$  % de vacíos

De la ecuación anterior, se obtienen los siguientes resultados para valores de porcentaje de vacíos de 20% y 25%.

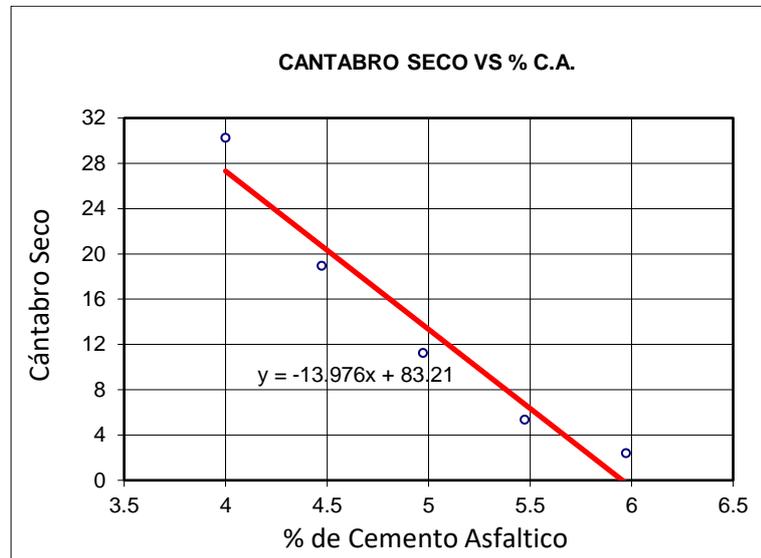
**Tabla 54:** Valores "x" de contenido de asfalto.

y	20%	25%
x	4.77%	3.27%

Fuente: propia

### 3.3.2. Porcentaje de cemento asfáltico en base al máximo desgaste de ensayo Cántabro seco.

*Figura 20: Cántabro seco vs porcentaje de asfalto.*



*Figura 2. Cántabro seco vs porcentaje de asfalto. Fuente: propia*

A través del uso de una ecuación lineal como cálculo matemático se procedió a calcular el porcentaje óptimo de asfalto en relación al porcentaje de desgaste en estado seco que como máximo debe ser 25%.

Despejando X:

**Ecuación 20:** Determinación del contenido de asfalto con Cántabro seco.

$$x = \frac{y - 83.21}{-13.976}$$

$x = \% \text{ de cemento asfáltico}$

$y = \% \text{ desgaste}$

De la ecuación anterior, se obtienen el siguiente resultado para el valor de porcentaje máximo de desgaste de cántabro en estado seco, el cual es 25%.

**Tabla 55:** Valores "x" de contenido de asfalto.

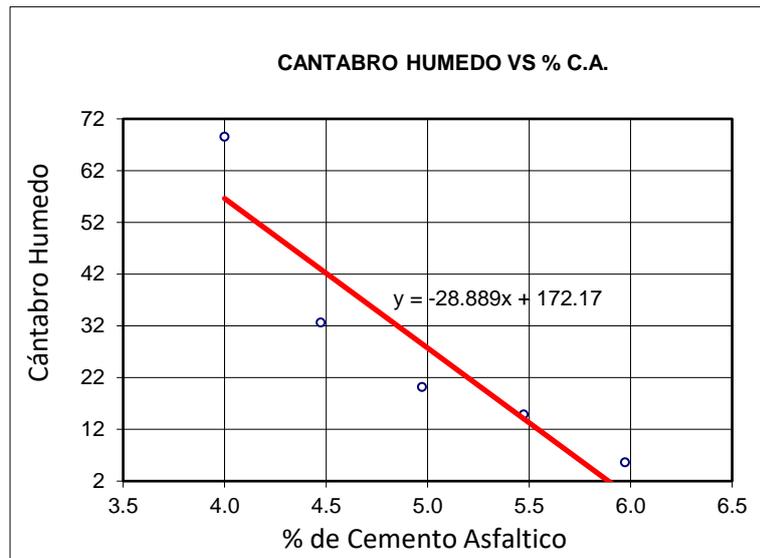
y	25%
---	-----

$$\frac{x}{4.16\%}$$

Fuente: propia

### 3.3.3. Porcentaje de cemento asfáltico en base al máximo desgaste de ensayo Cántabro húmedo.

*Figura 21: Cántabro húmedo vs porcentaje de asfalto.*



*Figura 21. Cántabro húmedo vs porcentaje de asfalto. Fuente: propia*

A través del uso de una ecuación lineal como cálculo matemático se procedió a calcular el porcentaje óptimo de asfalto en relación al porcentaje de desgaste en estado húmedo que como máximo debe ser 40%.

Despejando X:

**Ecuación 21:** Determinación del contenido de asfalto con Cántabro húmedo.

$$x = \frac{y - 172.17}{-28.889}$$

$x = \% \text{ de cemento asfáltico}$

$y = \% \text{ desgaste humedo}$

De la ecuación anterior, se obtienen el siguiente resultado para el valor de porcentaje máximo de desgaste de cántabro en estado húmedo, el cual es 40%.

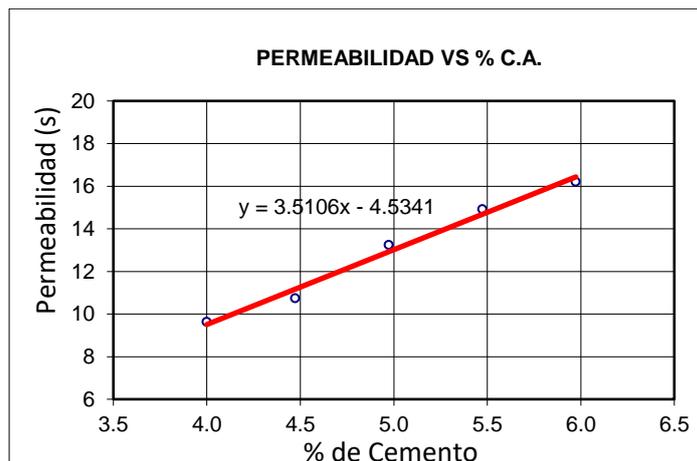
**Tabla 56:** Valores "x" de contenido de asfalto.

y	40%
x	4.58%

Fuente: propia.

### 3.3.4. Porcentaje de cemento asfáltico en base a la permeabilidad

**Figura 22:** Permeabilidad vs porcentaje de asfalto.



*Figura 22.* Permeabilidad vs porcentaje de asfalto. Fuente: propia

A través del uso de una ecuación lineal como cálculo matemático se procedió a calcular el porcentaje óptimo de asfalto en relación a la permeabilidad que como tiempo máximo en que 100 ml de agua debe atravesar la briqueta es 15 segundos.

Despejando X:

**Ecuación 22:** Determinación del contenido de asfalto con Permeabilidad.

$$x = \frac{y + 4.5341}{3.5106}$$

$x = \% \text{ de cemento asfáltico}$

$y = \text{tiempo que tarda en pasar el agua}$

De la ecuación anterior, se obtienes el siguiente resultado para el valor de porcentaje máximo de desgaste de cántabro en estado húmedo, el cual es 40%.

**Tabla 57:** Valores "x" de contenido de asfalto.

y	15 s
x	5.56%

Fuente: propia.

### 3.3.5. Alternativas para la determinación del contenido óptimo de asfalto

#### 3.3.5.1. Alternativa 1

Para que la mezcla asfáltica posea un 22.5% de vacíos, el contenido óptimo de cemento asfáltico debe ser 4.02%, si reemplazamos este valor en la ecuación 20:

$$x = \frac{y - 83.21}{-13.976}$$

$x = \% \text{ de cemento asfáltico}$

$y = \% \text{ desgaste}$

Se obtiene un porcentaje de desgaste en estado seco de 27.02%

**Tabla 58:** Porcentaje de desgaste para 4.02% C.A.

		Requerido	
y	27.02%	25% Max	NO CUMPLE
x	4.02%		

Fuente: propia.

#### 3.3.5.2. Alternativa 2

Se realizó un promedio entre el contenido de asfalto para el ensayo de cántabro seco (4.16%) y el ensayo de cántabro húmedo (4.58%), se obtuvo un 4.37% de contenido de cemento asfáltico, el cual se acerca a 4.5% de C.A., porcentaje con el cual se evaluó el contenido de vacíos, permeabilidad, cántabro en estado seco y húmedo.

**Tabla 59:** *Resultados de los ensayos para 4.5% C.A.*

	% Vacíos	Permeabilidad	Cántabro seco	Cántabro húmedo
4.5% C.A.	21.00%	10.74 s	18.93%	32.61%
	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Fuente: propia

### 3.3.5.3. Alternativa 3

Basados en el máximo tiempo (15 segundos) que le toma al agua pasar por la mezcla asfáltica, se determinó el contenido de asfalto el cual fue 5.56%, porcentaje con el cual se evaluara si cumple para los ensayos de cántabro en estado seco y húmedo.

**Tabla 60:** *Resultados de los ensayos de cántabro para 5.56% C.A.*

	Cántabro seco	Cántabro húmedo
5.56% C.A.	5.5%	11.55%
	CUMPLE	CUMPLE

Fuente: propia.

Se tomó en cuenta las dos últimas alternativas y se verificó que respetan lo dictaminado en la norma EG-2013, se eligió la alternativa dos y no la alternativa 3 debido a que esta se encuentra en el límite de la permeabilidad. La permeabilidad en la alternativa dos

es la más rápida y sus niveles de desgaste en Cántabro Seco y húmedo son más que aceptables. Por lo cual el contenido de asfalto optimo es el de 4.5%.

### 3.4. Empleo de la metodología AASHTO 93 para el diseño de pavimento flexible poroso

Para la presente investigación se analizará como alternativa de drenabilidad el pavimento flexible poroso, por lo cual se presentará un diseño basado en la Metodología AASHTO 93.

#### 3.4.1. Determinación de la carga vehicular

**Tabla 61:** *parámetros para la estabilidad tipo Marshall.*

Criterios en el Método Marshall del Diseño de Mezclas	Vías Locales	Vías Colectoras y Arteriales	Vías Expresas
	$EAL < 10^4$	$10^4 \leq EAL < 10^6$	$EAL \geq 10^6$
	Transito Liviano	Transito Mediano	Tránsito Pesado
Numero de golpes en cada cara de la probeta	35	50	75
Estabilidad mínima, en KN	3.4	5.44	8.16
Flujo, 0.25 mm (min - max)	8 - 18	8 - 16	8 - 14
Porcentaje de vacíos llenos de aire, (min - max)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA (min - max)	Ver tabla 32		
Porcentaje de vacíos lleno de asfalto, VFA (min - max)	70 - 80	65 - 78	65 - 75

NOTA. se presentan los valores mínimos y máximos para evaluar la estabilidad Marshall. Fuente: N.T.E. CE. 010 Pavimentos urbanos.

Para este estudio se consideró un tránsito mediano y un periodo de diseño de 10 años, razón por la cual los valores del EAL van desde 10000 hasta 1000000, escogiendo la

situación más desfavorable para este rango que indica la norma N.T.E. CE. 010 Pavimentos Urbanos. Por lo cual, manejando un EAL de 1000000, se optó por elegir un bajo volumen de tráfico que según la norma del Manual de carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos sección Suelos y Pavimentos corresponde a un rango TP4 que va desde los  $750000 < EE \leq 1000000$ .

### 3.4.2. Determinación de la subrasante

Se eligió una subrasante de característica de regular valor el cual está en un rango de valores de:  $CBR \geq 6$  y  $CBR < 10\%$  según el Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos. Tomamos como CBR el valor de 9%.

### 3.4.3. Determinación del periodo de diseño

Los antecedentes históricos de proyectos con pavimentos flexibles porosos señalan que la colmatación de estas se da a partir de los 10 años y según el Manual de carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos sección Suelos y Pavimentos para pavimentos de bajo volumen de tránsito es de 10 años. razón por la cual el periodo de diseño será 10 años.

### 3.4.4. Determinación de Variables

Para el diseño se necesita determinar las siguientes variables:

- Módulo de Resiliencia

**Ecuación 23:** *Ecuación del módulo de Resiliencia.*

$$M_r(\text{psi}) = 2555 * CBR^{0.64}$$

Para el CBR, previamente determinado igual al 9% el módulo de Resiliencia debe ser:

$$M_r(\text{psi}) = 2555 * 9^{0.64} = 10425.72 \cong 10426$$

**Tabla 62: Variables.**

Tipo de Trafico Ejes equivalente Acumulados	TP5 1000001 15000000
Nivel de Confiabilidad (R)	80%
Desviación Estándar (ZR)	-0.842
Desviación Estándar Combinada (SO)	0.45
SERVICIABILIDAD INICIAL (PI)	3.8
SERVICIABILIDAD FINAL (PT)	2.0
<b>VARIACION DE LA SERVICIABILIDAD (<math>\Delta</math>PSI)</b>	<b>1.8</b>

NOTA. se presentan los valores para cada variable. Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos.

- Determinación de los coeficientes Estructurales para el cálculo del Numero Estructural Requerido

**Tabla 63: Determinación de a2.**

Componente del Pavimento	Coeficiente	Valor del coeficiente estructural	Nota
Base		(cm)	
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a2	0.052	Capa de base recomendada para: trafico $\leq 5'000,000$ EE

NOTA. se presenta el valor del coeficiente estructural a2. Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos.

- Calculo del Numero Estructural Requerido  
Se empleará la siguiente ecuación, para la cual se debe usar los coeficientes estructurales previamente determinados.

**Tabla 64:** *Coefficientes estructurales.*

a1	0.17	cm
a2	0.052	cm
a3	0.047	cm
d1	8	cm
d2	20	cm
d3	15	cm
m2	1.1	
m3	1.1	

NOTA. se presenta el valor de los coeficientes.

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos.

**Ecuación 24:** *Ecuación del Numero Estructural.*

$$SN = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_3 * d_3 * m_3$$

$$SN = 0.17 * 8 + 0.052 * 20 * 1.1 + 0.047 * 15 * 1.1$$

$$SN = 3.2795 \cong 3.28$$

**Ecuación 25:** *Ecuación de Diseño Estructural AASHTO 93.*

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_R + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

$$\log_{10}(10^6) = -0.842 * 0.45 + 9.36 * \log_{10}(3.28 + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{1.8}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(3.28 + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(10425.72) - 8.07$$

$$6 = 6.4033 \cong 6$$

### 3.5. Determinación de la escorrentía por precipitación con pavimento flexible tradicional frente al pavimento flexible poroso

Para el estudio de la escorrentía se consideró la precipitación máxima proporcionada por Senamhi con una data histórica desde 1963 hasta el 2014. Teniendo un registro histórico máximo en el año de 1970 con 51.20 mm.

**Tabla 65:** *Precipitaciones Históricas en Canta.*

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máxima precipitación histórica (mm)
1963												9	9
1964	9.9	10.6	9	16	5.1	0	0	0	0	4	1.3	6.6	16
1965	13.6	10.8	11.9	11.6	0	0	0.6	0	3.1	4.6	4	5.6	13.6
1966	12.3	8.6	14.7	8.4	1.8	0	0	0	6	15	7.3	7.1	15
1967	18.9	16.2	22.7	4.5	0	0	0	0	5.6	5.5	4.8	11.7	22.7
1968	4.4	9.8	12.1	6.2	3.5	0	0	0.8	0	3.5	2.2	7.1	12.1
1969	8.3	15.2	21.3	8.4	0	0	0	0	0	14.5	5	13.2	21.3
1970	51.2	9.7	11.6	18.7	4.2	0	1	0	5.4	4.1	2.5	9.6	51.2
1971	13	12.6	13.2	7.8	0	0	0	0.3	0	2	3.7	12	13.2
1972	13.7	16.6	25.7	15.6	0	0	0	0	0	5.3	9.8	11	25.7
1973	16.3	23.6	14.9	11.9	3.5	0	2	0	6.5	11.4	4	16.1	23.6
1974	16.2	16.9	10.3	4.2	0	1.6	0	1.8	0	0	2.9	15	16.9
1975	15.6	10.2	18.6	5.4	14.6	0.6	0	0	0	0	4.6	8.9	18.6
1976	9.4	11.6	18.2	11.4	0	0	0	0	0	0	0	11.2	18.2
1977	15.5	33	21	4.8	0	0	0	0	3.8	6.8	8.4	20.2	33
1978	8.4	17.6	10	8.4	0	0	0	0	6	0	3.6	5.8	17.6
1979	10.2	13.2	16.4	8.7	0	0	0	0	4.6	0	5.2	2.8	16.4
1980	11.8	0.5	14.6	12.9	0.4	0	0	0	0	9.8	3.2	11	14.6
1981	17.4												17.4
1982													
1983													
1984													
1985											0	7.6	7.6
1986	23.4	16.2	11.1	14	3.2	0	1.8	1.4	0	0	4.6	0.8	23.4
1987	8	1.6	0.6	0	0	0	0	0	0	0	4.6	1.4	8
1988		9	5	0	0	0	0	0	0	0	4.6	1	9
1989	5	8.3	5	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	8.3
1990	2	1.2	1.3	0	0.6	0	0.5	0.7				0	2
1991							0	0	0	1.2	1	0.2	1.2
1992	0.3	0.3	0.9	0.4	0	0	0	0	0	0.2	0	0.2	0.9
1993	1.1	0.6	1.4	4.5	0.5	0	0	0	0.2	4	9.4	8.7	9.4
1994	14.8	15.5	9.6	12.3	1.9	0	0	0	0	1.2	6.5	4.8	15.5
1995	9.3	6.5	7.3	0	0	0	0	0	0.9	8.9	4.9	12.4	12.4
1996	15.9	16.7	13.4	12.5	0	0	0	0	0	2.9	1	7.6	16.7

1997	13.4	15.5	6.2	10.3	1.8	0	0	0	5.6	5.2	8.5	30	30
1998	27.5	18.6	30.5	11.5	0	0	0	0.3	0.7	1.9	2.6	4.1	30.5
1999	8.2	24.1	14.5	8.5	5	0	0.2	0	1.6	5.2	5.5	7.3	24.1
2000	11.5	19.2	15.6	5.3	1.9	0	0	4.3	5.2	6.7	3.6	11.1	19.2
2001	33.5	13.5	17.9	10.2	0	0	0	0	6.1	7	15.2	4.2	33.5
2002	9.4	16.5	18	7.2	1.8	0	0	0	8.7	5	11	9	18
2003	28.2	25	16.6	7.5	0	0	0	0	0	3.4	1.5	16.8	28.2
2004	16.3	18.6	8.2	6.5	0	0	0	0	1.6	7.6	14.4	15.5	18.6
2005	8.9	12.9	10.4	5.8	0	0	0	0	0	3.4	2.8	11.1	12.9
2006	14.4	24.7	9.6	9.9	0	0	0	0	2	2.2	6.6	16.3	24.7
2007	11.7	16.7	20.9	17.6	0	0	0	0.4	0	2.8	6.9	5.2	20.9
2008	8.6	28.9	18	6	0	0	0	0.6	0	2.7	5.2	16.2	28.9
2009	14.1	17	21.2	9.2	5.6	0	0	0	1.8	6.6	11.1	11.8	21.2
2010	14.2	12.9	12.5	6.6	0	0	0	0	3.8	4.3	4.6	10.1	14.2
2011	13.2	10.5	9	10	0	0	0	0	1.4	0.2	6.3	11.3	13.2
2012	6.6	17.4	17.5	14.7	1.2	0	0	0	4.6	6	2.9	14.8	17.5
2013	8.3	18.3	8.3	13	1.8	0	0	0.2	1	2.9	5	15.7	18.3
2014	8.8												8.8

NOTA. se presenta los resultados de los registros históricos de las precipitaciones. Fuente: SENAMHI

### 3.5.1. Determinación de la escorrentía por precipitación en pavimento flexible tradicional frente

Para el cálculo de la escorrentía se empleará la fórmula de la Ecuación 3 mencionada anteriormente:

$$ESCORRENTIA (mm) = C * Lluvia$$

Para asfalto el coeficiente de escorrentía C es el siguiente:

$$C = 0.88$$

Por lo tanto:

$$ESCORRENTIA (mm) = 0.88 * 51.20 mm$$

$$ESCORRENTIA (mm) = 45.06 mm$$

### 3.5.2. Determinación de la escorrentía por precipitación en pavimento flexible poroso

Debido a que no se cuenta con el coeficiente de escorrentía para un pavimento flexible poroso, se tendrá que determinar de la siguiente manera:

### 3.5.2.1. Diámetros y alturas de las briquetas para 4.5% de C.A.

**Tabla 66:** *Diámetros y alturas de las briquetas.*

Nº de biqueta	% de asfalto	Diámetro	Altura
1	4.5	10.00	7.40
2		10.00	7.35
3		10.00	7.32
4		10.00	7.22
5		10.00	7.35
6		10.00	7.25
Promedio		10.00	7.32

NOTA. se presenta los resultados de los diámetros y alturas de las briquetas.

Fuente: propia.

### 3.5.2.2. Calculo de la altura de agua que pasa por la biqueta

Según la normativa se usará el siguiente volumen de agua:

$$V_{agua} = 100 \text{ ml} = 100 \text{ cm}^3$$

La altura de agua se calculará empleando la siguiente formula:

**Ecuación 26:** *Volumen del cilindro.*

$$V_{cilindro} = H * \frac{D^2 * \pi}{4}$$

$$100 \text{ cm}^3 = H * \frac{(10 \text{ cm})^2 * \pi}{4}$$

$$H = 1.27 \text{ cm}$$

### 3.5.2.3. Coeficiente de Escorrentía

### 3.5.2.3.1. Caudal que infiltra por la briqueta

Para la briqueta con 4.5% de C.A. el tiempo que tomo en pasar 100 ml de agua fue de 10.74 segundos.

El cálculo del caudal se realizó con la siguiente formula:

**Ecuación 27:** Ecuación del Caudal que infiltra en la briqueta.

$$Q = \frac{V (m^3)}{t(s)}$$

$$Q = \frac{100 \text{ ml}}{10.74 \text{ s}} = 9.31 \text{ ml/s} = 9.31 * 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.5.2.3.2. Intensidad de agua

Para el cálculo de la intensidad se usó la fórmula que se presenta a continuación:

**Ecuación 28:** Ecuación de Intensidad de agua que infiltra la briqueta.

$$I = \frac{m}{s}$$

Como dato se tiene la altura del agua que pasa por la briqueta que se calculó previamente, por lo cual a continuación se determinó el tiempo que tarda en verter los 100 ml a la briqueta.

**Tabla 67:** Tiempo que tarda en verter 100 ml a la briqueta.

N° de briqueta	% de asfalto	Tiempo que tarda en pasar 100 ml de agua
1		3.95
2		4.10
3	4.5	4.00
4		4.05
5		3.90
6		3.92
Promedio		3.99

Nota: se presenta los resultados del tiempo que toma en verter 100 ml de agua a la briqueta. Fuente: propia.

Por lo tanto, la intensidad del agua será la siguiente:

$$I = \frac{0.0127 \text{ m}}{3.99 \text{ s}}$$

### 3.5.2.3.3. Área de Infiltración

Para calcular el área de infiltración se usó la siguiente formula:

*Ecuación 29: Ecuación del área de infiltración.*

$$A = \frac{\pi * D_{prom}^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (10 \text{ cm})^2}{4} = 78.54 \text{ cm}^2 = 0.00785 \text{ m}^2$$

Se calculó el coeficiente de escorrentía mediante la Ley de Darcy según la Ecuación

6:

$$Q = C * I * A$$

Reemplazando cada valor calculado previamente:

$$9.31 * 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = C * \frac{0.0127 \text{ m}}{3.99 \text{ s}} * 0.00785 \text{ m}^2$$

$$C = 0.3726$$

Por lo tanto, empleando la ecuación para el cálculo de escorrentía se obtuvo lo siguiente:

$$ESCORRENTIA \text{ (mm)} = 0.3726 * 51.20 \text{ mm}$$

$$ESCORRENTIA \text{ (mm)} = 19.08 \text{ mm}$$

### 3.6. Determinación del tiempo de concentración de precipitación con pavimento flexible tradicional frente al pavimento flexible poroso

#### 3.6.1. Determinación del tiempo de concentración de precipitación con pavimento flexible tradicional

Se asumió para el cálculo del tiempo de concentración que la zona en estudio es un estacionamiento, con un área de 50x100 m<sup>2</sup>, con 1% de pendiente y que la precipitación máxima obtenida de SENAMHI (51.20 mm) se consideró para 6 horas. Se emplearon las ecuaciones 4 y 5 detalladas anteriormente.

Ecuación 4

$$T_c = \frac{526.42 * b * L^{1/3}}{(C_r * i)^{2/3}}$$

Ecuación 5

$$b = \frac{0.0000276 * i * C_r}{S^{1/3}}$$

Para un Asfalto bien acabado el Cr es 0.007

$$i = \frac{51.20 \text{ mm}}{6 \text{ h}} = 8.53 \text{ mm/h}$$

$$b = \frac{0.0000276 * 8.53 * 0.007_r}{0.01^{1/3}} = 7.65 * 10^{-6}$$

$$T_c = \frac{526.42 * 7.65 * 10^{-6} * 100^{1/3}}{(0.007_r * 8.53)^{2/3}} = 0.12 \text{ min}$$

#### 3.6.2. Determinación del tiempo de concentración de precipitación con pavimento flexible poroso

Se asumió para el cálculo del tiempo de concentración que la zona en estudio es un estacionamiento con 1% de pendiente y que la precipitación máxima obtenida de SENAMHI

(51.20 mm) se consideró para 6 horas. Se emplearon las ecuaciones 4 y 5 detalladas anteriormente.

Ecuación 4

$$T_c = \frac{526.42 * b * L^{1/3}}{(C_r * i)^{2/3}}$$

Ecuación 5

$$b = \frac{0.0000276 * i * C_r}{S^{1/3}}$$

Para un Macadam Asfáltico el Cr es 0.017

$$i = \frac{51.20 \text{ mm}}{6 \text{ h}} = 8.53 \text{ mm/h}$$

$$b = \frac{0.0000276 * 8.53 * 0.017_r}{0.01^{1/3}} = 1.86 * 10^{-5}$$

$$T_c = \frac{526.42 * 1.86 * 10^{-5} * 100^{1/3}}{(0.017_r * 8.53)^{2/3}} = 0.16 \text{ min}$$

### 3.7. Determinación del caudal de escorrentía de precipitación con pavimento flexible tradicional frente al pavimento flexible poroso

#### 3.7.1. Determinación del caudal de escorrentía de precipitación con pavimento flexible tradicional

Según la Ley de Darcy, la fórmula para el cálculo del caudal será la Ecuación 6:

Ecuación 6

$$Q = C * I * A$$

Reemplazando cada valor calculado previamente:

$$i = \frac{51.20 \text{ mm}}{6 \text{ h}} = 0.0512 \text{ m/6h}$$

$$A = 50 \text{ m} * 100 \text{ m} = 5000 \text{ m}^2$$

$$C = 0.88$$

Por lo tanto, el caudal de escorrentía se calculó de la siguiente manera:

$$Q = 0.88 * \frac{0.0512 \text{ m}}{6h} * (50 * 100) \text{ m}^2$$

$$Q = 37.55 \text{ m}^3/h$$

Si asumimos un caso de una carretera de 6 m de ancho por 1 km de largo, el caudal sería el siguiente:

$$Q = 0.88 * \frac{0.0512 \text{ m}}{6h} * (6 * 1000) \text{ m}^2$$

$$Q = 45.06 \text{ m}^3/h$$

### 3.7.2. Determinación del caudal de escorrentía de precipitación con pavimento flexible poroso

Según la Ley de Darcy, la fórmula para el cálculo del caudal será la Ecuación 6:

Ecuación 6

$$Q = C * I * A$$

Reemplazando cada valor calculado previamente:

$$i = \frac{51.20 \text{ mm}}{6 \text{ h}} = 0.0512 \text{ m}/6h$$

$$A = 50 \text{ m} * 100 \text{ m} = 5000 \text{ m}^2$$

$$C = 0.3726$$

Por lo tanto, el caudal de escorrentía se calculó de la siguiente manera:

$$Q = 0.3726 * \frac{0.0512 \text{ m}}{6h} * (50 * 100) \text{ m}^2$$

$$Q = 15.90 \text{ m}^3/h$$

Si asumimos un caso de una carretera de 6 m de ancho por 1 km de largo, el caudal sería el siguiente:

$$Q = 0.3726 * \frac{0.0512 \text{ m}}{6h} * (6 * 1000) \text{ m}^2$$

$$Q = 19.08 \text{ m}^3/h$$

### 3.8. Resumen de los resultados de escorrentía

**Tabla 68:** *Resumen de los resultados.*

	Coeficiente de escorrentía	Tiempo de concentración	Caudal escorrentía Estacionamiento	Caudal escorrentía Carretera
	C	Tc (min)	Q (m3/h)	Q (m3/h)
Pavimento flexible tradicional	0.88	0.12	37.55	45.06
Pavimento flexible poroso	0.3726	0.16	15.9	19.08

NOTA. se presenta el resumen de los resultados obtenidos. Fuente: propia.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

Del análisis de los resultados del peso específico Bulk, se deduce que a medida que el contenido de asfalto aumenta en la mezcla, el peso específico Bulk también lo hace. Sin embargo, al analizar el porcentaje de vacíos, este resultado guarda una relación inversamente proporcional con el contenido de asfalto. Por lo cual se puede hacer una primera inferencia indicando que, para pavimentos flexibles porosos, lo primordial es el porcentaje de vacíos que debe contener una mezcla asfáltica para ser denominada como porosa, por ello se puede indicar que, para conseguir un porcentaje de vacíos adecuado, el contenido de asfalto debe ser menor. Deducción que queda demostrada con los resultados hallados en la presente investigación, donde se encontró que para mezclas asfálticas con 4% de C.A. se obtiene un 22.6% de vacíos y para una mezcla con 6% de C.A. el porcentaje de vacíos se reduce a 16.2%, lo cual queda fuera de los parámetros establecidos en la norma, la cual nos indica que para ser considerada una mezcla poroso el porcentaje de vacíos debe estar entre 20 % y 25%, llevándonos a predecir que el contenido de asfalto óptimo se encontraría entre 4% de C.A. y 4.5% de C.A. por poseer valores que se encuentran dentro de este rango normado.

Para el análisis del ensayo de Cántabro en estado seco, se observó que a medida que el contenido de asfalto aumentaba, las pérdidas por desgaste disminuían, lo cual se explica debido a que, a mayor cantidad de asfalto, la resistencia que le proporcione a la briqueta será mayor, lo cual evita que esta sufra grandes daños. Esto se verifica con los resultados, ya que para mezclas con 4% de C.A. la pérdida por desgaste en estado seco fue de 30.24%, lo cual excede el valor máximo permitido que es 25%; por otro lado, para una mezcla con 6% de C.A. el ensayo de Cántabro no permitió hallar un 1.56%, valor que comparado con el resultado de la mezcla con 4% de C.A., evidencia la gran diferencia que se genera.

En el ensayo de Cántabro en estado húmedo, los resultados no se alejan de lo descrito anteriormente en el caso del estado seco, ya que como se mencionó el asfalto proporcionara resistencia a la mezcla, por lo que a mayor contenido exista mayor será la resistencia que presente. En la presente investigación se demostró que para mezclas con 4% de asfalto el desgaste fue de 68.50%, valor que sobrepasa lo máximo establecido en la norma (40%); mientras que para mezclas con 6% de C.A. el desgaste fue de 5.62%. Concluyendo así que la mayoría de las mezclas asfálticas estudiadas en la presente investigación, cumplen con los parámetros establecidos en la norma, a excepción de las briquetas elaboradas con 4% de asfalto.

De la permeabilidad se puede decir que a mayor contenido de asfalto menor es la permeabilidad, de los resultados se observa que para un contenido de asfalto de 4% se tiene una permeabilidad de 9.62 s y para el contenido de asfalto de 6% la permeabilidad dio 16.21 segundos. De aquí se observa que de todos los contenidos de asfalto del presente estudio casi todas cumplieron con lo que indicaba la norma, excepto el de 6%, que pasó el límite permitido por muy poco, lo que conlleva a inferir que se podría seguir mejorando la adherencia sin disminuir la permeabilidad.

Para determinar el contenido óptimo de asfalto, se analizaron distintas alternativas, iniciando por analizar un porcentaje de vacíos promedio entre sus valores mínimos y máximos, es decir, entre 20% y 25%, por lo que en la gráfica de Porcentaje de vacíos vs % C.A se usó el porcentaje promedio de 22.5% de vacíos, obteniéndose un 4.02% de C.A., valor que se llevó a la gráfica de cántabro seco vs % C.A., obteniendo un porcentaje de desgaste de 27.02%, excediendo el valor máximo de 25%, por lo cual este análisis se rechazó. Por otro lado, se analizó el valor máximo de desgaste permitido para cántabro en estado seco (25%) con lo que se obtuvo un % de C.A. de 4.16% y de igual manera para el valor máximo

del ensayo cántabro en estado húmedo (40%) obteniéndose un 4.58% de C.A., con ambos valores se halla un % de asfalto promedio de 4.37%, este valor se acerca al 4.5%, de C.A. valor que fue analizado tanto en porcentaje de vacíos, permeabilidad, cántabro seco y húmedo, cumpliendo los parámetros en cada uno de ellos. Finalmente se propuso un análisis en base a la permeabilidad, siendo que el tiempo máximo es de 15 segundos, se halló con este valor un porcentaje de asfalto de 5.56%, el cual, tanto para el ensayo de cántabro seco como el húmedo, respeta los parámetros. Con estos tres análisis se pudo concluir que la segunda alternativa planteada es la más adecuada, ya que a pesar de que la tercera alternativa también cumple, se trabajó con el tiempo límite permitido por la norma para asegurar una permeabilidad adecuada en el pavimento flexible poroso, por todo ello se concluyó que contenido óptimo de asfalto es el de 4.5%.

Con todos los resultados obtenidos en la presente investigación, se pudo verificar que el pavimento flexible poroso diseñado, contribuye en el escurrimiento del caudal de escorrentía, siendo que para un pavimento tradicional dicho caudal es de 37.55 m<sup>3</sup>/h y para un pavimento flexible poroso baja a 15.90 m<sup>3</sup>/h, como se muestra hubo una disminución de 57.66% del caudal de escorrentía, más de la mitad, lo cual refleja un aporte considerable en la drenabilidad pluvial. Este resultado, concuerda con lo hallado por la investigadora Cuentas de Puno en el 2019, quien obtuvo una disminución del caudal de escorrentía de 59.07%, concluyendo que el pavimento flexible poroso tiene un gran aporte en la drenabilidad pluvial.

Con lo que respecta a nuestro objetivo específico 1, donde se busca verificar si existe mejora en la adherencia de partículas con el asfalto al usar un aditivo, se observa que al realizar el ensayo Cántabro de pérdida por Desgaste para una mezcla con 4.5% de C.A., en estado seco se obtuvo un valor de 18.93% y para el estado húmedo se encontró un valor de 32.61%, ambos valores se encuentran por debajo de los parámetros determinados en la norma, siendo los valores máximos para estado seco 25% y para el estado húmedo 40%.

Dichos resultandos guardan concordancia con lo hallado por Ayala y Juárez en el 2010, donde para el ensayo de cántabro en estado seco hallaron un valor de 22.8%, el cual como se observa cumple con la normativa y quien a pesar de haber usado una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS, obtuvo mayor desgaste que las briquetas desarrolladas en la presente investigación. Por otro lado, en el ensayo de cántabro en estado húmedo obtuvo un valor de 28.7%, observando que su desgaste con inmersión es menor al encontrado en el presente estudio.

Para nuestro objetivo específico 2 se pretende determinar una adecuada permeabilidad del pavimento flexible poroso, para lo cual se obtuvo resultados favorables cumpliendo con la norma, encontrando valores menores a los 15 segundos, con la excepción de la mezcla asfáltica con 6% de C.A., donde se obtuvo un tiempo de 16.21 segundos. Para la mezcla con el contenido de asfalto de 5%, el tiempo que le toma al agua pasar por la briketa fue de 13.23 segundos, resultado que no concuerda con lo obtenido por los investigadores Ayala y Juárez en el 2010, ya que su permeabilidad para una mezcla con 5% de C.A. fue de 16 segundos, valor que excede lo establecido en la norma. Observando que en la presente investigación empleando un aditivo mejorador de adherencia para una mezcla asfáltica con 5% de C.A. el tiempo de permeabilidad cumple; sin embargo, para la mezcla de las briquetas elaboradas por Ayala y Juárez con 5% de C.A. y con polímero SBS, el tiempo de la permeabilidad excede los 15 segundos.

Para el objetivo específico 3, se requiere corroborar la estabilidad bajo la metodología Marshall, para lo cual se obtuvo una estabilidad corregida de 706 kg para una mezcla asfáltica con 4.5% de C.A., valor que nos permite diseñar un pavimento para vías colectoras y arteriales de tránsito medio. A diferencia de la estabilidad hallada por Ayala y Juárez, quienes emplearon una mezcla asfáltica con 4.5% de C.A. modificada con polímero SBS obteniendo una estabilidad superior a la nuestra con 839 kg. Meneses y Páez, emplearon un

aditivo mejorador de adherencia, Zycotherm, con lo cual su estabilidad para el mismo contenido de asfalto fue de 789 kg, valor que guarda relación con lo obtenido en el presente estudio.

## 4.2 Conclusiones

Usando los agregados recolectados de la Cantera del Chillón, se determinó el contenido óptimo de asfalto a usar en las mezclas asfálticas, por lo cual revisado los resultados de los diversos ensayos se concluyó que el contenido óptimo es de 4.5%.

Por medio del ensayo de Cántabro de pérdida por desgaste, se pudo determinar que para el estado seco el porcentaje de pérdida fue de 18.93%, valor menor al 25% según lo establecido por la norma EG-2013 y que para el estado húmedo se obtuvo un valor de 32.61%, menor al 40% normado. Por lo cual se concluye que lo que respecta a la resistencia al desgaste cumple lo especificado en la norma.

Según la norma EG-2013, la mezcla porosa debe cumplir con el porcentaje de vacíos, siendo que mínimo debe ser 20% y máximo 25%. En esta investigación se obtuvo un porcentaje de vacíos de 21%, concluyendo que, para las mezclas con el contenido óptimo de asfalto, se consiguió un porcentaje de vacíos que se encuentra dentro del rango para ser denominada como una mezcla asfáltica porosa.

Para medir la permeabilidad, se mide el tiempo que le toma al agua pasar por una briqueta, que según norma se debe colocar 100 ml de agua y que el tiempo máximo que debe tardar en atravesar la briqueta sea de 15 segundos, en el desarrollo de este ensayo se obtuvo 10.74 segundos, concluyendo que se encontró una mezcla asfáltica con una correcta permeabilidad.

La estabilidad hallada fue de 7.06 KN, la cual es adecuada para diseñar vías colectoras y arteriales de tránsito mediano, cuya estabilidad mínima es 5.44 KN según la norma técnica EC 0.10 Pavimentos Urbanos.

El caudal de escorrentía hallado para un área de estacionamiento de 50m x 100 m para una mezcla asfáltica tradicional fue de 37.55 m<sup>3</sup>/h mientras que para una mezcla asfáltica porosa fue de 15.90 m<sup>3</sup>/h, se observa una gran disminución del caudal de 57.66%, lo cual nos permite concluir que la presente investigación cumple su objetivo principal, que es verificar el aporte que proporciona una mezcla asfáltica porosa en la drenabilidad pluvial, lo cual queda verificado.

### **4.3 Recomendaciones**

Se debe tener un proceso adecuado de muestreo de los agregados, con la consigna de que se obtenga una buena representatividad y una óptima dosificación para evitar exponer los resultados de pérdida por desgaste en Cántabro y permeabilidad.

Es de gran importancia el uso de asfaltos modificados (SBS, EVA, mejoradores de adherencia, etc.) ya que debido al contacto con el agua y el aire al que se encuentran los pavimentos porosos necesitan un adecuado revestimiento.

Para un análisis con mayor detalle en la etapa del diseño del pavimento, se recomienda realizar un estudio de tráfico que permita obtener valores más reales del tráfico de la zona en estudio.

Es de vital importancia que, para implementar una mezcla asfáltica porosa en un proyecto, se requiere de un estudio técnico- económico que complemente lo visto en la presente investigación, razón por la cual la construcción de tramos experimentales queda en mano de empresas o instituciones gubernamentales que quieran continuar la presente línea de investigación.

## REFERENCIAS

- Alfaro, A. (2017). *Concreto permeable como sistema de drenaje de aguas pluviales en estacionamientos, caso farmacias San Pablo, sucursal Tlahuac-Culhuacan*. (Tesina) Instituto politécnico nacional. Recuperado de <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/21827/Concreto%20permeable%20como%20sistema%20de%20drenaje%20de%20aguas%20pluviales%20en%20estacionamientos%20C%20caso%20Farmacia%20San%20Pablo.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&ved=2ahUKEwiwpqqVr930AhUpppUCHe20A9EQFnoECCUQAQ&usg=AOvVaw2DotwHqvyFPc2VvgUJNSSq>.
- Ayala, M. y Juarez, Y. (2010). *Diseño de mezcla drenante con asfalto modificado disponible en El Salvador*. (Tesis de Grado). Universidad de El Salvador. Recuperado de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/485>.
- Balarca, R. y Salazar, R. (2020). *Análisis del espesor total del paquete estructural de pavimentos permeables expuestos a tráfico medio y a intensidad de precipitación menor a 100 ml/hora, en Molinopampa-Amazonas y en Temuco-Región de la Araucanía*. (Tesis de Grado). Universidad Ricardo Palma. Recuperado de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3682>
- Chávez, J. (2017). *Análisis de la carpeta asfáltica modificada con polímero SBS en el clima frígido de la región Junín-Yauli*. (Tesis de Pregrado). Universidad Cesar Vallejo. Recuperado de [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV\\_fd96d0a21e623d73c4c88a26619ef5d3](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_fd96d0a21e623d73c4c88a26619ef5d3)
- Cuentas Paucar, Judith (2019). *Análisis y Diseño de pavimento flexible poroso en laboratorio como propuesta de solución a la drenabilidad de aguas pluviales en la ciudad de Puno*. (Tesis de Grado). Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez”. Recuperado de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4605>.
- Estrada, V. (2017). *Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 PLUS y mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS PG 70-28*. (Tesis de Pregrado). Universidad Andina Del Cuzco. Recuperado de <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/UAC/1057>
- López, C. (2013). *Comportamiento mecánico de mezclas asfálticas drenantes*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55263>.
- Manual de ensayos de materiales. (2016). *Manual de ensayo de Materiales*. Lima - Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Manual de carreteras. (2013). *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. Perú: Ministerio de transporte y comunicaciones.

Manual de carreteras. (2013). *Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Perú: Ministerio de transporte y comunicaciones.

Meneses, J. y Páez, D. (2017). Mezcla asfáltica permeable como parte de la estructura de pavimento a partir del uso y modificación de una mezcla drenante aplicado a vías rurales. (Tesis de Grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11349/5374>.

Rondoy, R. (2018). *Diseño de un pavimento permeable y drenaje pluvial del tramo Jr. San Lorenzo mercado de Piura 2018*. (Tesis de Grado). Universidad Cesar Vallejo. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/44564>.

Roulet, G. (2009). *Seguimiento y comparación de caminos de pavimento asfáltico con mezcla drenante*. (Tesis de Grado). Universidad Austral de Chile. Recuperado de [https://nanopdf.com/download/tesis-electronicas-uach-universidad-austral-de-chile-5b0f37a4987fa\\_pdf](https://nanopdf.com/download/tesis-electronicas-uach-universidad-austral-de-chile-5b0f37a4987fa_pdf).

Salazar, J. (2013). Métodos de ensayo para la determinación cualitativa y cuantitativa del contenido de polímero presente en ligantes asfálticos modificados. *Métodos y materiales*, 3(1), 21-28. doi: 10.15517/mym.v3i1.13482

El formato de la tesis, las citas y las referencias se harán de acuerdo con el Manual de Publicaciones de la American Psychological Association, sexta edición, los cuales se encuentran disponibles en todos los Centros de Información de UPN, bajo la siguiente referencia:

**Código:** 808.06615 APA/D

También se puede consultar la siguiente página web:

<http://www.apastyle.org/learn/tutorials/index.aspx>